



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**RANCANG BANGUN *DEGASSER COLUMN*
PADA FOTOBIOREAKTOR UNTUK
FIKSASI CO₂ DARI VENT STACK AMINE
REGENERATOR OVERHEAD ACCUMULATOR**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:

Rolian Hidayat

NIM. 2202319001

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

**PROGRAM PENDIDIKAN D-III KERJASAMA
LNG ACADEMY – POLITEKNIK NEGERI
JAKARTA
JULI 2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN *DEGASSER COLUMN* PADA
FOTOBIOREAKTOR UNTUK FIKSASI CO₂ DARI *VENT
STACK AMINE REGENERATOR OVERHEAD ACCUMULATOR***

Oleh:

Rolian Hidayat

NIM. 2202319001

Program Studi Diploma Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Budi Yuwono, S.T

NIP. 196306191990031002

Pembimbing 2

Ir. Erlangga Yudha Pratama
ST, MBA
No Badge. 133016

Ketua Program Studi
Diploma Teknik Mesin

Budi Yuwono, S.T

NIP. 196306191990031002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN *DEGASSER COLUMN* PADA FOTOBIOREAKTOR UNTUK FIKSASI CO₂ DARI *VENT STACK AMINE REGENERATOR* *OVERHEAD ACCUMULATOR*

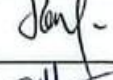
Oleh:

Rolian Hidayat

NIM. 2202319001

Program Studi Diploma Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang tugas akhir di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 16 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Diploma III pada Program Studi Teknik Mesin Jurusan
Teknik Mesin

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Budi Yuwono, S.T	Ketua Penguji		
2.	Dr., Sonki Prasetya , S.T., M.Sc.	Penguji PNJ		16/7/2025
3.	Ir. Bagus Kusuma Ruswandiri, S.T., IPP.	Penguji PT Badak		16/8/2025

Bontang, 2025

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng Muslimin, S.T., M.T.

NIP. 197707142008121005



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rolian Hidayat
NIM : 2202319001
Program Studi : D3 Teknik mesin

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-bearnya.

Bontang, 16 Juli 2025

Rolian Hidayat

NIM. 2202319001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RANCANG BANGUN *DEGASSER COLUMN* PADA FOTOBIOREAKTOR UNTUK FIKSASI CO₂ DARI VENT STACK AMINE REGENERATOR OVERHEAD ACCUMULATOR

Rolian Hidayat¹⁾, Budi Yuwono¹⁾, dan Erlangga Yudha Pratama²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾LNG Academy, Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: rolian.hidayat.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) berbasis mikroalga *Chlorella sp.* menawarkan solusi menjanjikan untuk mitigasi emisi CO₂ dengan kemampuan penyerapan hingga 1,8-2,4 g CO₂/L/hari. Namun, sistem fotobioreaktor tertutup menghadapi tantangan akumulasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*) yang dapat mencapai 300-400% saturasi udara dan menghambat pertumbuhan mikroalga. Penelitian ini bertujuan merancang, memfabrikasi, dan menganalisis kinerja *degasser column* menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan *vacuum degassing* untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memanfaatkan emisi CO₂ dari *vent stack amine regenerator overhead accumulator* PT. Badak NGL yang mencapai 11,8 MMSCFD per train. *Degasser column* dirancang berdasarkan standar ASME Section VIII dengan material *stainless steel* 304, beroperasi dalam mode *batch* dengan kapasitas 50-100 liter, rasio H/D 3,00, dan tekanan operasi 0,75 atm.

Hasil pengujian menunjukkan kombinasi *spray degassing* dan *vacuum degassing* mencapai efisiensi penurunan DO tertinggi sebesar 37,41%, menurunkan konsentrasi dari 9,3 mg/L menjadi 5,82 mg/L dalam 10 menit, dibandingkan mekanisme tunggal *vacuum degassing* (26,45%) dan *spray degassing* (20,32%). Sistem fotobioreaktor terintegrasi dengan *degasser column* berhasil mencapai efisiensi penyerapan CO₂ hingga 82%, membuktikan kelayakan teknologi untuk aplikasi dekarbonisasi industri migas. Fabrikasi berhasil diselesaikan dalam 9 hari kerja dengan kontrol kualitas NDT menggunakan *dye penetrant test* dan *hydrostatic test*.

Kata Kunci: *degasser column*, fotobioreaktor, *Chlorella sp.*, CCUS, *dissolved oxygen*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RANCANG BANGUN *DEGASSER COLUMN* PADA FOTOBIOREAKTOR UNTUK FIKSASI CO₂ DARI VENT STACK AMINE REGENERATOR OVERHEAD ACCUMULATOR

Rolian Hidayat¹⁾, Budi Yuwono¹⁾, dan Erlangga Yudha Pratama²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾LNG Academy, Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: rolian.hidayat.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technology based on *Chlorella sp.* microalgae offers a promising solution for CO₂ emission mitigation with absorption capacity up to 1.8-2.4 g CO₂/L/day. However, closed photobioreactor systems face the challenge of dissolved oxygen (DO) accumulation that can reach 300-400% air saturation and inhibit microalgae growth. This research aims to design, fabricate, and analyze the performance of a degasser column using a combination of spray degassing and vacuum degassing mechanisms to address this problem by utilizing CO₂ emissions from the vent stack amine regenerator overhead accumulator at PT. Badak NGL, which reaches 11.8 MMSCFD per train. The degasser column was designed based on ASME Section VIII standards using stainless steel 304 material, operating in batch mode with a capacity of 50-100 liters, H/D ratio of 3.00, and operating pressure of 0.75 atm.

Test results show that the combination of spray degassing and vacuum degassing achieved the highest DO reduction efficiency of 37.41%, reducing concentration from 9.3 mg/L to 5.82 mg/L in 10 minutes, compared to single mechanisms of vacuum degassing (26.45%) and spray degassing (20.32%). The integrated photobioreactor system with degasser column successfully achieved CO₂ absorption efficiency up to 82%, proving the technology's feasibility for oil and gas industry decarbonization applications. Fabrication was completed within 9 working days with NDT quality control using dye penetrant test and hydrostatic test.

Keywords: degasser column, photobioreactor, *Chlorella sp.*, CCUS, dissolved oxygen



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT sehingga dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir dengan judul **“Rancang Bangun Degasser Column Pada Fotobioreaktor Untuk Fiksasi CO₂ Dari Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator”** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Pelaksanaan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan D3 pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta serta untuk mengimplementasikan ilmu yang telah didapat agar lebih bermanfaat bagi semua pihak.

Pengerjaan tugas akhir ini tentunya tidak akan terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan dari beberapa pihak, sehingga ijin penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungan agar tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
3. Bapak Anas Malik Abdillah selaku Direktur LNG Academy.
Bapak Dr.Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Budi Yuwono, S. T selaku Pembimbing I tugas akhir dari Politeknik Negeri Jakarta.
5. Bapak Ir. Erlangga Yudha Pratama ST, MBA selaku Pembimbing II dari Badak LNG.
6. Bapak Lili Suqlaeli, Bapak Bachtiar S., Bapak Dimas, Bapak Joko Suprpto, Bapak Rachmansyah, Bapak Aulia T., Bapak Ika Dalu, Bapak Dadang, Bapak Dani,, Bapak Syaifudin, Bapak Novi, Bapak Prapto serta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

karyawan lain di Mechanical Section Badak LNG yang telah membantu penulis selama proses pengerjaan tugas akhir.

7. Ardin Layana dan Muhammad Faiq Ubaidillah selaku rekan satu tim penulis selama pengerjaan tugas akhir yang selalu membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Teman-teman LNG Academy Angkatan 12 yang telah memberikan dukungan dan bantuan demi kelancaran pengerjaan tugas akhir.
9. Serta pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Semoga semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis akan dicatat dan dibalas berlipat ganda oleh Allah SWT. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis agar laporan ini dapat tersusun dengan sebaik-baiknya.

Semoga semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis akan dicatat dan dibalas berlipat ganda oleh Allah SWT. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis agar laporan ini dapat tersusun dengan sebaik-baiknya

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Bontang 16 Juli 2025

Rolian Hidayat
NIM. 2202319001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.3 Tujuan	16
1.4 Batasan Masalah	16
1.5 Manfaat.....	17
1.5.1 Bagi Penulis	17
1.5.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta.....	17
1.5.3 Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri.....	17
1.6 Lokasi Objek	18
1.7 Sistematika Penulisan	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Teknologi <i>Carbon Capture, Utilization, and Storage</i> (CCUS).....	19
2.1.1 Prinsip Dasar CCUS	19
2.1.2 <i>Biological Carbon Capture</i> Menggunakan Mikroalga.....	19
2.2 Fotobioreaktor untuk Kultivasi Mikroalga.....	20
2.2.1 Jenis-jenis Fotobioreaktor.....	20
2.2.2 Parameter Desain dan Operasional Fotobioreaktor.....	20
2.2.3 Keuntungan Fotobioreaktor Tertutup	23
2.2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja Fotobioreaktor	23
2.3 Mikroalga <i>Chlorella sp.</i>	24
2.3.1 Karakteristik dan Morfologi <i>Chlorella sp.</i>	24
2.3.2 Kemampuan Penyerapan CO ₂ oleh <i>Chlorella sp.</i>	24
2.3.3 Kondisi Optimal Pertumbuhan <i>Chlorella sp.</i>	25



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4 Purification Unit PT Badak NGL.....	25
2.4.1 Prinsip Kerja Sistem Amine Regenerator	26
2.4.2 Amine Regenerator Overhead Accumulator 1C-6	27
2.4.3 Emisi Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator.....	29
2.5 Dissolved oxygen dan Pengaruhnya terhadap Mikroalga	30
2.5.1 Konsep dasar dissolved oxygen dalam kultivasi mikroalga.....	30
2.5.2 Akumulasi Oksigen dalam Fotobioreaktor Tertutup	30
2.5.3 Pengaruh Excess Dissolved Oxygen terhadap Pertumbuhan Mikroalga	31
2.5.4 Kebutuhan Pengendalian Dissolved Oxygen untuk Optimasi Fiksasi CO ₂	33
2.6 Landasan Pendesainan Degasser Column	35
2.6.1 Prinsip Kerja Degassing Dalam Fotobioreaktor	35
2.6.2 Jenis-jenis Teknologi Degassing	36
2.6.3 Desain dan Parameter Degasser column	37
2.6.4 Mass Transfer dan Perpindahan Massa Gas-Cair	38
2.6.5 Optimasi Fotobioreaktor dengan Degasser Column Parameter Desain Degasser Column.....	41
2.7 Column	42
2.8 Bejana Tekan.....	42
2.8.1 Pressure Design	42
2.8.2 Shell	43
2.8.3 Head.....	44
2.8.4 Nozzel.....	45
2.9 Pengelasan Degasser Column	45
2.9.1 Ketebalan Pengelasan	47
2.9.2 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	48
2.9.3 Shield Metal Arc Welding (SMAW).....	48
2.10 Pengetesan Bejana Tekan	49
2.10.1 Pengetesan Penetrant.....	49
2.10.2 Pengetesan Hydrostatic.....	50
BAB III METODE PENELITIAN	51
3.1 Diagram Alir Pengerjaan.....	51
3.2 Penjelasan Langkah Kerja.....	52
3.2.1 Identifikasi	52



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2.2 Perumusan.....	53
3.2.3 Studi Lapangan.....	53
3.2.4 Studi Literatur	54
3.2.5 Desain & Fabrikasi	55
3.2.6 Pengambilan Data.....	57
3.2.7 Perhitungan dan Analisis	59
3.2.8 Pengujian.....	59
3.2.9 Pembuatan Laporan	60
3.3 Metode Pemecahan Masalah	61
BAB IV PEMBAHASAN.....	63
4.1 Perancangan <i>Degasser Column</i> untuk Fotobioreaktor	63
4.1.1 Analisis Kebutuhan Sistem <i>Degassing</i>	63
4.1.2 Konsep Desain <i>Degasser Column</i>	64
4.1.3 Perhitungan Parameter Desain	67
4.1.4 Spesifikasi Teknis <i>Degasser Column</i>	69
4.2 Proses Fabrikasi <i>Degasser Column</i>	70
4.2.1 Pemilihan Material	70
4.2.2 Pengadaan Material	71
4.2.3 Proses Pengerjaan <i>Degasser Column</i>	72
4.2.4 Pengujian <i>Non Destructive Test</i> dengan metode <i>dye penetrant test</i> (DPT)	75
4.2.5 Pengujian <i>Non Destructive Test</i> dengan metode <i>Hydrostatic test</i>	76
4.3 Analisis Pengaruh Mekanisme <i>Degassing</i> terhadap Penurunan <i>Dissolved oxygen</i>	77
4.3.1 Protokol Pengujian dan Penyajian Data	77
4.3.2 Evaluasi Efisiensi dan Pencapaian Target	79
4.3.3 Analisis Pengaruh Masing-Masing Mekanisme & Mekanisme Gabungan	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	84
LAMPIRAN	87



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Gambar 2. 1 Tubular Photobioreactor	21
Gambar 2. 2 Desain umum PBR tipe panel.	22
Gambar 2. 3 Airlift PBR	22
Gambar 2. 4 Amine Regenerator 1C-5	26
Gambar 2. 5 Amine Regenerator Overhead Accumulator 1C-6 Train C	28
Gambar 2. 6 Titik Sampling Emisi CO ₂ Vent Stack Train E	29
Gambar 2. 7 Katagori Pengelasan	46
Gambar 2. 8 Ketebalan Pengelasan Fillet	47
Gambar 2. 9 Proses Pengelasan GTAW	48
Gambar 2. 10 Proses Pengelasan SMAW	48
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	51
Gambar 4. 1 1Pemotongan Plate menggunakan Plasme Cutting	73
Gambar 4. 2 Proses Pengeboran Upper Head Degasser Column	74
Gambar 4. 3 Proses Pengelasan Bagian Shell dan Support	75
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Non Destructive Test degan Metode Dye Penetrant Test.....	76
Gambar 4. 5 (a) DO Akhir Spray Degassing, (b) DO Akhir Vacuum Degassing, (c) DO Akhir Kombinasi Vacuum & Spray Degassing	78
Gambar 4. 6 Diagram Batang Perbandingan KonGambar 4. 7sentrasi DO Akhir pada Berbagai Skenario	78

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Komposisi Gas Co ₂ Vent Stack Train G	63
Tabel 4. 2 Perbandingan Teknologi Degassing	65
Tabel 4. 3 Parameter Operasin Degsser Column.....	70
Tabel 4. 4 Data Konsentrasi DO Awal dan Akhir setelah Degassing 10 Menit ...	78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akumulasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer telah mencapai level kritis 419 ppm pada tahun 2023, meningkat drastis dari 280 ppm pada era pra-industri. Peningkatan ini mendorong urgensi implementasi teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) sebagai strategi mitigasi perubahan iklim. Indonesia berkomitmen mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 dengan usaha sendiri, dan hingga 41% dengan dukungan internasional, yang memerlukan inovasi teknologi mitigasi yang efektif dan berkelanjutan (Republic Of Indonesia, 2022).

Teknologi CCUS berbasis mikroalga menawarkan solusi menjanjikan dengan kemampuan penyerapan CO₂ hingga 10-50 kali lebih efisien dibandingkan tanaman terestrial. Mikroalga *Chlorella sp.* telah terbukti mampu menyerap 1,8-2,4 g CO₂/L/hari dalam kondisi optimal, dengan efisiensi konversi fotosintesis mencapai 3-8% dibandingkan 0,5-1% pada tanaman darat Li et al. (2019). Sistem kolam terbuka (*open pond*) konvensional hanya mencapai efisiensi penyerapan 10-35% akibat distribusi CO₂ yang tidak merata dan kehilangan CO₂ ke atmosfer yang tinggi.

Permasalahan teknis utama yang dihadapi adalah akumulasi oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, DO) berlebihan dalam fotobioreaktor tertutup yang menghambat pertumbuhan mikroalga dan menurunkan efisiensi fiksasi CO₂. Konsentrasi DO dapat mencapai 300-400% saturasi udara, jauh melebihi kondisi optimal 30-40% saturasi untuk pertumbuhan *Chlorella sp.* Akumulasi DO tinggi menyebabkan *photosynthetic oxygen inhibition*, *photorespiration*, dan *oxidative stress* pada sel mikroalga, yang secara langsung mengurangi produktivitas biomassa hingga 30-50% dan menurunkan efisiensi *quantum yield* fotosintesis (Acién et al., 2017; Kazbar et al., 2019)).

Kondisi DO berlebihan juga memicu kompetisi enzim RuBisCO antara fungsi *carboxylase* dan *oxygenase*, dimana pada konsentrasi O₂ tinggi, laju



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

photorespiration dapat meningkat hingga 40%. Hal ini secara langsung menghambat efektivitas penyerapan CO₂ yang menjadi tujuan utama sistem fotobioreaktor.

Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan sistem *degasser column* yang efektif menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan penurunan tekanan. Prinsip kerja berdasarkan Henry's Law dan peningkatan luas permukaan kontak gas-cair melalui atomisasi untuk mempertahankan konsentrasi DO pada level optimal. Desain *degasser column* memerlukan optimasi parameter seperti rasio tinggi-diameter kolom, tekanan operasi, dan waktu *residence time* untuk mencapai efisiensi *removal* oksigen minimal 60%.

Peluang implementasi menjadi semakin relevan di PT. Badak NGL yang mengoperasikan *purification unit* dengan sistem *amine regenerator*. Emisi CO₂ dari *vent stack amine regenerator overhead accumulator* mencapai 11,8 MMSCFD per *train* dengan konsentrasi CO₂ tinggi (>90%), menjadi sumber ideal untuk sistem CCUS biologis. Pemanfaatan emisi ini melalui fotobioreaktor terintegrasi dengan *degasser column* dapat berkontribusi signifikan terhadap program dekarbonisasi perusahaan sekaligus menghasilkan biomassa bernilai ekonomi.

Berdasarkan permasalahan teknis dan potensi tersebut, penelitian ini mengembangkan inovasi rancang bangun *degasser column* yang dioptimalkan untuk sistem fotobioreaktor berbasis mikroalga, dengan target efisiensi penyerapan CO₂ di atas 60%. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul "**Rancang Bangun Degasser Column pada Fotobioreaktor Untuk Fiksasi CO₂ Dari Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator**".

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan *degasser column* untuk mengendalikan konsentrasi oksigen terlarut dalam fotobioreaktor menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan penurunan tekanan?
2. Bagaimana proses fabrikasi yang digunakan dalam unit *degasser column*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan penurunan tekanan?

3. Bagaimana pengaruh penggunaan *spray degassing* dan *vacuum degassing* pada *degasser column* untuk mencapai efisiensi pelepasan *dissolved oxygen* dalam sistem fotobioreaktor *batch*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang unit *degasser column* pada fotobioreaktor menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan penurunan tekanan.
2. Fabrikasi unit *degasser column* fotobioreaktor menggunakan kombinasi mekanisme *spray degassing* dan penurunan tekanan.
3. Menganalisis pengaruh terpisah dan gabungan dari mekanisme *spray degassing* dan *vacuum degassing* terhadap efisiensi penurunan kadar *dissolved oxygen*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada perancangan, fabrikasi, dan pengujian *degasser column* sebagai komponen utama sistem fotobioreaktor mikroalga.
2. Sistem ini dioperasikan dalam mode batch dengan kapasitas kerja antara 50 hingga 100 liter per siklus, agar proses kontrol dan pemantauan selama tahap penelitian menjadi lebih mudah dilakukan.
3. Material yang digunakan adalah *stainless steel* 304 dengan pertimbangan ketahanan korosi terhadap *dissolved oxygen* dan biokompatibilitas dengan kultur mikroalga.
4. Pengujian *Dissolved Oxygen* dilakukan secara *external* di lab, sehingga pada pembacaan kandungan *Dissolved Oxygen* bisa terjadi perbedaan pembacaan maupun ketidak akuratan pada kondisi aktual operasi.
5. Pengujian dilakukan pada kondisi suhu ruang (25–30°C) dan tekanan atmosfer, dengan variasi laju aliran (*flow rate*) dan tekanan semprotan (*spray pressure*).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Analisis mikrobiologi dan biokimia mikroalga tidak termasuk dalam lingkup penelitian, fokus pada aspek *mechanical engineering degasser column*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1.5.1 Bagi Penulis

1. Sebagai syarat untuk memenuhi penyusunan Tugas Akhir guna mendapatkan gelar Diploma III dari Program Studi Teknik Mesin di Politeknik Negeri Jakarta.
2. Menambah pengalaman dan ketrampilan dalam merancang bangun suatu alat industri.
3. Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan dengan mempraktikkannya secara nyata
4. Kesempatan untuk mengikuti *Continous Improvement Program* di Perusahaan

1.5.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

Sebagai media pembelajaran dan penelitian unit penyerapan CO₂ menggunakan Fotobioreaktor berbasis Mikroalga.

1.5.3 Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri

1. Menyediakan solusi teknologi untuk PT. Badak NGL dalam program dekarbonisasi dengan target pengurangan emisi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator.
2. Menghasilkan *prototype degasser column* yang dapat dikembangkan untuk skala industrial.
3. Memberikan baseline data untuk pengembangan sistem CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage) berbasis biologis di industri migas Indonesia



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.6 Lokasi Objek

Lokasi objek Tugas Akhir berada di Workshop LNG Academy dan Bengkel Induk PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini merujuk pada "Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir Tahun 2020" yang diterbitkan oleh Politeknik Negeri Jakarta.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, penyusun laporan menguraikan latar belakang pemilihan topik, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan batasan masalah, manfaat yang akan didapat, metode penelitian, dan sistematika penulisan keseluruhan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Studi Pustaka/Tinjauan Pustaka berisi sumber bacaan atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan atau penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang dikaji dalam tugas akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Penyusun laporan menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau penelitian, meliputi prosedur, pengambilan sampel dan pengumpulan data, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknis perancangan.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat hasil dan analisis data, perhitungan-perhitungan aktual yang diperoleh dari analisis, serta interpretasi dan pembahasan hasil perhitungan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memaparkan kesimpulan dari seluruh analisis data dan pembahasan hasil perhitungan/penelitian. Isi kesimpulan akan menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan dalam tugas akhir disertai saran – saran atau opini yang berkaitan dengan tugas akhir.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut disajikan kesimpulan dari tugas akhir ini.

1. *Unit degasser column* telah berhasil dirancang dengan mengacu pada standar ASME Section VIII dan literatur ilmiah, menghasilkan desain optimal dengan rasio tinggi-diameter (H/D) 3.00 dan volume kerja 50 L yang didasarkan pada kombinasi mekanisme *spray degassing* dan *vacuum degassing*.
2. *Unit degasser column* berhasil didapatkan dari proses fabrikasi berdasarkan dimensi dari perancangan dan perhitungan yang telah dilakukan dan terbebas dari *defect* atau cacat las pada sambungan las dan juga kebocoran dari sambungan perpipaan, dengan lama waktu pengerjaan masing-masing tahapan fabrikasi sebagai berikut:
 - a) Pemotongan *plate* dan *pipe*, memakan waktu pengerjaan 2 hari kerja
 - b) Pengeboran *plate* dan *pipe*, memakan waktu pengerjaan 1 hari kerja
 - c) Pengelasan *plate*, *pipe* dan beberapa socket berulir, memakan waktu pengerjaan 4 hari kerja
 - d) Pengujian *degasser column*, memakan waktu 2 hari
3. Berdasarkan analisis pengaruh mekanisme *degassing* terhadap penurunan *dissolved oxygen*, dapat disimpulkan bahwa kombinasi mekanisme *spray degassing* dan *vacuum degassing* secara sinergis memberikan pengaruh paling signifikan dalam menurunkan kadar *dissolved oxygen* (DO) pada sistem fotobioreaktor. Kombinasi kedua mekanisme ini berhasil mencapai efisiensi penurunan DO yang tertinggi, yaitu sebesar 37,41%, menurunkan konsentrasi dari 9,3 mg/L menjadi 5,82 mg/L dalam waktu 10 menit. Kinerja terbaik ini disebabkan oleh efek gabungan, dimana *spray degassing* memperluas area kontak antar-fasa secara drastis, sementara *vacuum degassing* meningkatkan gaya pendorong (*driving force*) untuk pelepasan oksigen dengan menurunkan tekanan parsial sesuai Hukum Henry. Sebagai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

perbandingan, penggunaan mekanisme tunggal menunjukkan hasil yang lebih rendah. *Vacuum degassing* saja hanya mampu menurunkan DO sebesar 26,45% , sedangkan *spray degassing* saja hanya mencapai 20,32%, yang kinerjanya terhambat oleh kendala tekanan operasi akibat kebocoran pada fotobioreaktor.

5.2 Saran

Berdasarkan proses rancang bangun dan pengujian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa aspek yang dapat dioptimalkan untuk pengembangan di masa depan. Adapun saran untuk penyempurnaan alat adalah sebagai berikut:

1. Untuk mempermudah proses perawatan (*maintenance*) di masa depan, disarankan untuk menggunakan sambungan jenis flensa (*flange*) pada koneksi antar pipa di unit *fotobioreaktor*. Penggunaan flensa akan menyederhanakan proses bongkar-pasang komponen.
2. Direkomendasikan penambahan unit pendingin (*cooler*) pada jalur masuk gas CO₂. Mengingat sumber gas dari *vent stack amine regenerator* memiliki temperatur tinggi, unit pendingin menjadi krusial untuk melindungi kultur mikroalga *Chlorella sp.* dan memastikan viabilitasnya saat sistem diimplementasikan pada skala yang lebih besar.
3. Pengujian ini dapat digunakan untuk mendapatkan kombinasi tekanan *spray* dan *vacuum* yang optimal, jika tidak terkendala oleh masalah yang dijelaskan pada bab sebelumnya, maka disarankan untuk menggunakan pipa tranparan yang bertipe *seamless* sehingga tekanan pada *sprayer* dapat mencapai nilai yang diharapkan tanpa ada kendala serupa.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdur Razzak, S., Bahar, K., Islam, K. M. O., Haniffa, A. K., Faruque, M. O., Hossain, S. M. Z., & Hossain, M. M. (2024). Microalgae cultivation in photobioreactors: sustainable solutions for a greener future. *Green Chemical Engineering*, 5(4), 418–439. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2023.10.004>
- Acién, F. G., Molina, E., Reis, A., Torzillo, G., Zittelli, G. C., Sepúlveda, C., & Masojídek, J. (2017). Photobioreactors for the production of microalgae. In *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: From Feedstock Cultivation to End-Products* (pp. 1–44). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00001-7>
- Ashour, M., Mansour, A. T., Alkhamis, Y. A., & Elshobary, M. (2024a). Usage of Chlorella and diverse microalgae for CO₂ capture - towards a bioenergy revolution. In *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (Vol. 12). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1387519>
- Ashour, M., Mansour, A. T., Alkhamis, Y. A., & Elshobary, M. (2024b). Usage of Chlorella and diverse microalgae for CO₂ capture - towards a bioenergy revolution. In *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* (Vol. 12). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1387519>
- ASME. (2019). *ASME Section VIII Rules For Construction of Pressure Vessels Division 1*. <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- ASME B36.10M-2015 *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe* HEBEI METALS INDUSTRIAL LIMITED. (2015).
- Barbosa, M. J., Janssen, M., Ham, N., Tramper, J., & Wijffels, R. H. (2003). Microalgae cultivation in air-lift reactors: Modeling biomass yield and growth rate as a function of mixing frequency. *Biotechnology and Bioengineering*, 82(2), 170–179. <https://doi.org/10.1002/bit.10563>
- Blaas, H., & Kroeze, C. (2014). Possible future effects of large-scale algae cultivation for biofuels on coastal eutrophication in Europe. *Science of the Total Environment*, 496, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.131>
- BOOK-1 (PLANT-1 = PURIFICATION PLANT). (n.d.).
- Cahyono. (2004). *Perancangan bejana tekan vertikal berisi udara untuk peralatan pneumatik kapasitas 8,25 m³ Dengan tekanan kerja 5,7 kg/cm²*.
- Chai, X., & Zhao, X. (2012). Enhanced removal of carbon dioxide and alleviation of dissolved oxygen accumulation in photobioreactor with bubble tank. *Bioresource Technology*, 116, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.105>
- Chowdury, K. H., Nahar, N., & Deb, U. K. (2020). The Growth Factors Involved in Microalgae Cultivation for Biofuel Production: A Review. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 09(04), 185–215. <https://doi.org/10.4236/cweee.2020.94012>
- Colt, J., & Bouck, G. (n.d.). *Design of Packed Columns for Degassing*.
- De Vree, J. H., Bosma, R., Janssen, M., Barbosa, M. J., & Wijffels, R. H. (2015). Comparison of four outdoor pilot-scale photobioreactors. *Biotechnology for*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Biofuels*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0400-2>
- Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. In *International Affairs* (Vol. 92, Issue 5). <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=52802#.Vx3cdKv87ww>.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Luijkx, I. T., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., ... Zheng, B. (2023). Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data*, 15(12), 5301–5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- Gao, S., Edmundson, S., & Huesemann, M. (2022). Oxygen stress mitigation for microalgal biomass productivity improvement in outdoor raceway ponds. *Algal Research*, 68, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102901>
- Huang, Q., Jiang, F., Wang, L., & Yang, C. (2017). Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms. *Engineering*, 3(3), 318–329. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.020>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Technical Summary. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 37–118). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.002>
- Irfan, F., Tasnim, N., Razzak, S. A., & Uddin, S. (2025). Advances in capturing carbon and producing bioplastics through the microalgal approach towards a sustainable future: A review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 486). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144576>
- Kazbar, A., Cogne, G., Urbain, B., Marec, H., Le-Gouic, B., Tallec, J., Takache, H., Ismail, A., & Pruvost, J. (2019). Effect of dissolved oxygen concentration on microalgal culture in photobioreactors. *Algal Research*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101432>
- Kishi, M., Nagatsuka, K., & Toda, T. (2020). Effect of Membrane Hydrophobicity and Thickness on Energy-Efficient Dissolved Oxygen Removal From Algal Culture. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00978>
- Kishi, M., Tanaka, K., Tagawa, M., Akizuki, S., & Toda, T. (2023). Energy-efficient algal culture through aeration-less oxygen removal in a gas-permeable bag photobioreactor. *Algal Research*, 69, 102959. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102959>
- Kommareddy, A., Associate, R., & Anderson, G. (n.d.). *Study of Light as a parameter in the growth of algae in a Photo-Bio Reactor (PBR) Written for presentation at the 2003 ASAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE Riviera Hotel and Convention Center*.
- Lehr, F., & Posten, C. (2009). Closed photo-bioreactors as tools for biofuel production. In *Current Opinion in Biotechnology* (Vol. 20, Issue 3, pp. 280–285). <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.04.004>
- Li, K., Liu, Q., Fang, F., Luo, R., Lu, Q., Zhou, W., Huo, S., Cheng, P., Liu, J., Addy, M., Chen, P., Chen, D., & Ruan, R. (2019). Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. In *Bioresource*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Technology* (Vol. 291). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121934>
- Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Lopes, E. J., Pérez-Gálvez, A., & Roca, M. (2019). Chlorophyll oxidative metabolism during the phototrophic and heterotrophic growth of *Scenedesmus obliquus*. *Antioxidants*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/antiox8120600>
- Massart, A., Mirisola, A., Lupant, D., Thomas, D., & Hantson, A. L. (2014). Experimental characterization and numerical simulation of the hydrodynamics in an airlift photobioreactor for microalgae cultures. *Algal Research*, 6(PB), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.07.003>
- Ndiaye, M., Gadoin, E., & Gentric, C. (2018). CO₂ gas–liquid mass transfer and kLa estimation: Numerical investigation in the context of airlift photobioreactor scale-up. *Chemical Engineering Research and Design*, 133, 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.03.001>
- Raso, S., van Genugten, B., Vermuë, M., & Wijffels, R. H. (2012). Effect of oxygen concentration on the growth of *Nannochloropsis* sp. at low light intensity. *Journal of Applied Phycology*, 24(4), 863–871. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9706-z>
- Republic Of Indonesia. (2022). *Enhanced NDC Republic Of Indonesia*.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Barnard, P., & Moomaw, W. R. (n.d.). *World Scientists' Warning of a Climate Emergency SCIENTIST SIGNATORIES FROM 153 COUNTRIES (LIST IN SUPPLEMENTAL FILE S1)*. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088/5610806>
- Santoso, A. D., Riset, B., Nasional, I., Ihsan, I. M., & Ma'rufatin, A. (2014). *FOTOBIOREAKTOR Teknologi Penyerapan Emisi Karbon Secara Biologi*. <https://www.researchgate.net/publication/354694355>
- Torzillo, G., & Chini Zittelli, G. (2015). Tubular photobioreactors. In *Algal Biorefineries: Volume 2: Products and Refinery Design* (pp. 187–212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20200-6_5
- Vanags, J., & Suleiko, A. (2022). OXYGEN MASS TRANSFER COEFFICIENT APPLICATION IN CHARACTERISATION OF BIOREACTORS AND FERMENTATION PROCESSES. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 59(5), 21–32. <https://doi.org/10.2478/lpts-2022-0038>
- Yan, J., Obersteiner, M., Möllersten, K., & Moreira, J. R. (2019). Negative Emission Technologies – NETs. In *Applied Energy* (Vol. 255). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113749>
- Zhou, W., Wang, J., Chen, P., Ji, C., Kang, Q., Lu, B., Li, K., Liu, J., & Ruan, R. (2017). Bio-mitigation of carbon dioxide using microalgal systems: Advances and perspectives. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 76, pp. 1163–1175). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.065>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

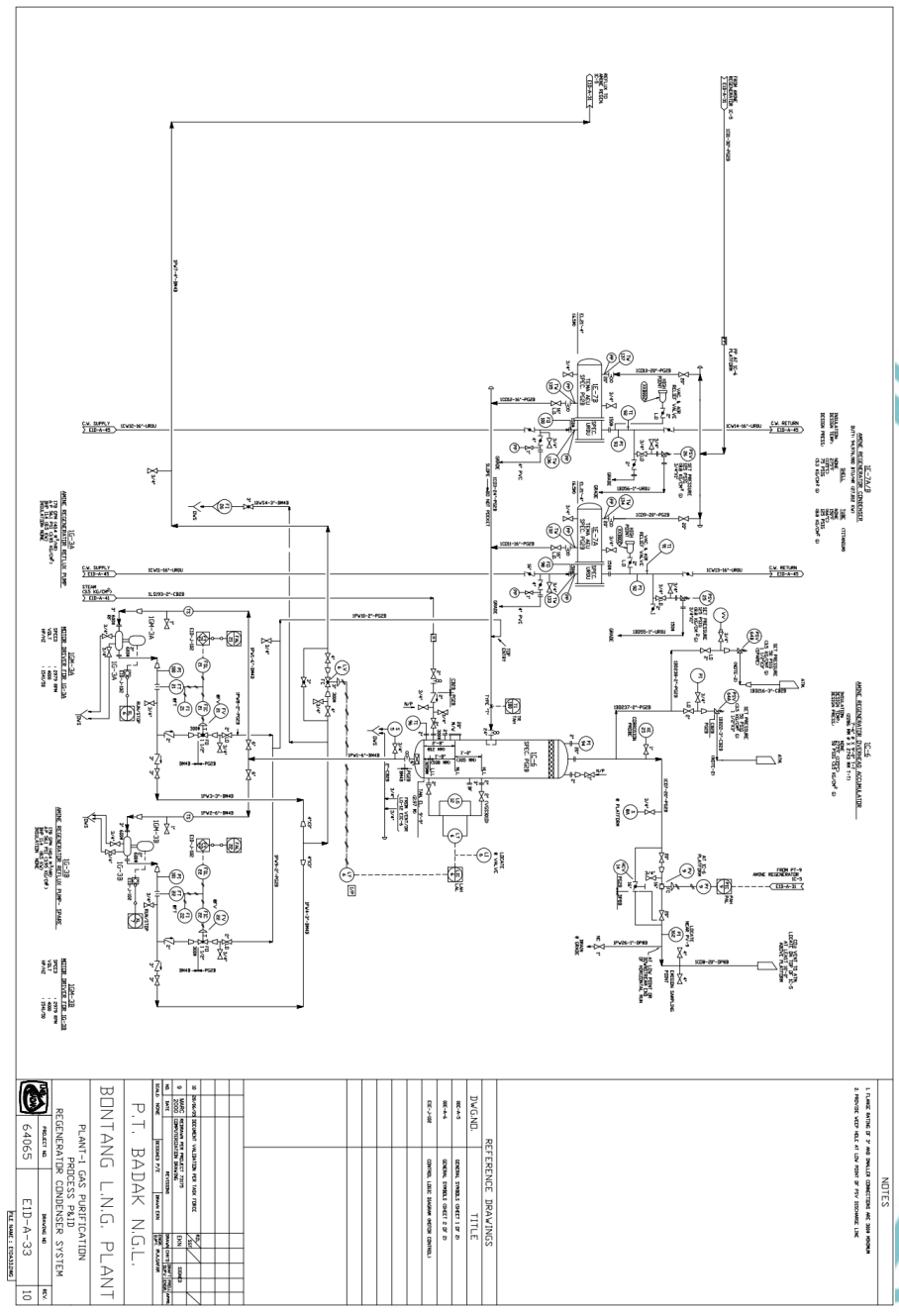
LAMPIRAN

RANGKUMAN LAPORAN PERHITUNGAN BEBAN EMISI SUMBER TIDAK BERGERAK KEGIATAN OPERASIONAL PT PERTAMINA			
Unit Kegiatan Operasi	:	PT Badak LNG	
Lokasi Kegiatan Operasi	:	All	
Periode	:	Januari - Desember	
Tahun	:	2024	
Sumber Emisi	Parameter	Beban Emisi (ton)	Beban Emisi (ton eq. CO2)
Pembakaran Dalam dan Luar	CO ₂	1.417.729,01	1.417.729,01
	CH ₄	31,85	891,68
	N ₂ O	3,18	843,91
	SO _x	11,09	N/A
	NO _x	3.503,81	N/A
	PM	97,53	N/A
Suar Bakar	CO ₂	39.641,16	39.641,16
	CH ₄	194,26	5.439,20
	N ₂ O	0,59	157,57
	SO _x	0,00	N/A
	NO _x	0,05	N/A
	PM	0,00	N/A
Thermal Oxidizer & Incinerator Gas Kecut	CO ₂	0,00	0,00
	CH ₄	0,00	0,00
	N ₂ O	0,00	0,00
	SO _x	0,00	N/A
Unit Penangkap Sulfur	CO ₂	0,00	0,00
	CH ₄	0,00	0,00
	N ₂ O	0,00	0,00
	SO _x	0,00	N/A
Fugitive	nmVOC	440,28	N/A
	CH ₄ /Refrigerant	73,38	2.054,66
	TOC	513,66	N/A
Tangki Timbun	nmVOC	0,00	N/A
	CH ₄	0,00	0,00
	TOC	0,00	N/A
Loading & Unloading	nmVOC	0,00	N/A
	CH ₄	0,00	0,00
Unit Dehidrasi	nmVOC	0,00	N/A
	CH ₄	0,00	0,00
Fluid Catalytic Cracking Unit	nmVOC	0,00	N/A
	CH ₄	0,00	0,00
Unit Pentawaran CO ₂	nmVOC	0,00	N/A
	CH ₄	0,00	0,00
Waste Water Treatment	CO ₂	329.877,44	329.877,44
	CH ₄	3.475,09	97.302,51
	CO ₂	23,69	23,69
Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	CH ₄	0,00	0,00
	NO _x	0,00	N/A
	CO ₂	0,00	0,00
Penggunaan Listrik dari Pihak Ketiga	CH ₄	6.403,41	6.403,41
	CH ₄	-	N/A
	N ₂ O	-	N/A
Process Refinery Unit	CO ₂	0,00	0,00
	CH ₄	0,00	0,00
	N ₂ O	0,00	0,00
	SO _x	-	N/A
	PM	-	N/A
Total Beban Emisi (Operational)		1.802.019,49	1.900.364,23
Total Beban Emisi (Equity)		1.802.019,49	1.900.364,23

Lampiran 1 Laporan Perhitungan Beban Emisi PT BADAK NGL

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 2 P&ID Amine Regenerator Overhead Accumulator 1C-6



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



BADAK LNG
LABORATORY AND ENVIRONMENT CONTROL
 Jl. Raya Kutai, PT Badak NGL Bontang Telp. (0548) 552908 Fax. (0548) 552063
 Bontang, Kalimantan Timur, 75324

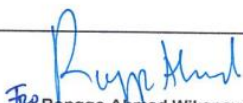
NON ROUTINE

LAPORAN HASIL UJI

Kind of Sample	:	Gas
No. LHU	:	1414/BP32/2024-301
No. RLS	:	2024RLS00581
Nama/Institusi Pemohon	:	Process Engineering & Energy Conserv.
Alamat Pemohon	:	BADAK LNG
Identitas Sampel Pemohon	:	CO2 Vent Stack Tr #G CO2 Vent Stack Tr #H
Identitas Sampel Laboratorium	:	B24-301-1048 B24-301-1049
Lokasi Pengambilan Sampel	:	Process Train GH
Kondisi Sampel	:	Baik
Petugas Pengambil Sampel	:	Environment Technician
Tanggal Pengambilan Sampel	:	25 September 2024
Jam Pengambilan Sampel	:	10:00
Tanggal Analisis	:	26 - 27 September 2024
Tanggal Terbit LHU	:	27 September 2024
Analisis	:	Aulia Tulananda
Pengawas	:	Ferry Oktafriyanto

Parameter Uji	Unit	Metode	Hasil Pengujian	
			CO2 Vent Stack Tr #G	CO2 Vent Stack Tr #H
Nitrogen, N ₂	% mol	GPA-2261	4.60	4.13
Oxygen, O ₂			1.64	1.49
Methane, CH ₄			0.81	1.26
Carbon Dioxide, CO ₂			92.96	93.13
Total	-	-	100.00	100.00
Flowrate	m/s	-	43.23	40.19

Catatan


Ronggo Ahmad Wikanswasto
 Manager, Laboratory & Environment Control

Distribusi :

1. Manager, Process Engineering & Energy Conserv.
2. Anto Yamashita

Lampiran 3 Laporan Hasil Uji (LHU) No. 1414/BP32/2024-301 Laboratorium Pt Badak NGL



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Performance Data												
Pipe connection NPT or BSPT (in)	Spray angle (0.7 bar)					Capacity Size	Orifice Size (mm)	Capacity (L/Min)				
	60°	90°	120°	150°	170°			0.7 bar	1.5 bar	3 bar	7 bar	25 bar
1/4	*	*	*	*	*	07	2.4	2.8	3.9	5.5	8.4	16
	*	*	*	*	*	13	3.2	4.9	7.3	10.3	15.7	30
	*	*	*	*	*	20	4.0	7.5	11.2	15.8	24	46
	*	*	*	*	*	07	2.4	2.8	3.9	5.5	8.4	16
	*	*	*	*	*	13	3.2	4.9	7.3	10.3	15.7	30
3/8	*	*	*	*	*	20	4.0	7.5	11.2	15.8	24	46
	*	*	*	*	*	30	4.8	11.4	16.7	24	36	68
	*	*	*	*	*	40	5.6	15.1	22	32	48	91
	*	*	*	*	*	53	6.4	20	30	42	64	121
	*	*	*	*	*	82	7.9	31	46	65	99	187
1/2	*	*	*	*	*	120	9.5	45	67	95	145	270
	*	*	*	*	*	164	11.1	62	92	129	198	370
3/4	*	*	*	*	*	210	12.7	80	117	166	255	480
1	*	*	*	*	*	340	15.9	130	190	270	410	775
	*	*	*	*	*	470	19.1	179	260	370	565	1070
	*	*	*	*	*	640	22.2	245	355	505	770	1460
1-1/2	*	*	*	*	*	820	25.4	310	455	645	990	1870
	*	*	*	*	*	960	28.6	365	535	755	1180	2190
2	*	*	*	*	*	1400	34.9	535	780	1105	1690	3190
	*	*	*	*	*	1780	38.1	680	995	1405	2150	4060
3	*	*	*	*	*	2560	44.5	980	1430	2020	3090	5830
	*	*	*	*	*	3360	50.8	1280	1880	2680	4050	7660
4	*	*	*	*	*	5250	63.5	2000	2930	4140	6330	11980

Size			
Nozzle inlet conn	Nozzle length (L) (mm)	Thread length (R) (mm)	Spray angle
1/4	53.9	12	60° 150° 170°
1/4	47.6	12	90° 120°
3/8	60.3	13	60° 150° 170°
3/8	47.6	13	90° 120°
1/2	79.4	16	60° 150° 170°
1/2	63.5	16	90° 120°
3/4	87.3	16	60° 150° 170°
3/4	69.9	16	90° 120°
1	116	20	60° 150° 170°
1	92.1	20	90° 120°
1-1/2	171	26	60° 150° 170°
1-1/2	111	26	90° 120°
2	175	35	60° to 170°
3	203	40	60° to 170°
4	229	40	60° 90° 120°

Lampiran 4 Spesifikasi Nozzel



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ASME BPVC.II.D.M-2019

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3; Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./UNS	Class/Condition/Temper	Size/Thickness, mm	P-No.	Group No.
1	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
2	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
3	18Cr-8Ni	Wld. tube	SA-688	TP304L	S30403	...	...	8	1
4	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-813	TP304L	S30403	...	...	8	1
5	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-814	TP304L	S30403	...	...	8	1
6	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	>130	8	1
7	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	>130	8	1
8	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	>130	8	1
9	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	>130	8	1
10	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF3	J92500	...	...	8	1
11	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF3	J92500	...	...	8	1
12	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
13	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
14	18Cr-8Ni	Castings	SA-351	CF8	J92600	...	...	8	1
15	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
16	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
17	18Cr-8Ni	Cast pipe	SA-451	CPF3	J92500	...	...	8	1
18	18Cr-8Ni	Cast pipe	SA-451	CPF8	J92600	...	...	8	1
19	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304	S30400	...	...	8	1
20	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304	S30400	...	...	8	1
21	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304H	S30409	...	...	8	1
22	18Cr-8Ni	Forgings	SA-965	F304H	S30409	...	...	8	1
23	18Cr-8Ni	Plate	SA/EN 10028-7	X2CrNi18-9	...	...	≤75	8	1
24	18Cr-8Ni	Plate	SA/EN 10028-7	X2CrNi18-9	...	...	≤75	8	1
25	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	≤130	8	1
26	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304	S30400	...	≤130	8	1
27	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	≤130	8	1
28	18Cr-8Ni	Forgings	SA-182	F304H	S30409	...	≤130	8	1
29	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304	S30400	...	...	8	1
30	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304	S30400	...	...	8	1
31	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304H	S30409	...	...	8	1
32	18Cr-8Ni	Smls. tube	SA-213	TP304H	S30409	...	...	8	1
33	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	302	S30200	...	...	8	1
34	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	302	S30200	...	...	8	1
35	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304	S30400	...	...	8	1
36	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304	S30400	...	...	8	1
37	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304H	S30409	...	...	8	1
38	18Cr-8Ni	Plate	SA-240	304H	S30409	...	...	8	1

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3; Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding															
	40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475	
1	115	115	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	...	
2	97.8	97.8	97.8	97.8	97.8	93.2	87.2	83.0	81.4	80.0	78.7	77.6	76.5	75.4	73.6	
3	97.8	88.9	82.5	78.4	74.9	69.0	64.6	61.5	60.3	59.2	58.3	57.5	56.7	55.8	54.9	
4	115	115	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	...	
5	115	115	115	115	115	110	103	97.7	95.7	94.1	92.6	91.3	90.0	88.7	...	
6	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
7	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
8	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
9	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
10	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	...	
11	138	126	113	107	103	95.7	90.0	85.6	83.9	82.3	80.5	79.2	77.7	76.4	...	
12	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
13	138	126	113	107	103	95.7	90.0	85.6	83.9	82.3	80.5	79.2	77.7	76.4	74.9	
14	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
15	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
16	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
17	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	...	
18	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	...	
19	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
20	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
21	138	134	130	126	122	119	118	115	114	111	109	107	105	103	101	
22	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
23	133	133	133	133	133	127	119	113	111	109	107	106	105	103	101	
24	133	121	113	107	102	94.1	88.1	83.8	82.2	80.8	79.6	78.5	77.5	76.3	75.1	
25	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
26	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
27	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
28	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
29	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
30	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
31	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
32	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
33	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	...	...	...	
34	138	126	113	107	103	95.7	90.0	85.6	83.9	82.3	80.5	79.2	...	...	...	
35	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	
36	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
37	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101	
38	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8	

Lampiran 5 Stress Allowable for Plate SA-240



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/ Thickness, mm	P-No.	Group No.
1	18Cr-8Ni	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP304	S30400	...	...	8	1
2	18Cr-8Ni	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP304	S30400	...	...	8	1
3	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304	S30400	...	...	8	1
4	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304	S30400	...	...	8	1
5	18Cr-8Ni	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP304H	S30409	...	...	8	1
6	18Cr-8Ni	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP304H	S30409	...	...	8	1
7	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304H	S30409	...	...	8	1
8	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-312	TP304H	S30409	...	...	8	1
9	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-358	304	S30400	1	...	8	1
10	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-358	304H	S30409	1	...	8	1
11	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-358	304LN	S30453	1	...	8	1
12	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
13	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304	S30400	...	...	8	1
14	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304H	S30409	...	...	8	1
15	18Cr-8Ni	Smls. pipe	SA-376	TP304H	S30409	...	...	8	1
16	18Cr-8Ni	Smls. & wld. fittings	SA-403	304	S30400	...	...	8	1
17	18Cr-8Ni	Smls. & wld. fittings	SA-403	304H	S30409	...	...	8	1
18	18Cr-8Ni	Wld. pipe	SA-409	TP304	S30400	...	...	8	1
19	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	302	S30200	...	...	8	1
20	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	302	S30200	...	...	8	1
21	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304	S30400	...	...	8	1
22	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304	S30400	...	...	8	1
23	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304H	S30409	...	...	8	1
24	18Cr-8Ni	Bar	SA-479	304H	S30409	...	...	8	1

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials
 (*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding														
No.	40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475
1	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
2	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8
3	117	117	117	114	111	107	103	98.5	96.5	94.7	92.8	90.9	89.1	87.1	85.9
4	117	107	96.2	91.2	87.4	81.1	76.6	72.7	71.2	70.0	68.8	67.5	66.3	65.0	63.8
5	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
6	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8
7	117	117	117	114	111	107	103	98.5	96.5	94.7	92.8	90.9	89.1	87.1	85.9
8	117	107	96.2	91.2	87.4	81.1	76.6	72.7	71.2	70.0	68.8	67.5	66.3	65.0	63.8
9	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	...
10	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	...
11	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	...
12	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
13	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8
14	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
15	138	126	113	107	103	95.7	89.9	85.9	84.1	82.2	80.5	79.2	77.3	76.0	74.8
16	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
17	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	101
18	138	138	137	134	130	126	122	116	114	111	109	107	105	103	...

Lampiran 6 Stress Allowable for Plate SA-358



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Spesifikasi ER308	
Tipe Arus	Direct Current Electrode Negative (DCEN)
Variasi Arus	150-250 [A]
<i>Ultimate Tensile Strenght</i>	88000 [psi]
Yield Strenght	59000 [psi]
Elongation in 2"	39%
Shielding Gas	100% Ar
Diameter	2,4 [mm]

Lampiran 7 Spesifikasi kawat las ER308

Spesifikasi 309-16	
Tipe Arus	Direct Current Electrode Positive (DCEP) atau AC
Variasi Arus	40-70 [A]
<i>Ultimate Tensile Strenght</i>	84000 [psi]
Yield Strenght	66000 [psi]
Elongation in 2"	38%
Shielding Gas	Carbon (0,04 max) Chromium (22-25) Nickel (12-14) Molibdenum (0,75 max) Manganese (0,5-2,5) Silicon (1 max) Phosporus (0,04 max) Sulfur (0,03 max) Copper (0,75 max)
Diameter	2,4 [mm]

Lampiran 8 Spesifikasi kawat las 309-16

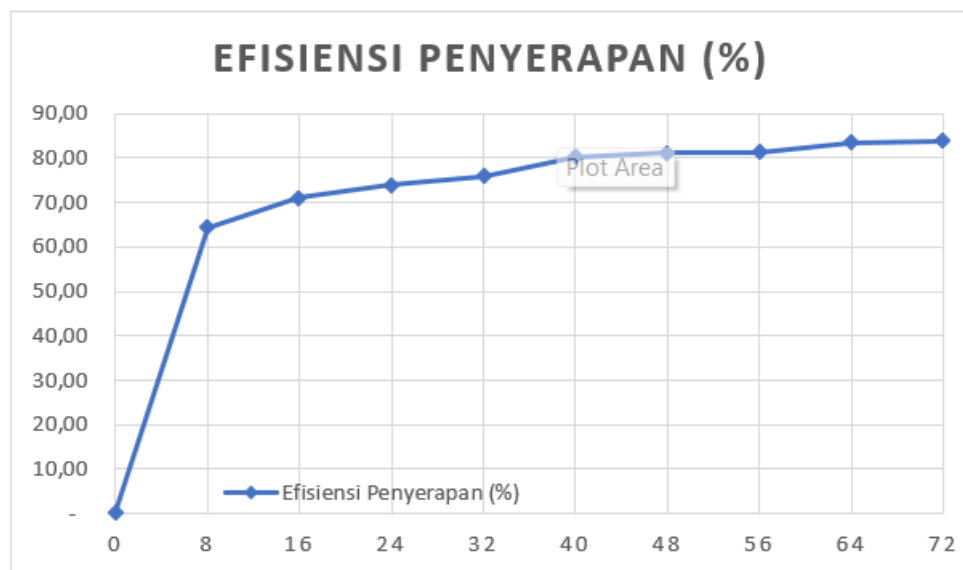


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Jam	Konsentrasi CO2 in	Konsentrasi CO2 Out	Volume Injeksi (Liter)	Massa CO2 In (gram)	Massa CO2 Out (gram)	Massa CO2 Terserap	Efisiensi Penyerapan (%)
0	0.00%	0.00%	0	0	0	0	0
8	93.22%	33.24%	33.6	61.40	21.89	39.51	64.35
16	93.22%	27.05%	67.2	122.81	35.63	87.18	70.99
24	93.22%	24.12%	100.8	184.21	47.65	136.56	74.13
32	93.22%	22.47%	134.4	245.62	59.19	186.43	75.90
40	93.22%	18.50%	168	307.02	60.92	246.10	80.16
48	93.22%	17.61%	201.6	368.42	69.58	298.84	81.11
56	93.22%	17.33%	235.2	429.83	79.89	349.94	81.41
64	93.22%	15.29%	268.8	491.23	80.56	410.68	83.60
72	93.22%	15.17%	302.4	552.64	89.91	462.72	83.73



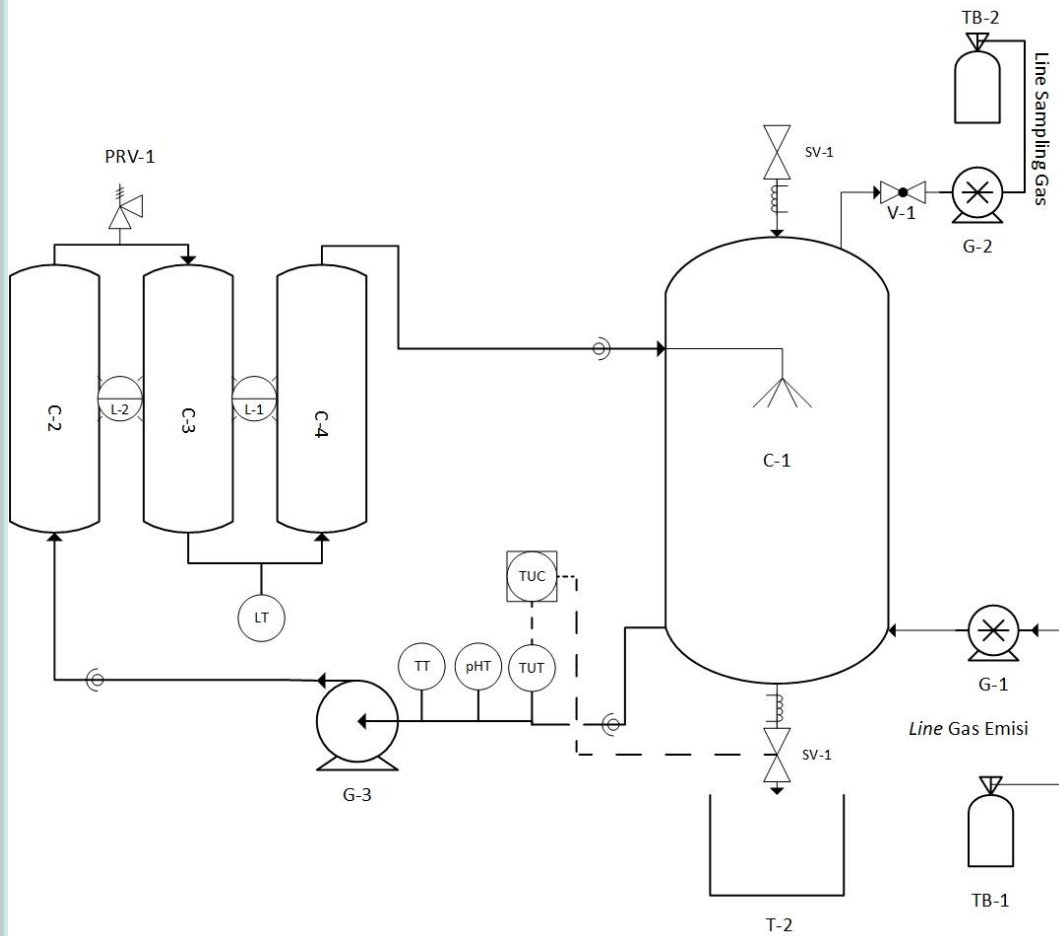
Lampiran 9 Tabel dan Grafik Kinerja Penyerapan CO₂



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 10 Piping & Instrumentation Diagram (P&ID) Fotobioreaktor

NEGERI
JAKARTA