



© 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



Badak LNG

**MODIFIKASI DESAIN
FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂
DARI HASIL *VENT STACK AMINE***

LAPORAN TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Elsa Amaliah Nursyam

NIM. 2302319002

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI, 2026



© 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



Badak LNG

**MODIFIKASI DESAIN
FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂
DARI HASIL *VENT STACK AMINE***

LAPORAN TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Elsa Amaliah Nursyam

NIM. 2302319002

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI, 2026

“Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk ayah ibu, bangsa dan almamater”



© 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





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

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DESAIN

FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂

DARI HASIL *VENT STACK AMINE*

Oleh :

Elsa Amaliah Nursyam

NIM. 2302319002

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir Telah Disetujui Oleh Pembimbing :

Pembimbing 1

Muhammad Prasha Risfi Silitonga,

S.Si., M.T

NIP : 199403192022031006

Pembimbing 2

Ir. Bambang Irawan, S.T

NIP : 132492

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Nabila Yudisha, S.T., M.T.

NIP. 199311302023212045



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

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**MODIFIKASI DESAIN FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂ DARI HASIL
VENT STACK AMINE**

Oleh:

Elsa Amaliah Nursyam

NIM. 2302319002

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 8 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D-III Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Muhammad Prasha Risfi Silitonga NIP. 199403192022031006	Ketua Penguji		8 Juli 2026
2.	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T. NIP. 199306062019032030	Penguji 1		8 Juli 2026
3.	Lilik Adib Kurniawan NIP. 133122	Penguji 2		8 Juli 2026

Bontang, 08 Juli 2026

Disahkan oleh:



Ketua Jurusan Teknik Mesin
Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Elsa Amaliah Nursyam

NIM : 2302319002

Program Studi : Diploma III Teknik Mesin

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir ini telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 03 Juli 2026



Elsa Amaliah Nursyam

NIM 2302319002



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

MODIFIKASI DESAIN FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂ DARI HASIL VENT STACK AMINE

Elsa Amaliah Nursyam¹⁾, Muhammad Prasha Risfi Silitonga¹⁾, Bambang Irawan²⁾

Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri
Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

PT. Badak NGL, Bontang Kalimantan Timur, 75324

Email: elsa.amaliah.nursyam.tm23@stu.pnj.id

ABSTRAK

Emisi karbon dioksida (CO₂) dari industri pengolahan gas alam merupakan salah satu penyumbang gas rumah kaca yang perlu dikendalikan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh modifikasi desain fotobioreaktor, variasi laju alir gas CO₂, dan siklus cahaya terhadap efektivitas penyerapan CO₂ oleh mikroalga *Chlorella vulgaris* menggunakan gas emisi Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator PT Badak NGL. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan memodifikasi desain fotobioreaktor melalui penambahan jumlah pipa dari tiga menjadi lima serta pemisahan jalur inlet dan outlet gas. Variasi laju alir gas yang digunakan adalah 60 dan 120 mL/menit, sedangkan variasi siklus cahaya meliputi 8:16, 12:12, dan 16:8 (terang:gelap). Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi desain meningkatkan *residence time* dari 416,67 menit menjadi 1.500 menit serta meningkatkan efektivitas penyerapan CO₂ dari kisaran 64,35–83,73% menjadi 84,22–97,50%. Variasi laju alir gas memberikan efektivitas penyerapan yang relatif tinggi pada kedua kondisi pengujian, sedangkan siklus cahaya 16 jam terang: 8 jam gelap menghasilkan efektivitas penyerapan terbaik dengan efektivitas sebesar 25,60%. Secara keseluruhan, fotobioreaktor hasil modifikasi mampu mempertahankan efektivitas penyerapan CO₂ di atas 87% selama pengujian, sehingga berpotensi diterapkan sebagai teknologi *biological carbon capture* pada industri pengolahan gas alam.

Kunci: Karbon dioksida (CO₂), Fotobioreaktor, *Chlorella vulgaris*, Penyerapan CO₂, *Biological Carbon Capture*.



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

MODIFIKASI DESAIN FOTOBIOREAKTOR FIKSASI CO₂ DARI HASIL VENT STACK AMINE

Elsa Amaliah Nursyam¹⁾, Muhammad Prasha Risfi Silitonga¹⁾, Bambang Irawan²⁾

Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,

Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

PT. Badak NGL, Bontang Kalimantan Timur, 75324

Email: elsaamaliaa2005@gmail.com

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the natural gas processing industry are one of the major contributors to greenhouse gas emissions and require effective mitigation strategies. This study aimed to evaluate the effects of photobioreactor design modification, CO₂ gas flow rate, and light cycle on the efficiency of CO₂ absorption by *Chlorella vulgaris* microalgae using flue gas from the Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator of PT Badak NGL as the carbon source. The study was conducted experimentally by modifying the photobioreactor design through increasing the number of pipes from three to five and separating the gas inlet and outlet channels. The applied gas flow rates were 60 and 120 mL/menit, while the light cycles were 8:16, 12:12, and 16:8 hours (light). The results showed that the modified photobioreactor increased the CO₂ residence time from 416.67 minutes to 1,500 minutes and improved the CO₂ absorption efficiency from 64.35–83.73% to 84.22–97.50%. Both gas flow rates achieved relatively high absorption efficiencies, while the 16:8 hour light-dark cycle provided the highest absorption effectiveness with an efficiency of 25.60%. Overall, the modified photobioreactor maintained CO₂ absorption efficiencies above 87% throughout the experiments, indicating its potential application as a biological carbon capture technology for the natural gas processing industry.

Keywords: Carbon Dioxide (CO₂), Photobioreactor, *Chlorella vulgaris* Microalgae, CO₂ Absorption, Biological Carbon Capture.



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 ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Modifikasi Desain Fotobioreaktor Fiksasi CO₂ dari Hasil Vent Stack Amine” ini dapat disusun dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat dalam penyusunan Tugas Akhir pada Program Studi D3 Teknik Mesin Konsentrasi Gas Processing, Politeknik Negeri Jakarta yang bekerja sama dengan PT Badak NGL.

Dalam proses penyusunan Laporan ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta bimbingan sehingga Laporan ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Syamsurizal, S.E.M.M., sebagai Direktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. Anas Malik Abdillah, S.T., MBA., IPM., sebagai Direktur LNG Academy.
4. Bapak Zaki Arif, selaku Kepala Jurusan Pengolahan Gas LNG Academy.
5. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin.
6. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T., selaku pembimbing Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Bambang Irawan, S. T., selaku pembimbing Industri.
8. Bapak Teguh Pratama, selaku pembimbing Industri.
9. Kedua orang tua yang senantiasa mendukung dan memotivasi penulis dari segi material maupun moral.
10. Rekan Aliva dan Shendy selaku teman satu tim Tugas Akhir yang senantiasa kebersamai dan mendukung penulis.
11. Rekan-rekan LNG Academy Angkatan 13 yang telah memberikan dukungan dan bantuan demi kelancaran pelaksanaan Praktik Kerja



© 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

Lapangan.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan yang membangun demi penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Semoga Laporan ini dapat memberikan manfaat serta menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi penyerapan karbon berbasis mikroalga.

Bontang, 08 Juli 2026

Penulis





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	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan	19
1.4 Manfaat	20
1.4.1 Bagi Penulis	20
1.4.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta	20
1.4.3 Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri	20
1.5 Batasan Masalah	21
1.6 Sistematika Penulisan	22
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	24
2.1.1 Prinsip Kerja Sistem <i>Amine Regenerator</i>	24
2.1.2 <i>Amine Regenerator Overhead Accumulator 1C-6</i>	26
2.2 Emisi Karbon Dioksida (CO₂)	27
2.2.1 Karakteristik CO ₂	27



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

2.2.2	Sumber Emisi CO ₂ dari Industri.....	28
2.2.3	Upaya Pengurangan Emisi CO ₂	29
2.3	Fotobioreaktor Berbasis Mikroalga untuk Fiksasi CO₂.....	31
2.3.1	Mekanisme Fiksasi CO ₂ oleh Mikroalga	31
2.3.2	Jenis Fotobioreaktor	33
2.3.3	Pengaruh Konfigurasi Sistem terhadap Efektivitas Fiksasi	36
2.4	Perpindahan Massa Gas–Cair pada Sistem Fotobioreaktor	37
2.4.1	Mekanisme Transfer CO ₂	37
2.4.2	Pengaruh Luas Kontak Gas–Cair.....	37
2.5	Parameter Operasi dalam Proses Fotobioreaktor	37
2.4.1	Laju Alir Gas CO ₂	38
2.4.2	Intensitas Cahaya	38
2.4.3	Siklus Cahaya.....	38
2.4.4	pH dan Kondisi Medium Kultur	39
BAB III METODE PENELITIAN		40
3.1	Diagram alir.....	40
3.2	Langkah Kerja	41
3.3	Metode Penyelesaian Masalah	44
3.3.1.	Jenis Penelitian.....	44
3.3.2.	Variabel Penelitian.....	45
3.3.3.	Metode Analisis Data	46
3.3.4.	Perhitungan Data.....	47
BAB IV PEMBAHASAN.....		52
4.1	Pengaruh Modifikasi Sistem Fotobioreaktor terhadap Efektivitas Penyerapan CO₂	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

4.1.1	Dasar Pemilihan Modifikasi Sistem Fotobioreaktor	52
4.1.2	Desain dan Konfigurasi Sistem Fotobioreaktor Sesudah Modifikasi 56	
4.1.3	Pengaruh Modifikasi Terhadap Efektivitas Penyerapan CO ₂	60
4.2	Pengaruh Variasi Laju Alir Gas CO₂ dan Siklus Cahaya terhadap Efektivitas Penyerapan CO₂.....	62
4.2.1	Pengaruh Variasi Siklus Cahaya terhadap Efektivitas Penyerapan CO ₂ 62	
4.2.2	Pengaruh Variasi Laju Alir Gas CO ₂ terhadap Efektivitas Penyerapan CO ₂	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		68
DAFTAR PUSTAKA		70
LAMPIRAN		76

**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 2.1 Jenis Fotobioreaktor	36
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Residence Time	55
Tabel 4.2 Spesifikasi Alat	59
Tabel 4.3 Parameter Operasi Fotobioreaktor	60
Tabel 4.4 Variasi Siklus Cahaya Terhadap Efektivitas Penyerapan CO ₂	63





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 GAMBAR

Gambar 1.1 Tren Emisi CO ₂ dari Unit Purifikasi Gas PT Badak NGL Periode 2020	16
Gambar 1.2 Alat Fotobioreaktor Sebelumnya	18
Gambar 2.1 Amine Regenerator 1C-5	25
Gambar 2.2 Amine Regenerator Overhead Accumulator 1C-6 Train C.....	26
Gambar 2.3 Proses Reaksi Terang	31
Gambar 2.4 Siklus Calvin-Benson pada reaksi gelap.....	32
Gambar 2.5 Reaksi Fotosintesis	33
Gambar 2.6 Fotobioreaktor Tubular	34
Gambar 2.7 Fotobioreaktor Panel Datar	34
Gambar 2.8 Fotobioreaktor Kolom Gelembung	35
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	40
Gambar 4.1 Process Flow Diagram Fotobioreaktor Mikroalga Sebelumnya	52
Gambar 4.2 Process Flow Diagram Fotobioreaktor Mikroalga Terbaru	53
Gambar 4.3 Proses Flow Diagram Fotobioreaktor	56
Gambar 4.4 Fotobioreaktor Mikroalga	57
Gambar 4.5 Grafik perbandingan efektivitas Penyerapan CO ₂ terhadap perubahan desain.....	61
Gambar 4.6 Perbandingan Efektivitas Penyerapan CO ₂ Terhadap Laju Alir Gas (mL/menit)	64
Gambar 4.7 Grafik pH vs Waktu	66

Hak Cipta :

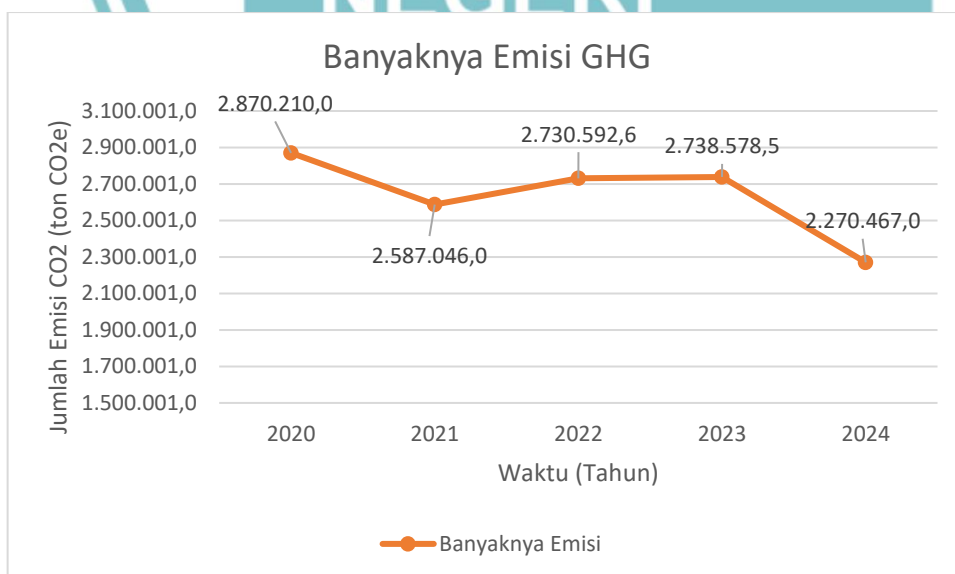
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer menjadi salah satu isu lingkungan yang terus mendapat perhatian global. Data menunjukkan bahwa konsentrasi CO_2 telah melampaui 420 ppm, meningkat signifikan dibandingkan kondisi pra-industri yang berada di kisaran 280 ppm [1]. Peningkatan ini berkontribusi terhadap kenaikan suhu rata-rata bumi serta perubahan iklim yang semakin sulit diprediksi. Oleh karena itu, berbagai upaya mitigasi terus dikembangkan, baik melalui pendekatan kebijakan maupun inovasi teknologi penurunan emisi.

Di sektor industri pengolahan gas alam, CO_2 merupakan komponen yang secara alami terkandung dalam gas mentah dan harus dipisahkan sebelum proses pencairan atau pemurnian lanjutan. Pada unit amine regenerator, CO_2 yang telah dipisahkan dari gas proses umumnya dilepaskan kembali ke atmosfer melalui vent stack. Meskipun sistem ini efektif untuk pemurnian gas, emisi CO_2 yang dilepas tetap memberikan kontribusi terhadap total emisi industri. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan teknologi yang tidak hanya menangkap, tetapi juga memanfaatkan kembali CO_2 secara lebih produktif [2].



Gambar 1.1 Tren Emisi CO_2 dari Unit Purifikasi Gas PT Badak NGL Periode 2020-2024



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][4][5][6]

Berdasarkan data historis pada gambar 1.1 menunjukkan emisi CO₂ dari unit ini mencapai rata-rata 2.639.378,8 ton CO₂e per tahun dengan puncak 2.870.210,0 ton pada 2020 [3],[4]. Tren ini mengindikasikan urgensi implementasi teknologi penangkapan karbon untuk mengurangi jejak karbon dari operasional unit purifikasi gas [5],[6].

Salah satu pendekatan pengurangan emisi CO₂ yang berkembang adalah pemanfaatan mikroalga untuk proses biofiksasi karbon. Mikroalga mampu melakukan fiksasi CO₂ secara efisien melalui fotosintesis dan mengonversi karbon menjadi biomassa untuk berbagai aplikasi seperti biofuel, pangan, dan bahan kimia [7]. Penelitian terkini menunjukkan bahwa mikroalga seperti *Chlorella sp.* dapat mentoleransi CO₂ pada tingkat tinggi hingga 70% vol, dengan beberapa spesies mampu mentoleransi hingga 100% vol CO₂ [8]. Sistem tertutup seperti fotobioreaktor memungkinkan pengendalian parameter proses secara lebih stabil dibandingkan kolam terbuka, sehingga potensi penyerapan CO₂ dapat dioptimalkan [9].

Pada penelitian sebelumnya telah merancang dan membangun prototipe fotobioreaktor skala pilot untuk menyerap CO₂ dari vent stack amine regenerator dengan menggunakan jenis mikroalga *Chlorella sp* [10]. *Chlorella sp* termasuk dalam divisi Chlorophyta, yang merupakan mikroalga uniseluler berwarna hijau dengan diameter sel berkisar antara 2-10 µm [11]. *Chlorella sp.* Fokus utama dalam penelitian fiksasi CO₂ sebelumnya merupakan membangun skala pilot Fotobioreaktor dan mengevaluasi kinerja alat dengan mengecek efektivitas penyerapan CO₂ dan laju pertumbuhan pada mikroalga (jumlah massa yang dihasilkan) [10].

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



Gambar 1.2 Alat Fotobioreaktor Sebelumnya [10]

Prototipe pada Gambar 1.2 telah menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dan mendukung konsep Biological Carbon Capture pada skala kecil [10]. Namun, dari hasil evaluasi sistem, masih terdapat beberapa aspek proses yang belum dikaji secara mendalam, khususnya terkait konfigurasi aliran gas dan variasi kondisi operasi [10].

Pada sistem sebelumnya, aliran masuk CO_2 dan aliran keluar berada dalam satu vessel. Selama proses absorpsi, CO_2 akan bergerak naik di dalam medium cair karena adanya gaya apung (buoyancy). Proses perpindahan massa hanya berlangsung selama masih terdapat perbedaan konsentrasi antara fase gas dan fase cair [12]. Ketika medium cair mendekati kesetimbangan (saturation) terhadap CO_2 , gaya pendorong perpindahan massa menurun sehingga laju pelarutan berkurang. Akibatnya, sebagian CO_2 yang belum seluruhnya terlarut akan tetap naik ke permukaan dan keluar bersama gas hasil proses [12]. Kondisi ini dapat mempengaruhi keakuratan evaluasi efektivitas fiksasi karena sulit membedakan antara gas hasil proses dan gas sisa yang belum terserap secara optimal.

Selain konfigurasi sistem, parameter operasi seperti intensitas cahaya, laju alir CO_2 , konduktivitas medium, serta waktu tinggal gas memiliki pengaruh terhadap jumlah penyerapan CO_2 , semakin kecil laju alir biogas dan laju alir absorben maka semakin tinggi penyerapan CO_2 [13]. Variasi parameter tersebut pada penelitian sebelumnya masih terbatas dan dilakukan dalam rentang waktu pengujian yang relatif singkat.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pengembangan sistem yang tidak hanya berfokus pada fungsi alat, tetapi juga pada evaluasi performa proses secara



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

lebih komprehensif. Modifikasi konfigurasi dengan memisahkan vessel masuk CO₂ dan vessel keluaran gas diharapkan dapat meningkatkan kejelasan aliran, mengurangi kemungkinan pencampuran ulang gas, serta memberikan kondisi kontak gas-cair yang lebih terkontrol. Dengan konfigurasi yang lebih terpisah, analisis efektivitas fiksasi CO₂ dapat dilakukan dengan pendekatan yang lebih terukur [10].

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh modifikasi konfigurasi sistem dan variasi kondisi operasi terhadap kinerja fotobioreaktor mikroalga dalam fiksasi CO₂ dari vent stack amine regenerator. Variabel yang dikaji meliputi siklus cahaya, serta laju alir CO₂. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih jelas mengenai hubungan antara kondisi operasi dan efektivitas fiksasi CO₂ pada sistem fotobioreaktor skala laboratorium.

Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem fotobioreaktor yang lebih efektif dan terarah dari sisi proses, serta menjadi dasar evaluasi untuk pengembangan skala yang lebih besar di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi desain fotobioreaktor melalui perubahan jumlah *degassing column* dari satu menjadi dua unit serta penambahan jumlah kolom fotobioreaktor dari tiga menjadi lima kolom terhadap efektivitas penyerapan CO₂ pada sistem fotobioreaktor?
2. Bagaimana pengaruh variasi laju alir gas serta lama siklus cahaya berupa waktu terang dan gelap pada kultur mikroalga terhadap efektivitas penyerapan CO₂ dalam sistem fotobioreaktor berbasis mikroalga *Chlorella vulgaris*?

1.3 Tujuan

Tujuan pada tugas akhir ini dibagi menjadi tujuan umum dan tujuan khusus sebagai berikut:

1.3.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan umum pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



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. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma III Politeknik Negeri Jakarta.
2. Mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang pengolahan gas, serta mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama mengikuti proses belajar mengajar dalam perkuliahan.

1.3.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh modifikasi desain fotobioreaktor melalui perubahan jumlah *degassing column* dari satu menjadi dua unit serta penambahan jumlah kolom fotobioreaktor dari tiga menjadi lima kolom terhadap efektivitas penyerapan CO₂ pada sistem fotobioreaktor.
2. Mengevaluasi pengaruh variasi laju alir gas serta lama siklus cahaya berupa waktu terang dan gelap pada kultur mikroalga terhadap efektivitas penyerapan CO₂ dalam sistem fotobioreaktor berbasis mikroalga *Chlorella vulgaris*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 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 keterampilan dalam merancang sistem proses suatu alat industri.
3. Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan dengan mempraktikkannya secara nyata

1.4.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

Sebagai medium pembelajaran dan penelitian unit fiksasi CO₂ menggunakan Fotobioreaktor berbasis Mikroalga.

1.4.3 Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri

1. Menjadi penelitian lanjutan bagi PT. Badak NGL untuk proyek



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

Dekarbonisasi dalam mensukseskan program Net-Zero Emmission dari Pemerintah.

2. Dapat menjadi opsi teknologi penyerapan gas emisi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini memodifikasi desain pemisahan jalur inlet dan outlet gas CO₂ serta penambahan jumlah kolom fotobioreaktor
2. Tugas akhir ini menggunakan gas CO₂ Vent Stack Amine yang akan diambil secara batch
3. Penelitian ini tidak mencakup analisis pertumbuhan biomassa mikroalga, produktivitas biomassa, maupun konsentrasi gas O₂ yang dihasilkan selama proses fotosintesis.
4. Penelitian ini tidak mencakup analisis teknis lanjutan, seperti karakterisasi biomassa maupun analisis keekonomian dan kelayakan implementasi alat pada skala industri.
5. Parameter operasi yang dianalisis yaitu konsentrasi Laju alir gas dan Siklus Cahaya
6. Parameter operasi lain seperti intensitas cahaya, temperatur, pH, dan komposisi gas CO₂ dijaga relatif konstan selama proses pengujian.
7. Tugas akhir ini mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel terhadap efektivitas penyerapan CO₂.
8. Pengujian dilakukan menggunakan kultur mikroalga *Chlorella vulgaris* sehingga hasil penelitian tidak secara langsung mewakili spesies mikroalga lainnya.
9. Evaluasi kinerja fotobioreaktor didasarkan pada parameter konsentrasi CO₂ masuk (CO₂ in), konsentrasi CO₂ keluar (CO₂ out), massa CO₂ terserap, dan efektivitas penyerapan CO₂.
10. Analisis konsentrasi CO₂ bergantung pada tingkat ketelitian instrumen GC-TCD, sehingga hasil pengukuran masih memiliki ketidakpastian sesuai spesifikasi alat.



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

11. Sebagian CO₂ yang terlarut di dalam medium kultur tidak dapat terukur melalui analisis gas, karena pengukuran hanya dilakukan pada fase gas (gas inlet dan gas outlet).
12. Penelitian ini tidak memperhitungkan faktor fluktuasi kondisi lingkungan (seperti suhu dan intensitas cahaya) yang dapat memengaruhi hasil pengujian.
13. Keterbatasan akurasi alat ukur turut memberikan pengaruh terhadap tingkat presisi hasil penelitian.
14. Variasi biologis mikroalga selama proses kultivasi dapat memberikan pengaruh terhadap hasil penelitian, sehingga hasil yang diperoleh berlaku sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan selama penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini membantu menjadikan laporan lebih fokus dan memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan pokok dan sesuai dengan “PANDUAN TUGAS AKHIR/SKRIPSI JURUSAN TEKNIK MESIN 2020”. Sistematika penulisan terdiri dari Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metode Penelitian, Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, dan Bab V Kesimpulan dan Saran.”

1. BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang pemilihan topik, tujuan umum dan khusus, pembatasan masalah, garis besar metode penyelesaian, manfaat yang akan didapat, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memaparkan rangkuman kritis atau pustaka yang menunjang penyusunan/penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam tugas akhir.

3. BAB III METODOLOGI

Menguraikan tentang metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir dengan minimal memuat diagram alir, penjelasan diagram alir, dan metode pemecahan masalah.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN



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

Pada bab ini disajikan hasil-hasil yang diperoleh dari kegiatan tugas akhir, baik berupa data pengamatan, pengujian, maupun hasil perancangan sistem yang telah dilakukan. Hasil yang diperoleh dipaparkan secara sistematis, dilengkapi dengan tabel, grafik, atau gambar untuk memperjelas informasi yang disampaikan. Setelah penyajian hasil, dilakukan pembahasan untuk menganalisis dan mengkaitkan antara variabel-variabel yang diteliti.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan yang akan menjawab permasalahan dan tujuan serta memaparkan saran yang untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang serupa atau berkaitan.



**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

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Modifikasi desain fotobioreaktor melalui pemisahan jalur inlet-outlet dan penambahan jumlah kolom terbukti meningkatkan efektivitas penyerapan CO₂. Pada jam ke-8, efektivitas naik dari 64,35% menjadi 92,67%, dan hingga jam ke-72 berada pada kisaran 84,22–97,50% (desain terbaru) dibanding 64,35–83,73% (desain sebelumnya). Hal ini terjadi karena penambahan kolom memperluas area penyinaran untuk fotosintesis, sementara pemisahan jalur inlet-outlet memperpanjang waktu tinggal gas sehingga CO₂ lebih banyak larut dan dimanfaatkan mikroalga.
2. Laju alir gas CO₂ memengaruhi efektivitas penyerapannya: laju alir rendah membatasi pasokan CO₂, sedangkan laju alir tinggi menurunkan efektivitas akibat waktu kontak yang singkat dan risiko penurunan pH drastis. Densitas awal kultur yang lebih tinggi mempercepat penyerapan CO₂ optimal karena lebih banyak sel aktif sejak awal proses.

5.2 Saran

Adapun saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan antara lain sebagai berikut

1. Perlu dilakukan perhitungan dan pengendalian pH secara lebih detail selama proses penyerapan CO₂, untuk mengetahui pengaruh pH terhadap penyerapan CO₂ dan pertumbuhan biomassa
2. Melakukan studi ekonomi yang komprehensif dengan menghitung:
 - a. CAPEX (*Capital Expenditure*): Total biaya investasi untuk membangun sistem skala industri.
 - b. OPEX (*Operational Expenditure*): Biaya operasional tahunan (listrik, nutrisi, tenaga kerja, pemeliharaan).
 - c. Aliran Pendapatan: Potensi pendapatan dari penjualan biomassa dan, yang



© 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

terpenting, dari kredit karbon atau penghindaran pajak karbon.

3. Perlu diperhitungkan nilai solubilitas CO₂ dalam air pada kondisi operasi penelitian, untuk membedakan kontribusi pelarutan fisik dan fiksasi biologis terhadap total CO₂ yang terserap.
4. Perlu dilakukan pengukuran biomassa yang dihasilkan dari proses, termasuk gas O₂ hasil fotosintesis dan jumlah/berat mikroalga akhir, sebagai indikator produktivitas sekaligus validasi efektivitas fiksasi CO₂.





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 PUSTAKA

- [1] K. Calvin *et al.*, “IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.” 2023, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [2] Z. Sun, C. Bo, S. Cao, and L. Sun, “Enhancing CO₂ Fixation in Microalgal Systems: Mechanistic Insights and Bioreactor Strategies,” *Mar. Drugs*, vol. 23, no. 3, 2025, doi: 10.3390/md23030113.
- [3] B. Lebih, L. Merangkul, and K. Tema, “Kesesinambungan Tema”.
- [4] P. T. B. Ngl, “Harmoni untuk Keberlanjutan”.
- [5] L. Keberlanjutan, “Memperkuat Kinerja Keberlanjutan,” 2021.
- [6] L. Keberlanjutan, “Meningkatkan Dampak Keberlanjutan Perusahaan,” 2023.
- [7] P. Xu *et al.*, “Recent advances in CO₂ fixation by microalgae and its potential contribution to carbon neutrality,” *Chemosphere*, vol. 319, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.137987.
- [8] M. Ashour, A. T. Mansour, Y. A. Alkhamis, and M. Elshobary, “Usage of Chlorella and diverse microalgae for CO₂ capture - towards a bioenergy revolution,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1387519.
- [9] R. Nirwawan, Y. Kussuryani, and D. A. Hanupurti, “Reduksi Gas CO₂ oleh Mikroalga *Scenedesmus* sp. pada Fotobioreaktor Tertutup dengan Variasi Konsentrasi Gas CO₂,” *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 48, no. 1, pp. 55–62, 2019, doi: 10.29017/lpmgb.48.1.230.
- [10] A. Layana *et al.*, “Rancang Sistem Proses Fotobioreaktor Mikroalga untuk Fiksasi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator PT XYZ.”
- [11] C. A. Wang, H. Onyeaka, T. Miri, and F. Soltani, “Chlorella vulgaris as a food substitute: Applications and benefits in the food industry,” *J. Food Sci.*, vol. 89, no. 12, pp. 8231–8247, 2024, doi: 10.1111/1750-3841.17529.



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

- [12] Y. Ma, L. Guo, Y. Xiao, and A. Ji, "Bubble mass transfer in fluids under gravity: a review of theoretical models and intensification technologies in industry," *Front. Phys.*, vol. 12, no. May, pp. 1–14, 2024, doi: 10.3389/fphy.2024.1383537.
- [13] I. M. Isya and E. Purba, "Absorpsi Gas Karbondioksida Dalam Biogas Dengan Variasi Laju Alir Biogas dan Laju Alir Absorben," *J. Teknol. dan Inov. Ind.*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.23960/jtii.v4i1.58.
- [14] A. Al Anshori, Sri Ngabekti, Andhina Putri Heriyanti, and Amnan Haris, "Pengaruh Laju Injeksi Karbondioksida terhadap Oksigen Terlarut dan Pertumbuhan *Spirulina platensis*," *Life Sci.*, vol. 13, no. 2, pp. 183–193, 2024, doi: 10.15294/unnesjlfesci.v13.i2.14327.
- [15] M. H. Eldesouki, A. E. Rashed, and A. A. El-Moneim, "A comprehensive overview of carbon dioxide, including emission sources, capture technologies, and the conversion into value-added products," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 25, no. 10, pp. 3131–3148, 2023, doi: 10.1007/s10098-023-02599-9.
- [16] M. Filonchyk, M. P. Peterson, L. Zhang, V. Hurynovich, and Y. He, "Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O," *Sci. Total Environ.*, vol. 935, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.173359.
- [17] D. Pabsch, C. Held, and G. Sadowski, "Modeling the CO₂ Solubility in Aqueous Electrolyte Solutions Using ePC-SAFT," *J. Chem. Eng. Data*, vol. 65, no. 12, pp. 5768–5777, 2020, doi: 10.1021/acs.jced.0c00704.
- [18] J. J. Middelburg, K. Soetaert, and M. Hagens, "Ocean Alkalinity, Buffering and Biogeochemical Processes," *Rev. Geophys.*, vol. 58, no. 3, 2020, doi: 10.1029/2019RG000681.
- [19] J. Fu, Y. Huang, Q. Liao, A. Xia, Q. Fu, and X. Zhu, "Photo-bioreactor design for microalgae: A review from the aspect of CO₂ transfer and conversion," *Bioresour. Technol.*, vol. 292, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2019.121947.
- [20] H. Altın, "The impact of energy efficiency and renewable energy



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

- consumption on carbon emissions in G7 countries,” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.1080/19397038.2024.2319648.
- [21] L. M. Romeo, D. Minguell, R. Shirmohammadi, and J. M. Andrés, “Comparative Analysis of the Efficiency Penalty in Power Plants of Different Amine-Based Solvents for CO₂Capture,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 59, no. 21, pp. 10082–10092, 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.0c01483.
- [22] P. Brandl, M. Bui, J. P. Hallett, and N. Mac Dowell, “Beyond 90% capture: Possible, but at what cost?,” *Int. J. Greenh. Gas Control*, vol. 105, 2021, doi: 10.1016/j.ijggc.2020.103239.
- [23] E. Hanson, C. Nwakile, and V. O. Hammed, “Carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies: Evaluating the effectiveness of advanced CCUS solutions for reducing CO₂ emissions,” *Results in Surfaces and Interfaces*, vol. 18, 2025, doi: 10.1016/j.rsurfi.2024.100381.
- [24] L. Liu, C. Liu, J. Wei, and J. Ge, “Prospects of CCUS technology under resource utilization and environmental risks,” *iScience*, vol. 28, no. 10, 2025, doi: 10.1016/j.isci.2025.113608.
- [25] A. Raihan, “Carbon capture, utilization, and storage (CCUS) in the context of earth energy systems: A multidisciplinary review,” *Geosci. Front.*, vol. 16, no. 6, 2025, doi: 10.1016/j.gsf.2025.102177.
- [26] S. L. Nixon, L. Walker, and R. L. Tyne, “Microbial Considerations for the Permanent Geological Storage of CO₂,” *Environ. Microbiol.*, vol. 27, no. 10, 2025, doi: 10.1111/1462-2920.70195.
- [27] M. B. Tamam, “Proses Fotosintesis dan Cara Mudah Menghafalkannya,” *Generasi Biologi*. [Online]. Available: <https://generasibiologi.com/gambar-mekanisme-proses-fotosintesis/>
- [28] Khan Academy, “The Calvin cycle.” [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/calvin-cycle>
- [29] K. Academy, “Photosynthesis.” [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis>



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

- [30] W. Zhou, Y. Li, Y. Gao, and H. Zhao, "Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*," *Bioresour. Technol.*, vol. 245, pp. 10–17, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.160.
- [31] R. R. Rusdiani, R. Boedisantoso, and M. Hanif, "Optimalisasi Teknologi Fotobioreaktor Mikroalga sebagai Dasar Perencanaan Strategi Mitigasi Gas CO₂," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16942.
- [32] C. Panayiotou and V. Hatzimanikatis, "The solubility parameters of carbon dioxide and ionic liquids: Are they an enigma?," *Fluid Phase Equilib.*, vol. 527, 2021, doi: 10.1016/j.fluid.2020.112828.
- [33] M. Carone *et al.*, "Design and characterization of a new pressurized flat panel photobioreactor for microalgae cultivation and CO₂ bio-fixation," *Chemosphere*, vol. 307, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135755.
- [34] K. Mathivanan, F. Ameen, R. Zhang, G. Ravi, and S. Beduru, "Bubble column photobioreactor (BCPR) for cultivating microalgae and microalgal consortium (Co-CC) with additional CO₂ supply for enhancing biomass, lipid, and preferable fatty acids production," *Environ. Res.*, vol. 238, 2023, doi: 10.1016/j.envres.2023.117284.
- [35] H. Hadiyanto and W. Widayat, "Biofiksasi CO₂ Oleh Mikroalga *Chlamydomonas* sp dalam Photobioreaktor Tubular," *Reaktor*, vol. 15, no. 1, p. 37, 2014, doi: 10.14710/reaktor.15.1.37-42.
- [36] E. Megawati, Y. Yuniarti, and A. Fadlih, "Analisa Pengaruh dan Hubungan Temperatur Amine, Tekanan Feed Gas dan Laju Alir Feed Gas Terhadap Penyerapan CO₂ pada Unit 1C-2 Absorber (Studi Kasus PT. XYZ)," *al-Kimiya*, vol. 7, no. 2, pp. 82–87, 2020, doi: 10.15575/ak.v7i2.9361.
- [37] J. Cheng, Z. Yang, Q. Ye, J. Zhou, and K. Cen, "Improving CO₂ fixation with microalgae by bubble breakage in raceway ponds with up-down chute baffles," *Bioresour. Technol.*, vol. 201, pp. 174–181, 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2015.11.044.
- [38] M. Yustiningsih, "Intensitas Cahaya dan Efisiensi Fotosintesis pada Tanaman Naungan dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung," *Bio-Edu J. Pendidik. Biol.*, vol. 4, no. 2, pp. 44–49, 2019, doi: 10.32938/jbe.v4i2.385.



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

- [39] X. Cui, J. Yang, Y. Feng, and W. Zhang, "Simulation of a Novel Tubular Microalgae Photobioreactor with Aerated Tangent Inner Tubes: Improvements in Mixing Performance and Flashing-Light Effects," *Archaea*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8815263.
- [40] Z. Shareefdeen, A. Elkamel, and Z. Bin Babar, "Recent Developments on the Performance of Algal Bioreactors for CO₂ Removal: Focusing on the Light Intensity and Photoperiods," *BioTech*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.3390/biotech12010010.
- [41] ASTM International, "ASTM D1946-90: Standard Practice for Analysis of Reformed Gas by Gas Chromatography," 1990. [Online]. Available: <https://www.astm.org/d1946-90.html>
- [42] F. Han, H. Zhong, T. Li, Y. Wang, and F. Liu, "Storage Stability of Volatile Organic Compounds from Petrochemical Plant of China in Different Sample Bags," *J. Anal. Methods Chem.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/9842569.
- [43] G. P. Association, "Analysis of natural gas and similar gaseous mixtures by gas chromatography.," *Gpa*, vol. 552, no. 1, p. 203, 1997.
- [44] V. A. Pavlov, A. V. Grigorenko, A. P. Astafieva, and M. S. Vlaskin, "Growth of *Chlorella vulgaris* Under Atmospheric CO₂ in Lab-Scale Photobioreactors: Effects of Aeration Rate and Growth Model Comparison," *Bioengineering*, vol. 12, no. 12, 2025, doi: 10.3390/bioengineering12121294.
- [45] M. T. Nechita, G. D. Suditu, A. C. Puițel, and E. N. Drăgoi, "Residence Time Distribution: Literature Survey, Functions, Mathematical Modeling, and Case Study—Diagnosis for a Photochemical Reactor," *Processes*, vol. 11, no. 12, 2023, doi: 10.3390/pr11123420.
- [46] A. Schulte, J. Brockmann, N. Müller, T. Anderlei, and J. Büchs, "A new approach to off-gas analysis for shaken bioreactors showing high CTR and RQ accuracy," *J. Biol. Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–15, 2025, doi: 10.1186/s13036-025-00480-5.
- [47] A. K. Pegallapati and E. D. Frank, "Energy use and greenhouse gas



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

emissions from an algae fractionation process for producing renewable diesel,” *Algal Res.*, vol. 18, pp. 235–240, 2016, doi: 10.1016/j.algal.2016.06.019.

- [48] S. Hena, T. Bhatelia, H. Patel, D. Anderson, B. Bonadeo, and M. Shah, “Biofixation of Carbon Dioxide Using *Chlorella vulgaris*,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2023, doi: 10.1021/acs.iecr.3c00525.
- [49] L. Aditya *et al.*, “Role of culture solution pH in balancing CO₂ input and light intensity for maximising microalgae growth rate,” *Chemosphere*, vol. 343, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140255.
- [50] C. Maia *et al.*, “Bicarbonate-Based Cultivation of *Chlorella vulgaris*: Growth Enhancement, Carbon Losses and Metabolic Trade-Offs,” *Appl. Sci.*, vol. 16, no. 7, pp. 1–19, 2026, doi: 10.3390/app16073279.

**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

LAMPIRAN

Lampiran 1

Mengitung Massa CO yang Terserap

1. Menghitung Volume Injeksi Gas

$$Q = \frac{120 \text{ ml/min}}{1000} = 0,12 \text{ L/min}$$

$$t = 48 \text{ jam} \times 60 \text{ menit} = 2880 \text{ menit}$$

$$V = 0,12 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 2880 \text{ menit} = 345,6 \text{ L}$$

2. Menghitung Massa CO₂ in

$$\rho_{CO_2} = 1,96 \text{ g/L} \text{ densitas CO gas kondisi standar}$$

$$X_{CO_2, in} = \frac{96,297\%}{100} = 0,96297$$

$$m_{CO_2, in} = 345,6 \text{ L} \times 0,96297 \times 1,96 \text{ g/L}$$

$$m_{CO_2, in} = 652,29 \text{ gram}$$

3. Menghitung Massa CO₂ out

$$m_{CO_2, in} = 0,71649 \text{ L} \times 0,96297 \times 1,96 \text{ g/L}$$

$$m_{CO_2, in} = 485,33 \text{ gram}$$

4. Menghitung Massa CO₂ terserap

$$m_{abs} = 652,29 \text{ gram} - 485,33 \text{ gram}$$

$$m_{abs} = 166,96 \text{ gram}$$



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

Lampiran 2

Perhitungan Efektivitas Penyerapan CO₂ pada Laju Alir Gas 120mL/menit

Laju Alir Gas 120mL/menit			
Jam	Konsentrasi CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Efektivitas Penyerapan (%)
0	0,00	0,000	-
8	96,297	8,585	91,08
16	96,297	9,010	90,64
24	96,297	9,525	90,11
32	96,297	12,181	87,35
40	96,297	9,902	89,72
48	96,297	8,565	91,11
56	96,297	8,120	91,57
64	96,297	8,034	91,66
72	96,297	7,076	92,65

Lampiran 3

Perhitungan Efektivitas Penyerapan CO₂ pada Laju Alir Gas 60mL/menit

Laju Alir Gas 120mL/menit			
Jam	Konsentrasi CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Efektivitas Penyerapan (%)
0	0,00	0,00	0,00
8	96,297	8,349	91,33
16	96,297	8,512	91,16
24	96,297	9,081	90,57
32	96,297	12,366	87,16
40	96,297	15,241	84,17
48	96,297	11,903	87,64
56	96,297	6,057	93,71
64	96,297	3,344	96,53
72	96,297	2,417	97,49



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 4

Perhitungan Efektivitas Penyerapan CO₂ pada Desain Fotobiorreaktore Sebelumnya

Efektivitas Sebelumnya			
Jam	Konsentrasi CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Efektivitas Penyerapan (%)
0	0,00	0,00	-
8	93,24	33,24	64,35
16	93,22	27,05	70,98
24	93,22	24,12	74,13
32	93,22	22,47	75,90
40	93,22	18,50	80,15
48	93,22	17,61	81,11
56	93,22	17,33	81,41
64	93,22	15,29	83,60
72	93,22	15,17	83,73

Lampiran 5

Perhitungan Massa CO₂ Yang Terserap pada Siklus Cahaya

Siklus Cahaya (Terang : Gelap)	Jam	Konsentrasi CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Volume Injeksi (Liter)	Massa CO ₂ In (gram)	Massa CO ₂ Out (gram)	Massa CO ₂ Terserap (gram)	Efektivitas Penyerapan (%)
16 Jam Terang : 8 Jam Gelap	48	96,297	71,65	345,6	652,29	485,33	166,96	25,60
12 jam Terang : 12 Jam Gelap	48	96,297	74,91	345,6	652,29	502,38	149,92	22,98
8 Jam Terang : 16 Jam Gelap	48	96,297	75,72	345,6	652,29	545,71	106,59	16,34



Lampiran 6

Perhitungan Massa CO₂ Yang Terserap pada Laju Alir Gas 120mL/menit

120 mL/menit						
J a m	Konsentrasi CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Volume Injeksi (Liter)	Massa CO ₂ In (gram)	Massa CO ₂ Out (gram)	Massa CO ₂ Terserap
0	0,00	0,000	0	0,00	0	0
8	96,297	8,585	57,6	108,72	9,69	99,02
1 6	96,297	9,010	115,2	217,43	20,34	197,09
2 4	96,297	9,525	172,8	326,15	32,26	293,89
3 2	96,297	12,181	230,4	434,86	55,01	379,85
4 0	96,297	9,902	288	543,58	55,89	487,68
4 8	96,297	8,565	345,6	652,29	58,02	594,28
5 6	96,297	8,120	403,2	761,01	64,17	696,84
6 4	96,297	8,034	460,8	869,72	72,56	797,16
7 2	96,297	7,076	518,4	978,44	71,90	906,54

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



Lampiran 7

Perhitungan Massa CO₂ Yang Terserap pada Laju Alir Gas 60mL/menit

60 mL/menit						
J a m	Konsentras i CO ₂ in (%mol)	Konsentrasi CO ₂ Out (%mol)	Volume Injeksi Gas (Liter)	Massa CO ₂ In (gram)	Massa CO ₂ Out (gram)	Massa CO ₂ Terserap (gram)
0	0,00	0,00	0	0,00	0	0
8	96,297	8,349	28,8	54,36	4,71	49,64
1 6	96,297	8,512	57,6	108,72	9,61	99,11
2 4	96,297	9,081	86,4	163,07	15,38	147,70
3 2	96,297	12,366	115,2	217,43	27,92	189,51
4 0	96,297	15,241	144	271,79	43,02	228,77
4 8	96,297	11,903	172,8	326,15	40,31	285,83
5 6	96,297	6,057	201,6	380,50	23,93	356,57
6 4	96,297	3,344	230,4	434,86	15,10	419,76
7 2	96,297	2,417	259,2	489,22	12,28	476,94

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



Lampiran 8

Perhitungan Massa CO₂ Yang Terserap pada Desain Fotobireaktor Sebelumnya

Sebelumnya, punya kating						
J a m	Konsentras i CO2 in (%mol)	Konsentrasi CO2 Out (%mol)	Volume Injeksi (Liter)	Massa CO2 In (gram)	Massa CO2 Out (gram)	Massa CO2 Terserap (gram)
0	0,00	0,00	0	0,00	0	0
8	93,24	33,24	33,6	61,40	21,891	39,51
1 6	93,22	27,05	67,2	122,78	35,628	87,15
2 4	93,22	24,12	100,8	184,17	47,653	136,52
3 2	93,22	22,47	134,4	245,56	59,191	186,37
4 0	93,22	18,50	168	306,95	60,917	246,04
4 8	93,22	17,61	201,6	368,35	69,583	298,76
5 6	93,22	17,33	235,2	429,74	79,890	349,85
6 4	93,22	15,29	268,8	491,13	80,555	410,57
7 2	93,22	15,17	302,4	552,52	89,913	462,61

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



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

Lampiran 9

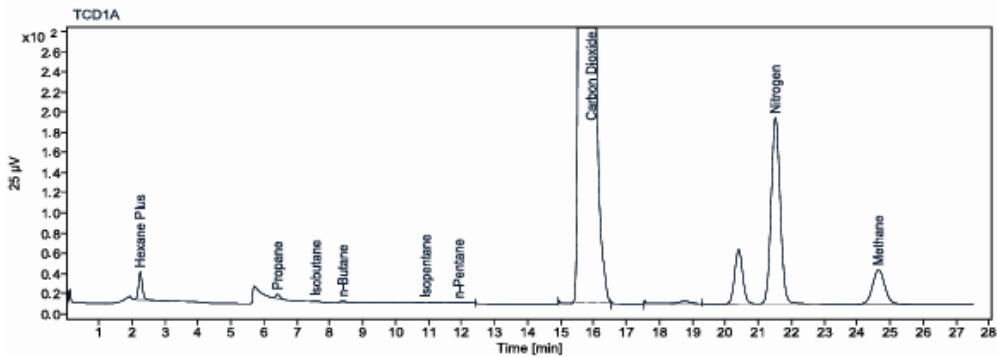
Analisis Sampel Gas Keluaran *Vent Stack Amine Regenerator* (Sampel CO₂ Inlet)



LABORATORY & ENVIRONMENT CONTROL PT BADAK NGL



Sample name: CO2 VENT
Data file: 0162 CO2 VENT 20260621 102322.dx
Instrument: GC 32
Acq. method: Feed Gas Fast GSV.amx
Last Calibration Date: 6/21/2026
Testing Methods: GPA 2261
Type: Sample
Injection Date: 06/21/2026 10:40:56



Gas Analysis Report

Compound	RT (min)	Peak Area	RF (e-5)	Amount	Norm. Amount (%)	HHV
Nitrogen	21.497	34962	6.0833	2.127	2.188	0.0
Methane	24.623	8487	15.1523	1.286	1.323	13.3
Carbon Dioxide	15.620	896236	10.4464	93.625	96.297	0.0
Propane	6.396	358	8.3558	0.030	0.031	0.8
Isobutane	7.557	100	7.0410	0.007	0.007	0.3
n-Butane	8.380	164	6.8359	0.011	0.012	0.3
Isopentane	10.894	111	6.0112	0.007	0.007	0.4
n-Pentane	11.895	88	5.8699	0.005	0.005	0.4
Hexane Plus	2.225	2290	5.5424	0.127	0.131	6.2
TOTAL				97.224	100.001	21.7

Peak Area in this chromatogram was multiply by 10

Evaluation: FAIL (Unnorm amount not equal to 100% +/- 1%)
Evaluation: Adjust Methane 0, HHV Recalculate to 21.7

Analyst:

Approved By:

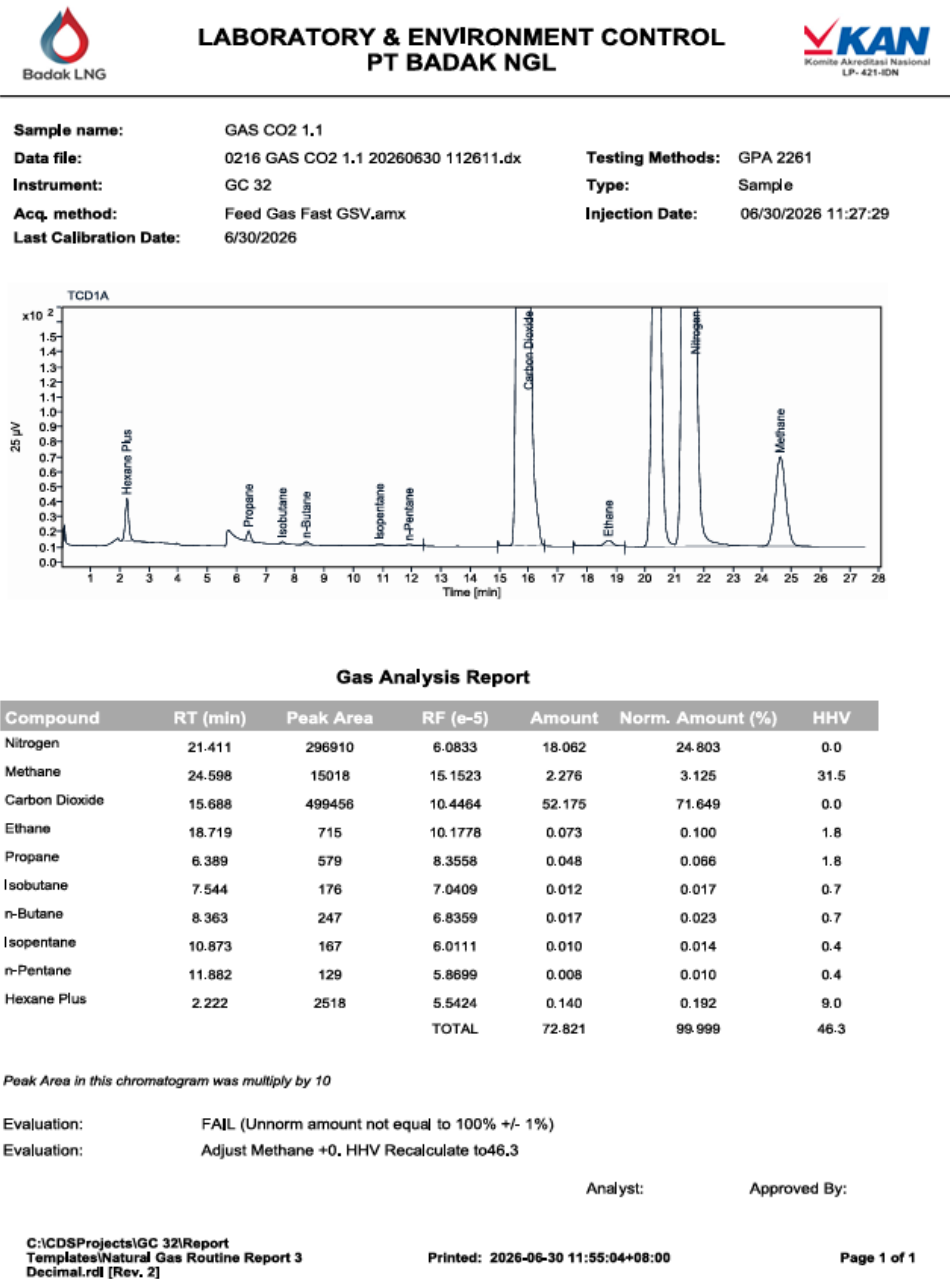


Hak Cipta :

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

Lampiran 10

Hasil CO pada siklus cahaya 16 jam Terang : 8 jam gelap





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 11

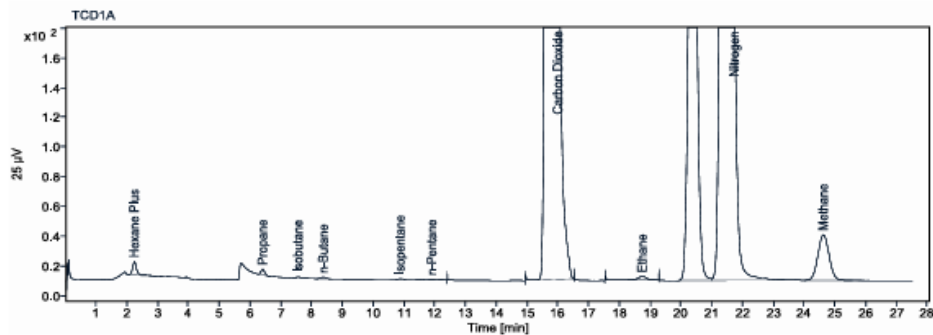
Hasil CO pada siklus cahaya 12 jam Terang : 12 jam gelap



LABORATORY & ENVIRONMENT CONTROL PT BADAK NGL



Sample name: GAS CO2 2,1
Data file: 0217 GAS CO2 2,1 20260630 115416.dx
Instrument: GC 32
Acq. method: Feed Gas Fast GSV.amx
Last Calibration Date: 6/30/2026
Testing Methods: GPA 2261
Type: Sample
Injection Date: 06/30/2026 11:55:24



Gas Analysis Report

Compound	RT (min)	Peak Area	RF (e-5)	Amount	Norm. Amount (%)	HHV
Nitrogen	21.417	285653	6.0833	17.377	23.322	0.0
Methane	24.604	7718	15.1523	1.170	1.570	15.9
Carbon Dioxide	15.683	534309	10.4464	55.816	74.911	0.0
Ethane	18.720	461	10.1778	0.047	0.063	1.1
Propane	6.389	328	8.3558	0.027	0.037	1.0
Isobutane	7.541	89	7.0410	0.006	0.008	0.3
n-Butane	8.364	127	6.8359	0.009	0.012	0.3
Isopentane	10.858	71	6.0113	0.004	0.006	0.4
n-Pentane	11.886	50	5.8700	0.003	0.004	0.0
Hexane Plus	2.223	921	5.5424	0.051	0.069	3.3
TOTAL				74.510	100.002	22.3

Peak Area in this chromatogram was multiply by 10

Evaluation: FAIL (Unnorm amount not equal to 100% +/- 1%)
Evaluation: Adjust Methane 0. HHV Recalculate to 22.3

Analyst:

Approved By:

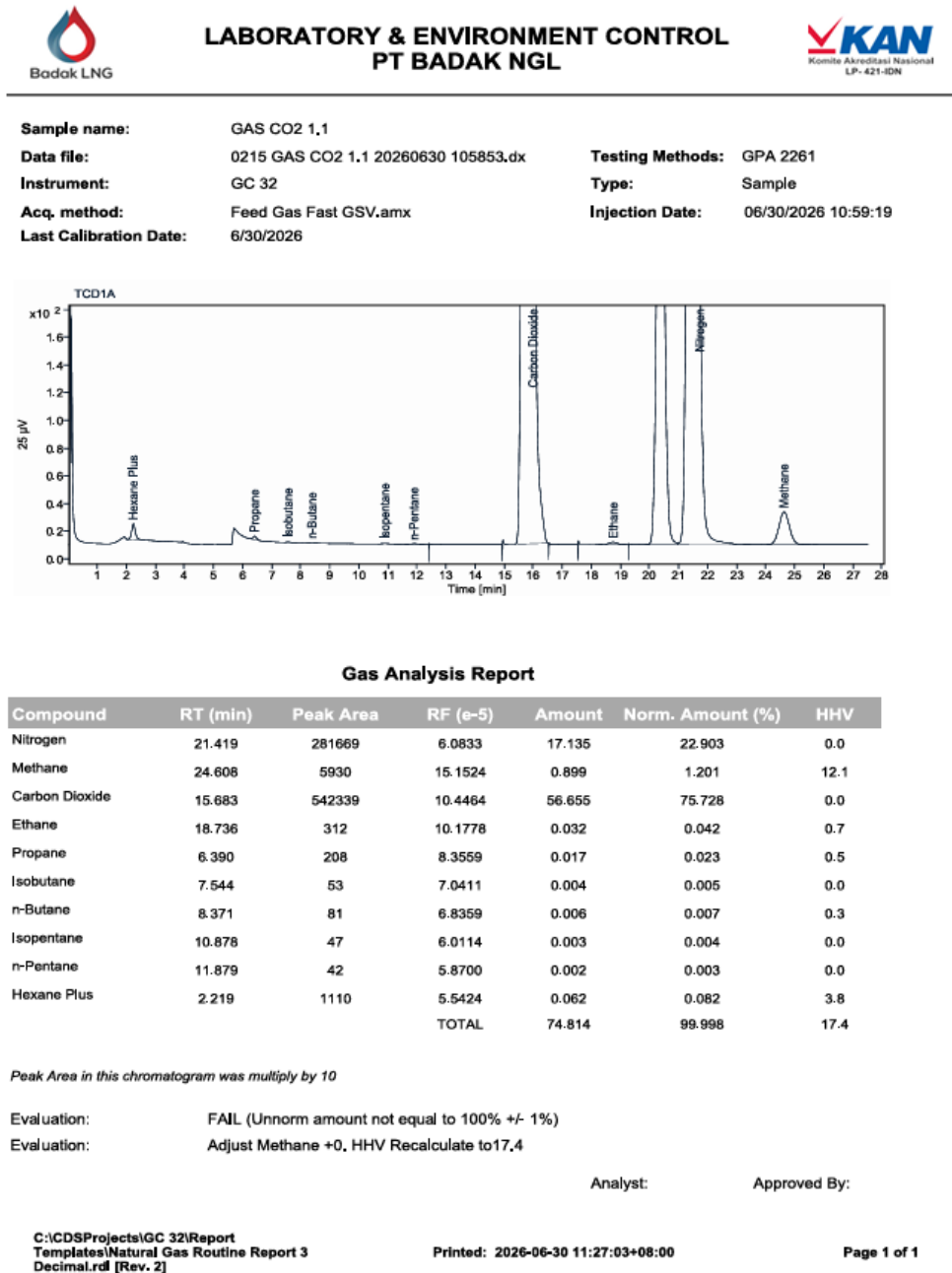


Hak Cipta :

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

Lampiran 12

Hasil CO pada siklus cahaya 8 jam Terang : 16 jam gelap



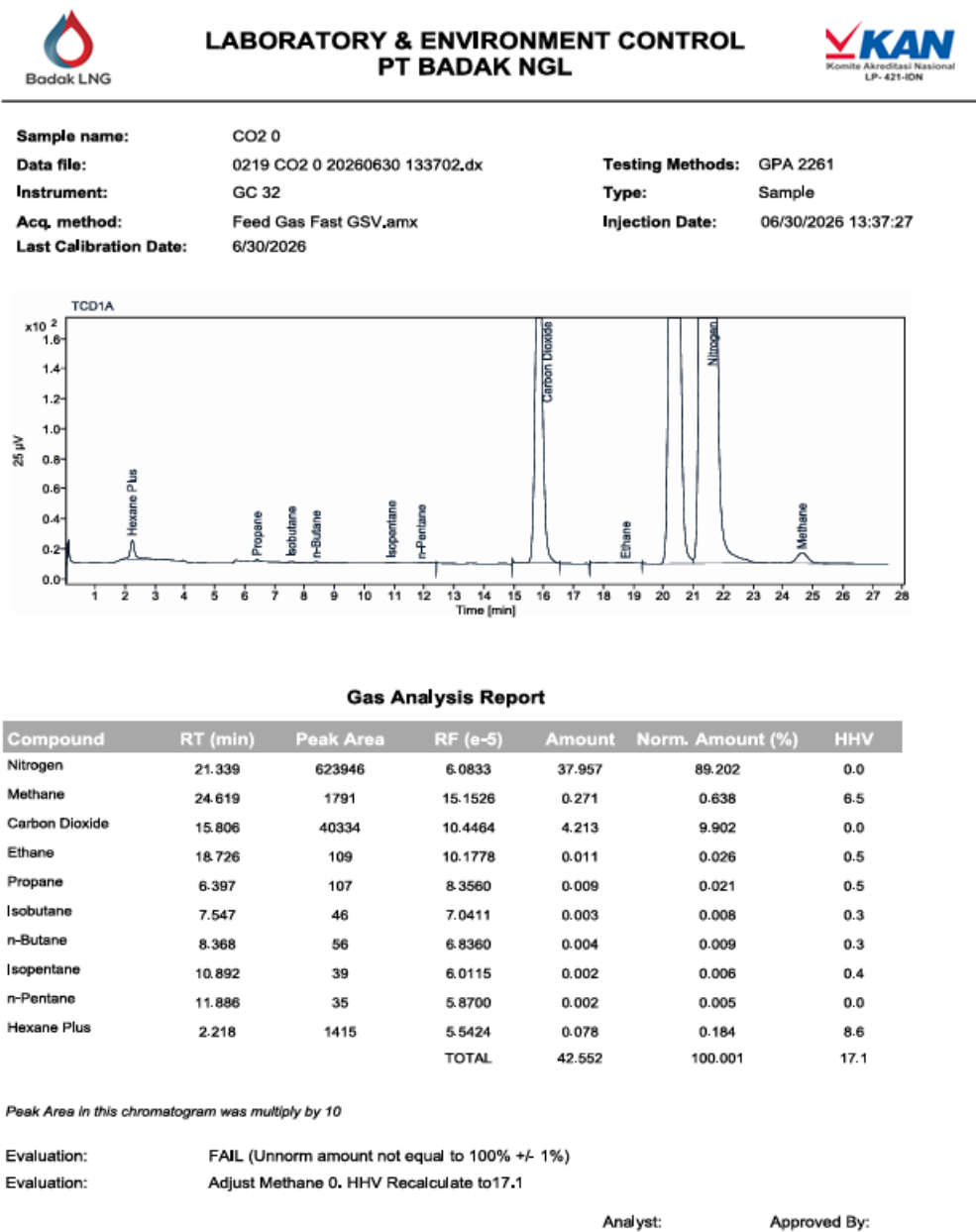


Hak Cipta :

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

Lampiran 13

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-16 pada laju alir gas 120 mL/menit





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

Lampiran 14

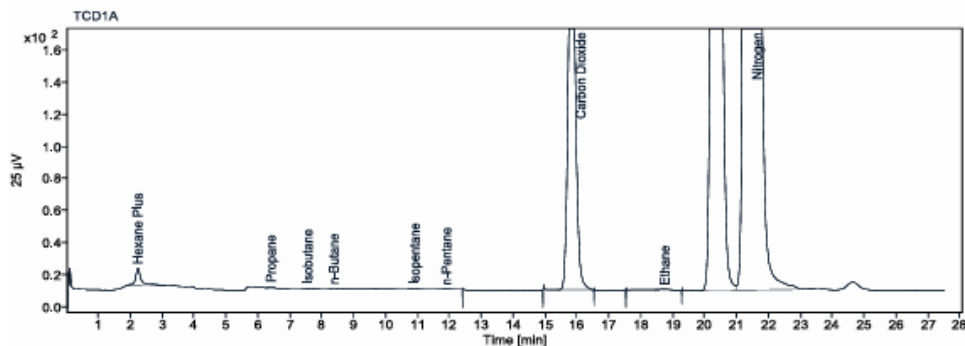
Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-24 pada laju alir gas 120 mL/menit



LABORATORY & ENVIRONMENT CONTROL PT BADAK NGL



Sample name: CO2 0
Data file: 0220 CO2 0 20260630 140423.dx
Instrument: GC 32
Acq. method: Feed Gas Fast GSV.amx
Last Calibration Date: 6/30/2026
Testing Methods: GPA 2261
Type: Sample
Injection Date: 06/30/2026 14:05:34



Gas Analysis Report

Compound	RT (min)	Peak Area	RF (e-5)	Amount	Norm. Amount (%)	HHV
Nitrogen	21.342	622451	6.0833	37.866	90.248	0.0
Carbon Dioxide	15.808	38255	10.4464	3.996	9.525	0.0
Ethane	18.736	82	10.1778	0.008	0.020	0.4
Propane	6.393	87	8.3560	0.007	0.017	0.5
Isobutane	7.544	36	7.0412	0.003	0.006	0.3
n-Butane	8.365	46	6.8360	0.003	0.008	0.3
Isopentane	10.901	30	6.0116	0.002	0.004	0.0
n-Pentane	11.894	25	5.8700	0.001	0.003	0.0
Hexane Plus	2.218	1279	5.5424	0.071	0.169	8.1
TOTAL				41.957	100.000	9.6

Peak Area in this chromatogram was multiply by 10

Evaluation: FAIL (Unnorm amount not equal to 100% +/- 1%)

Evaluation: Adjust Methane 0, HHV Recalculate to 9,6

Analyst:

Approved By:

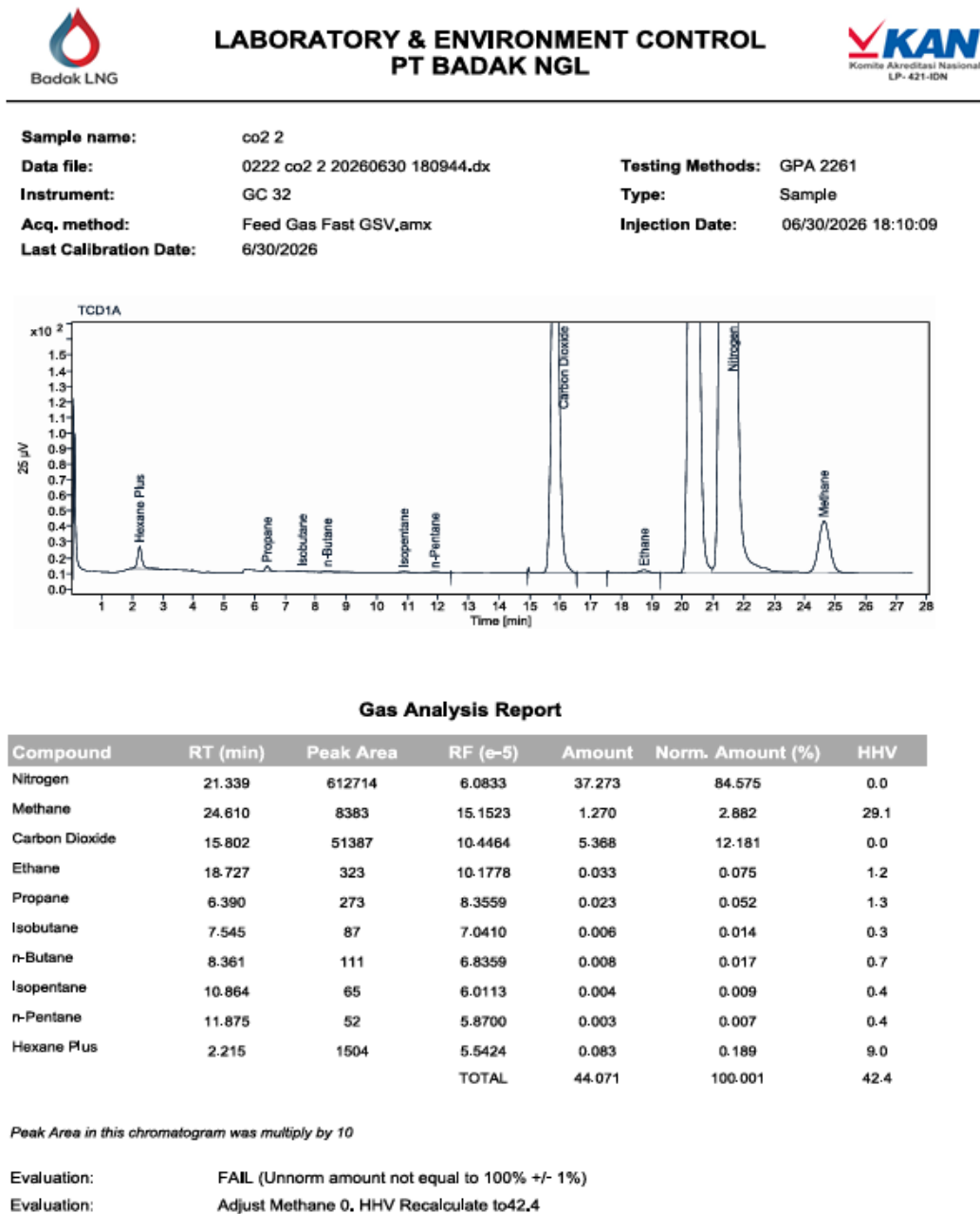


Hak Cipta :

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

Lampiran 15

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-32 pada laju alir gas 120 mL/menit



Analyst:

Approved By:



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 16

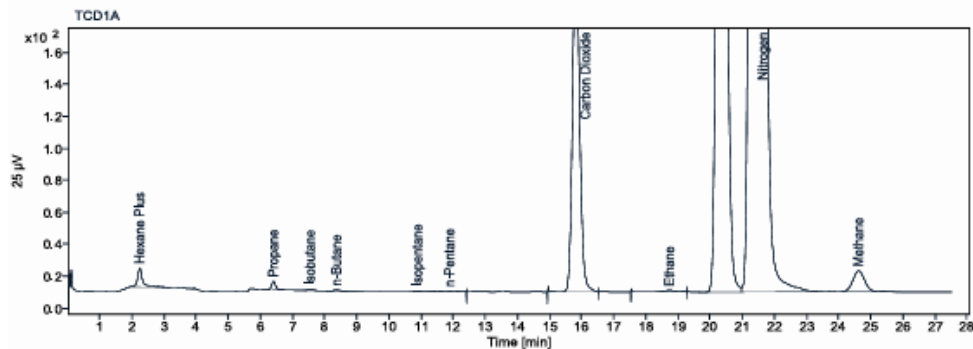
Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-52 pada laju alir gas 120 mL/menit



LABORATORY & ENVIRONMENT CONTROL PT BADAK NGL



Sample name: CO2 atas
Data file: 0230 CO2 atas 20260701 114725.dx
Instrument: GC 32
Acq. method: Feed Gas Fast GSV.amx
Last Calibration Date: 7/1/2026
Testing Methods: GPA 2261
Type: Sample
Injection Date: 07/01/2026 11:51:14



Gas Analysis Report

Compound	RT (min)	Peak Area	RF (e-5)	Amount	Norm. Amount (%)	HHV
Nitrogen	21.323	626721	6.0833	38.125	90.357	0.0
Methane	24.597	3290	15.1525	0.498	1.181	11.9
Carbon Dioxide	15.796	32797	10.4464	3.426	8.120	0.0
Ethane	18.711	156	10.1778	0.016	0.038	0.7
Propane	6.383	454	8.3558	0.038	0.090	2.3
Isobutane	7.526	74	7.0410	0.005	0.012	0.3
n-Butane	8.345	67	6.8360	0.005	0.011	0.3
Isopentane	10.868	43	6.0114	0.003	0.006	0.4
n-Pentane	11.869	36	5.8700	0.002	0.005	0.0
Hexane Plus	2.220	1374	5.5424	0.076	0.180	8.6
TOTAL				42.194	100.000	24.5

Peak Area in this chromatogram was multiply by 10

Evaluation: FAIL (Unnorm amount not equal to 100% +/- 1%)
Evaluation: Adjust Methane 0. HHV Recalculate to 24.5

Analyst:

Approved By:



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

Lampiran 17

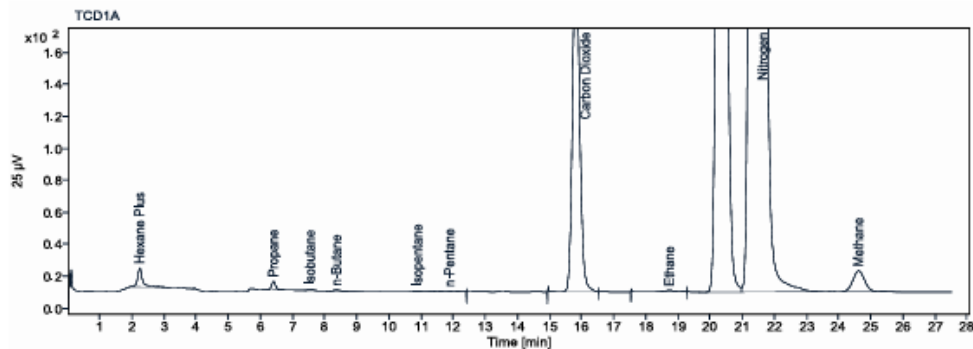
Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-64 pada laju alir gas 120 mL/menit



LABORATORY & ENVIRONMENT CONTROL PT BADAK NGL



Sample name: CO2 atas
Data file: 0230 CO2 atas 20260701 114725.dx
Instrument: GC 32
Acq. method: Feed Gas Fast GSV.amx
Last Calibration Date: 7/1/2026
Testing Methods: GPA 2261
Type: Sample
Injection Date: 07/01/2026 11:51:14



Gas Analysis Report

Compound	RT (min)	Peak Area	RF (e-5)	Amount	Norm. Amount (%)	HHV
Nitrogen	21.323	626721	6.0833	38.125	90.357	0.0
Methane	24.597	3290	15.1525	0.498	1.181	11.9
Carbon Dioxide	15.796	32797	10.4464	3.426	8.120	0.0
Ethane	18.711	156	10.1778	0.016	0.038	0.7
Propane	6.383	454	8.3558	0.038	0.090	2.3
Isobutane	7.526	74	7.0410	0.005	0.012	0.3
n-Butane	8.345	67	6.8360	0.005	0.011	0.3
Isopentane	10.868	43	6.0114	0.003	0.006	0.4
n-Pentane	11.869	36	5.8700	0.002	0.005	0.0
Hexane Plus	2.220	1374	5.5424	0.076	0.180	8.6
TOTAL				42.194	100.000	24.5

Peak Area in this chromatogram was multiply by 10

Evaluation: FAIL (Unnorm amount not equal to 100% +/- 1%)
Evaluation: Adjust Methane 0. HHV Recalculate to 24.5

Analyst:

Approved By:

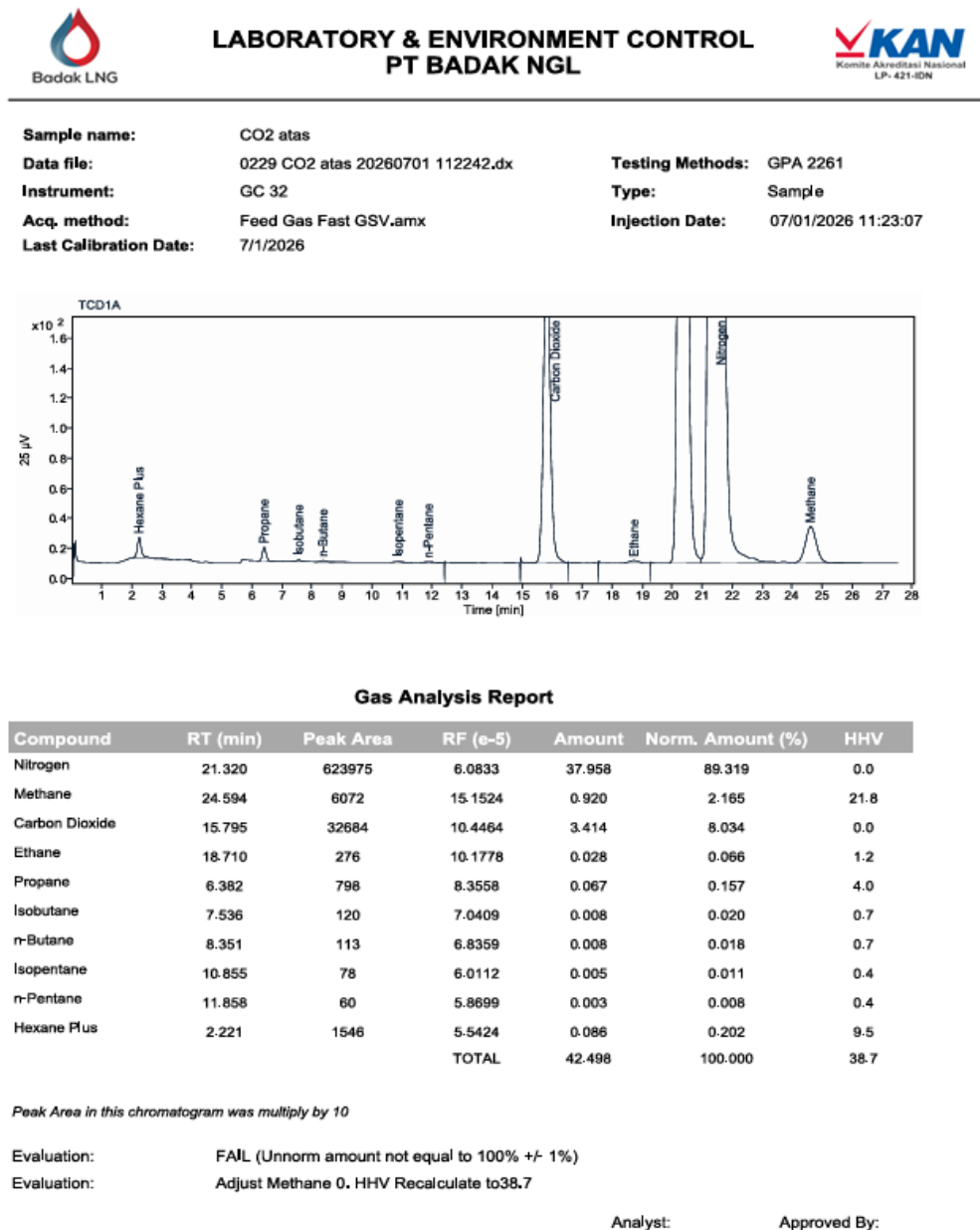


Hak Cipta :

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 18

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-72 pada laju alir gas 120 mL/menit



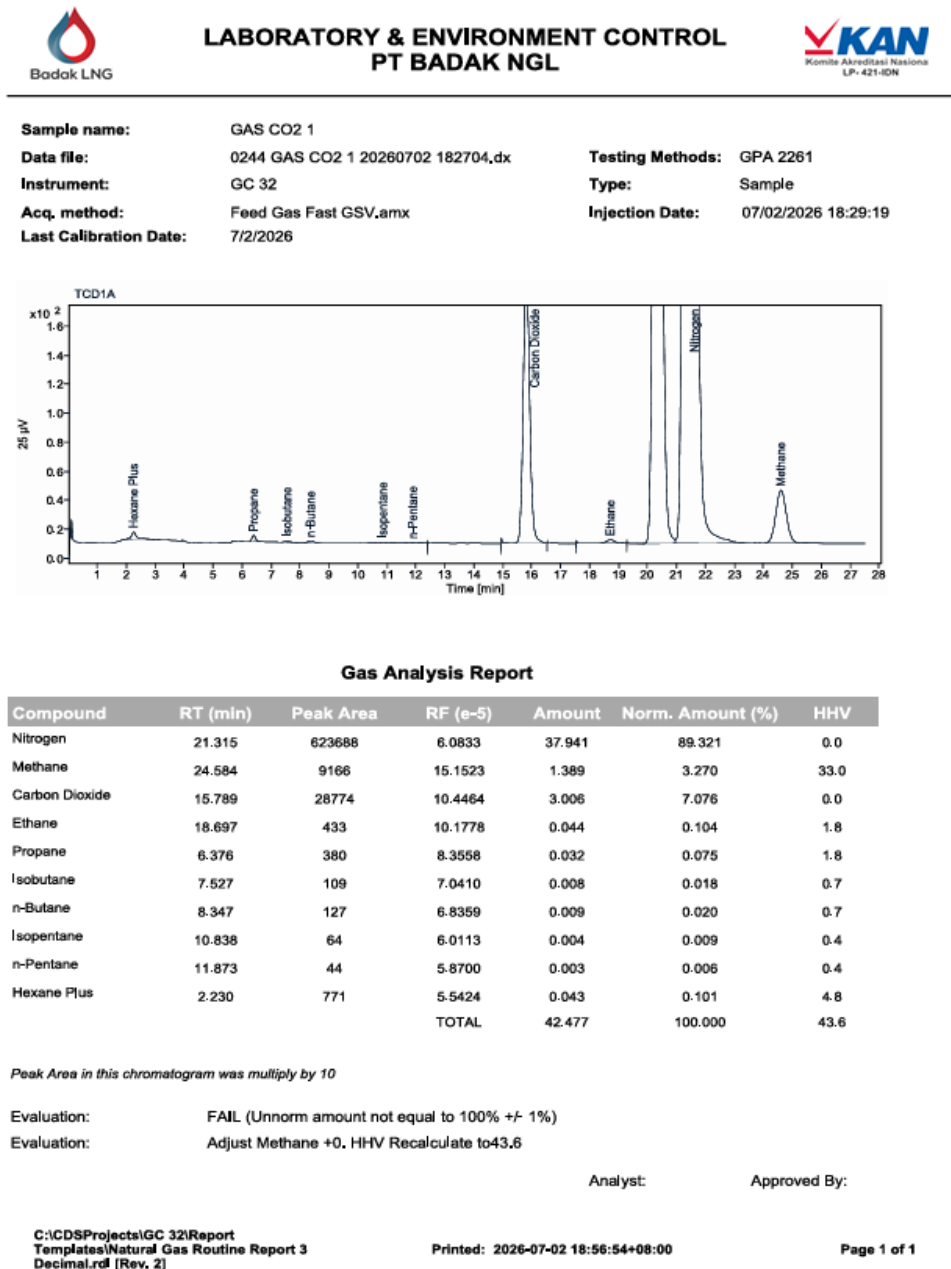


Lampiran 19

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-8 pada laju alir gas 60 mL/menit

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



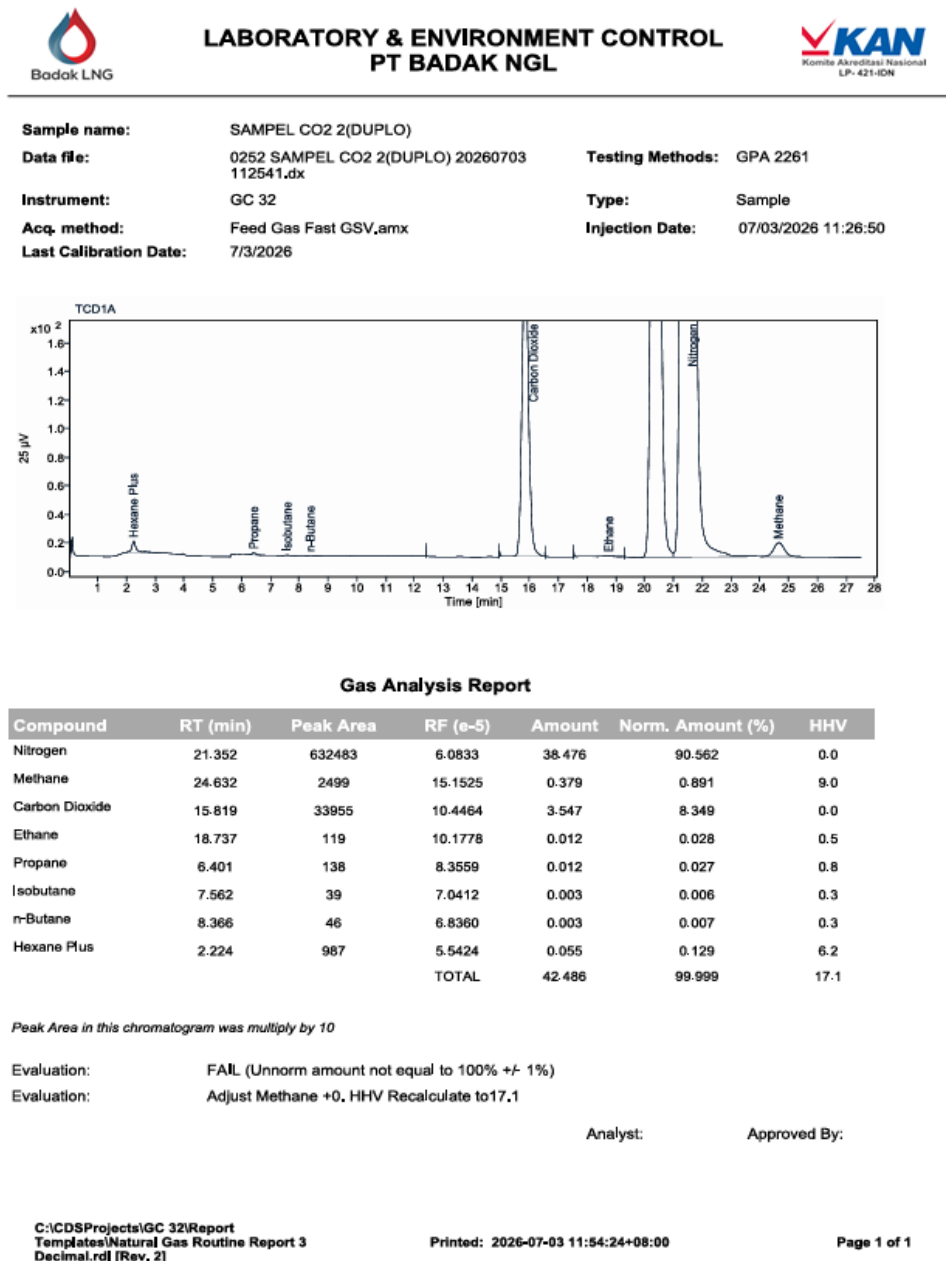


Hak Cipta :

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

Lampiran 20

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-16 pada laju alir gas 60 mL/menit



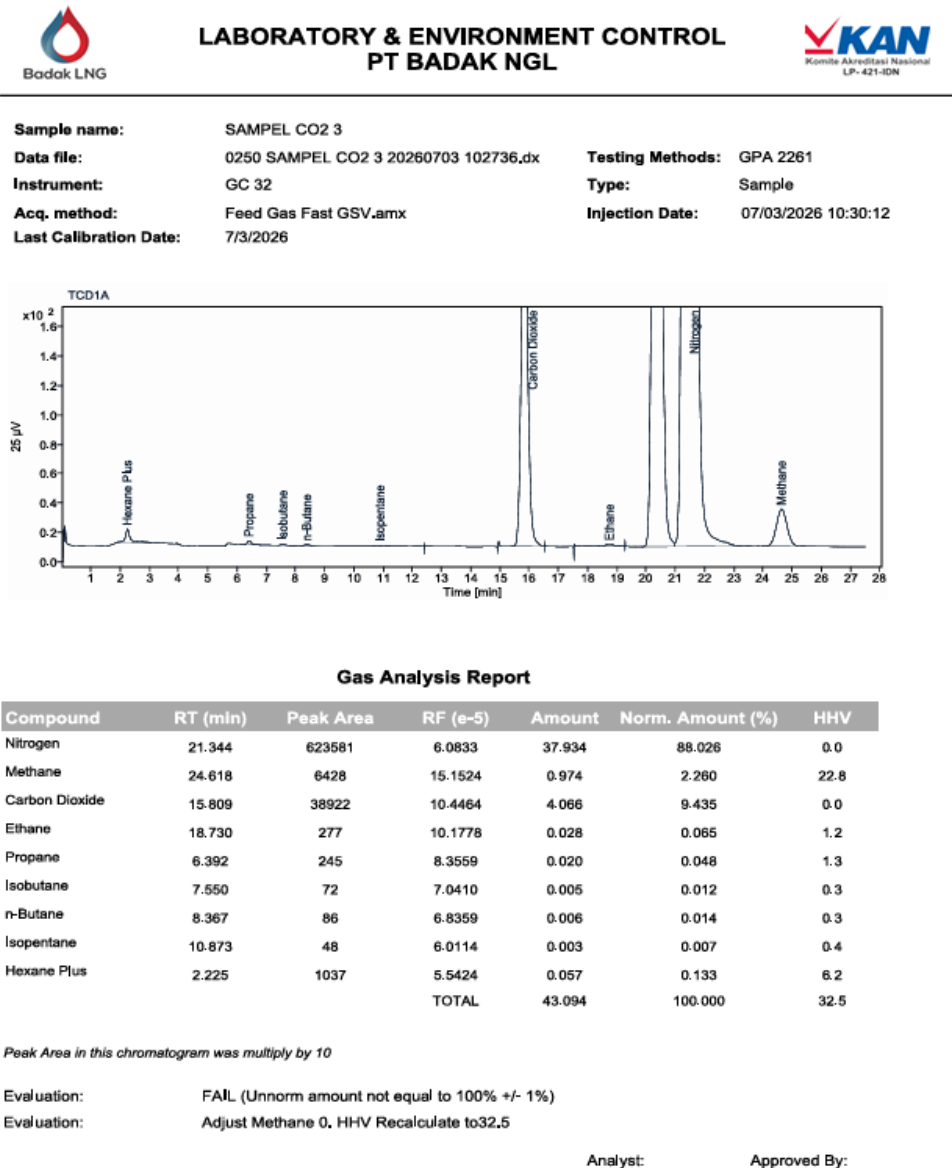


Hak Cipta :

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

Lampiran 21

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-24 pada laju alir gas 60 mL/menit



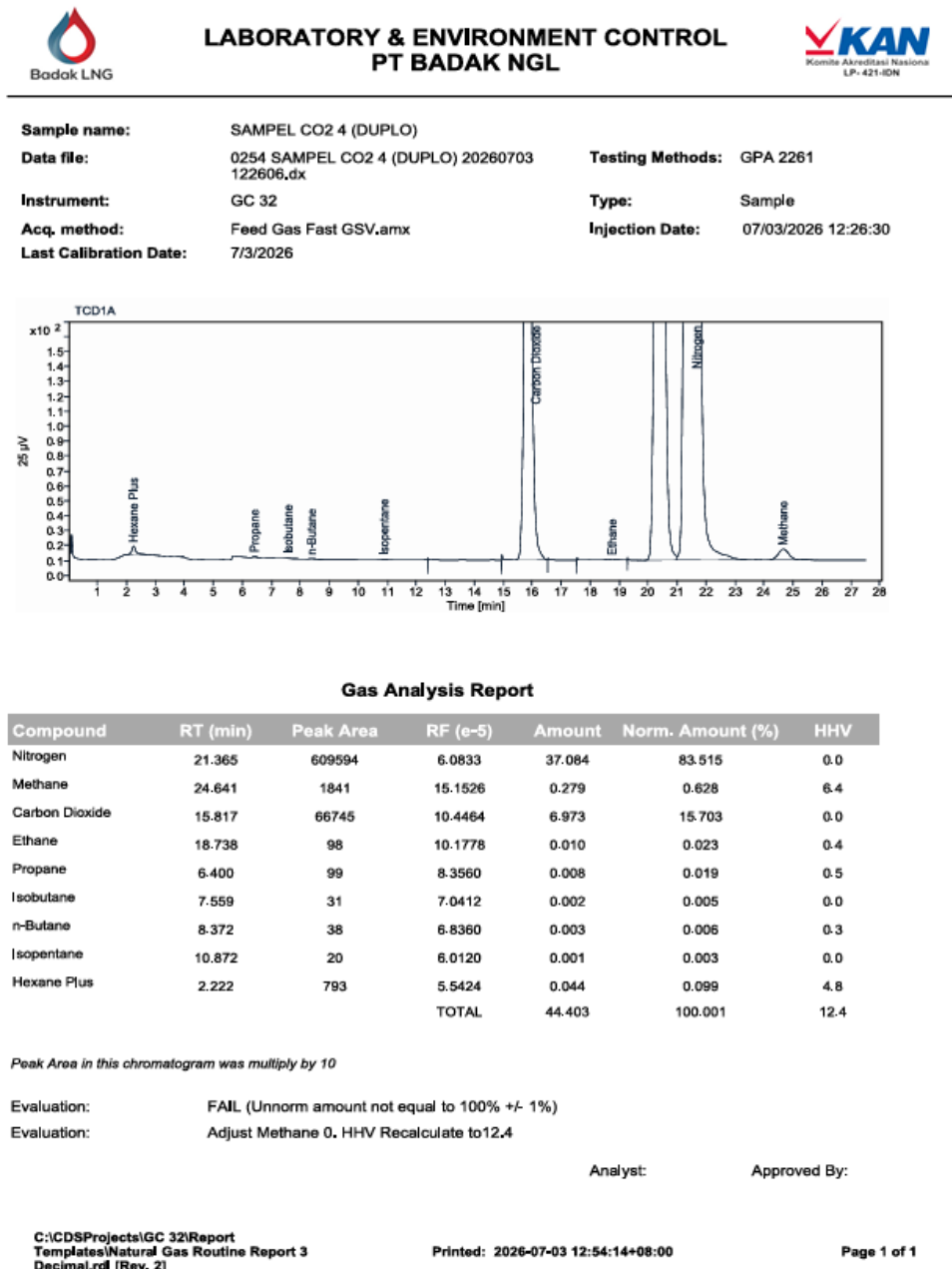


Hak Cipta :

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

Lampiran 22

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-32 pada laju alir gas 60 mL/menit



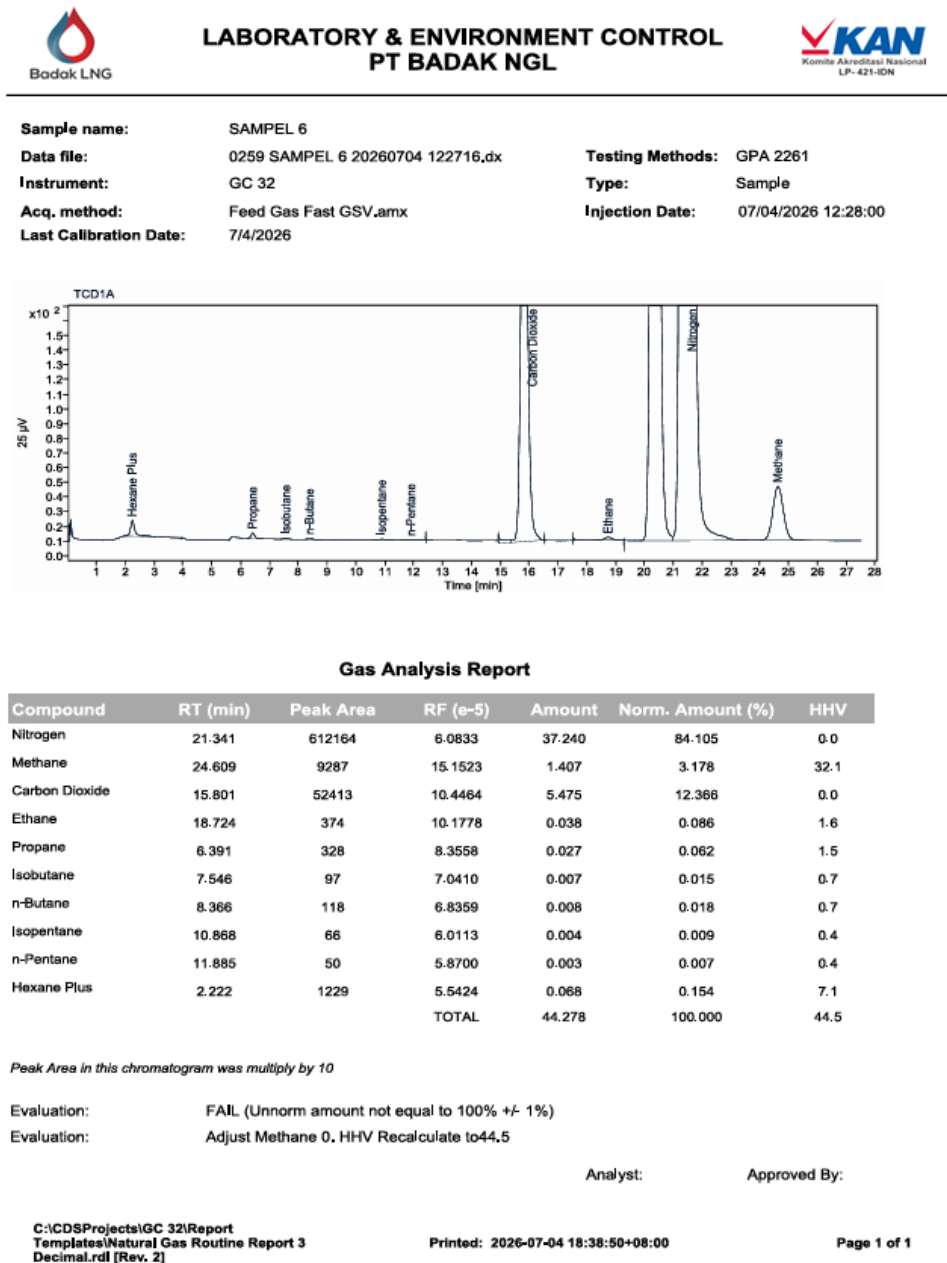


Hak Cipta :

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

Lampiran 23

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-40 pada laju alir gas 60 mL/menit



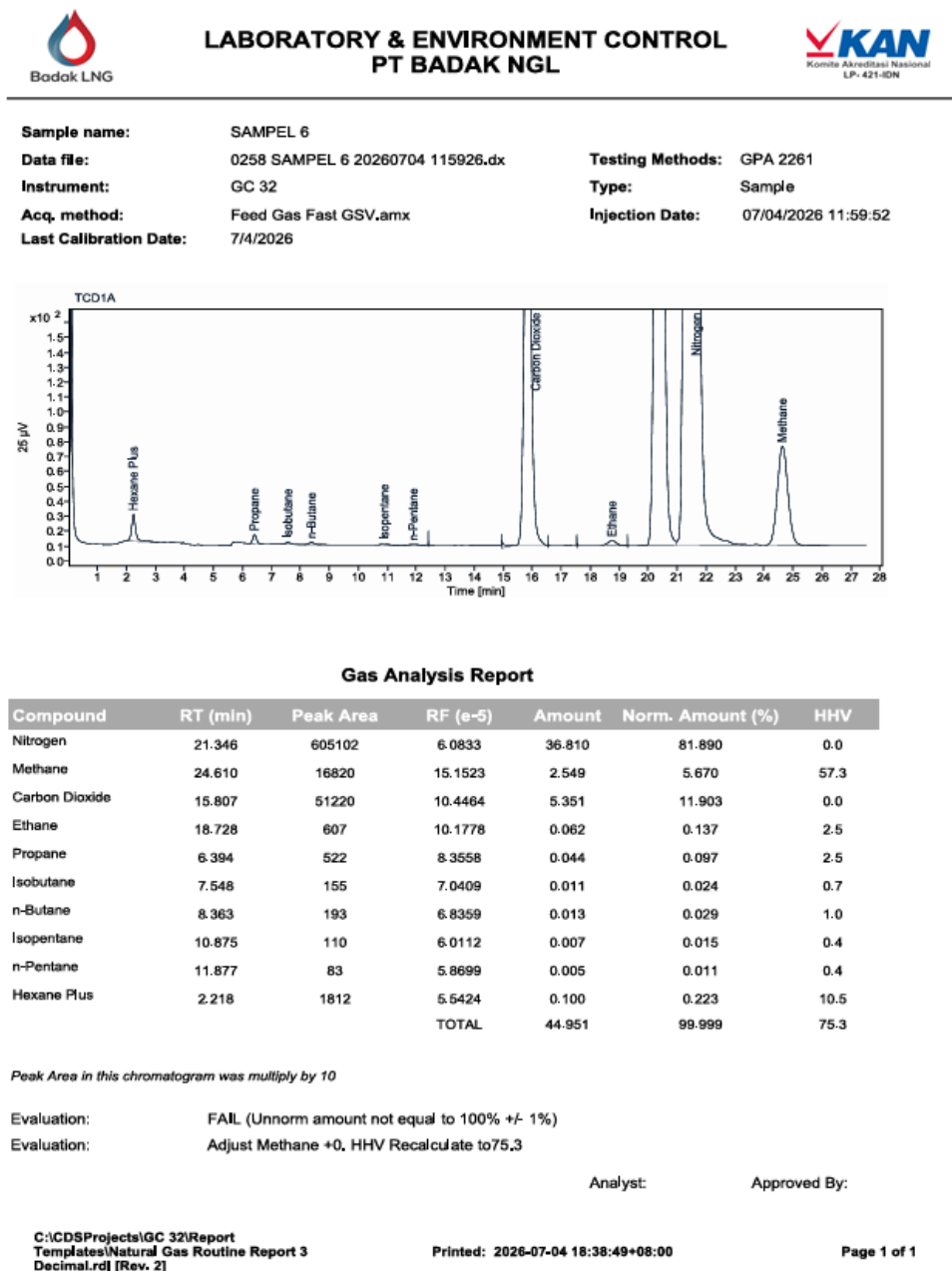


Hak Cipta :

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

Lampiran 24

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-48 pada laju alir gas 60 mL/menit



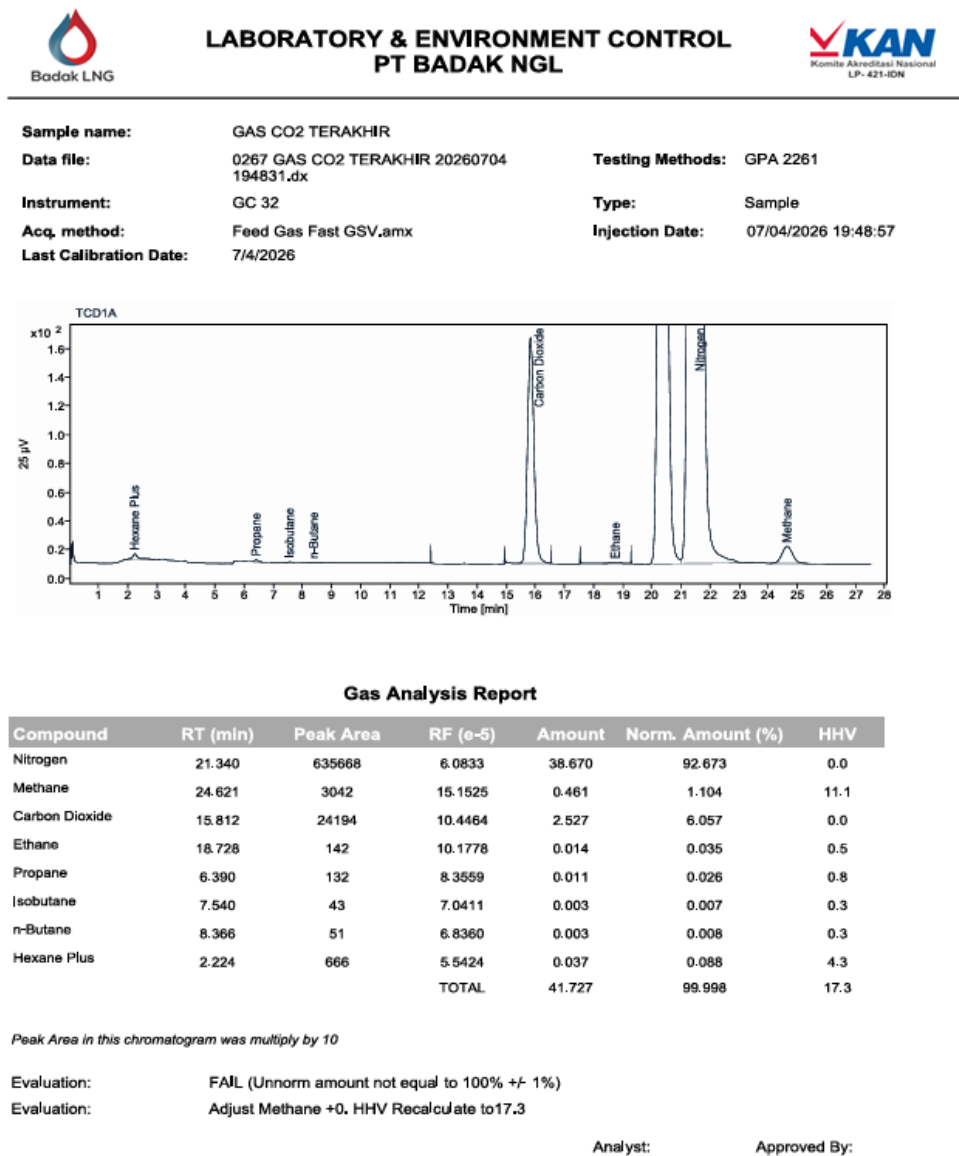


Hak Cipta :

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

Lampiran 25

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-56 pada laju alir gas 60 mL/menit



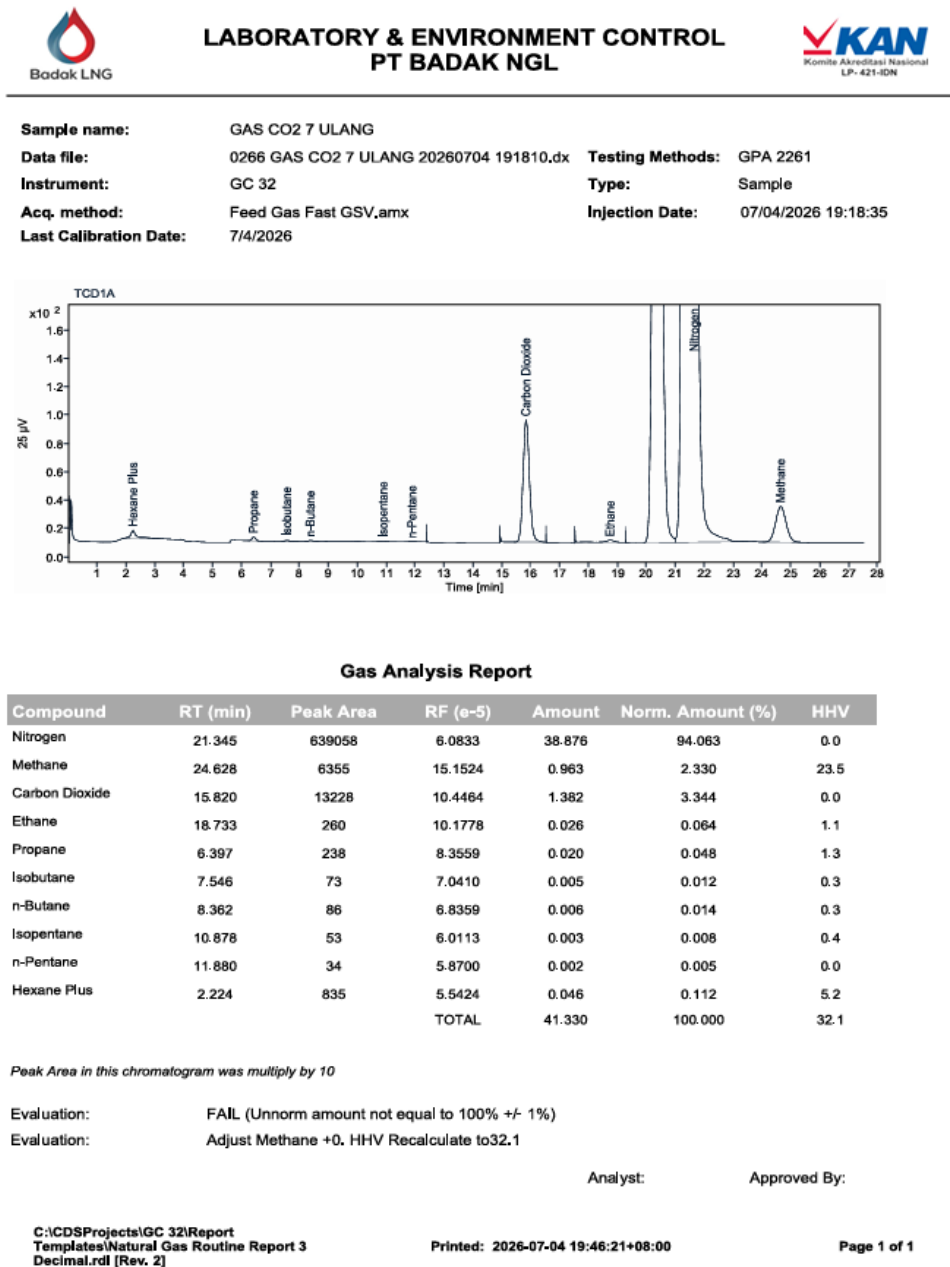


Hak Cipta :

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

Lampiran 26

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-64 pada laju alir gas 60 mL/menit





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

Lampiran 27

Analisis Sampel Gas Fotobioreaktor GC Jam ke-72 pada laju alir gas 60 mL/menit

