



TESIS - TK255401

Peningkatan Lipid dan PUFA pada
Nannochloropsis oculata melalui Mutagenesis,
Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya
dalam Media POME

KARENINA ANISYA PRATIWI

NRP. 6008241020

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP. 196605231991021001

Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP. 199212082024061001

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2026



THESIS - TK255401

Lipid and PUFA Enhancement in *Nannochloropsis oculata* under Mutagenesis, Co-Culture, and Light Spectrum Manipulation in POME

KARENINA ANISYA PRATIWI

NRP. 6008241020

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP. 196605231991021001

Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP. 199212082024061001

POSTGRADUATE STUDY PROGRAM OF CHEMICAL ENGINEERING

PROCESS TECHNOLOGY MASTER PROGRAM

DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2026



TESIS - TK255401

Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis
oculata* melalui Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi
Spektrum Cahaya dalam Media POME

KARENINA ANISYA PRATIWI

NRP. 6008241020

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP. 196605231991021001

Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP. 199212082024061001

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2026



TESIS - TK255401

Lipid and PUFA Enhancement in *Nannochloropsis oculata* under Mutagenesis, Co-Culture, and Light Spectrum Manipulation in POME

KARENINA ANISYA PRATIWI

NRP. 6008241020

Dosen Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP. 196605231991021001

Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP. 199212082024061001

POSTGRADUATE STUDY PROGRAM OF CHEMICAL ENGINEERING

PROCESS TECHNOLOGY MASTER PROGRAM

DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Tesis dengan Judul:

“Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis oculata* melalui Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya dalam Media POME”

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

Di Departemen Teknik Kimia - Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Karenina Anisya Pratiwi

NRP. 6008241020

Tanggal Ujian : 22 Juli 2026

Periode Wisuda : Oktober

Disetujui Oleh:

Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP: 196605231991021001

2. Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP: 199212082024061001

Penguji:

1. Dr. Orchidea Rachmaniah, S.T., M.T.

NIP: 197802142003122001

2. Dr. Eng. Ir. Raden Darmawan, ST., MT., IPM, ASEAN Eng.

NIP: 197805062009121001

Kepala Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem



Prof. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T., IPM

NIP: 197609182003122002

APPROVAL SHEET

Thesis Report with Title:

“Lipid and PUFA Enhancement in *Nannochloropsis oculata* under Mutagenesis, Co-Culture, and Light Spectrum Manipulation in POME”

Submitted to fulfil one of the requirements to obtain

Master of Engineering (M.T.)

Department of Chemical Engineering - Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By:

Karenina Anisya Pratiwi

NRP. 6008241020

Exam Date: July 22, 2026

Graduation Period: October

Approved by:

Supervisor:

1. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP: 196605231991021001

2. Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP: 199212082024061001

Assessor:

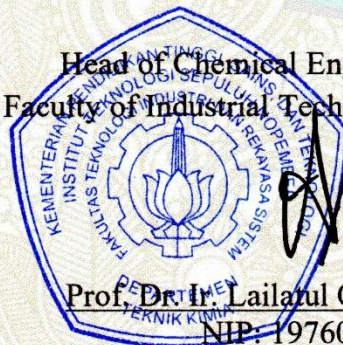
1. Dr. Orchidea Rachmaniah, S.T., M.T.

NIP: 197802142003122001

2. Dr. Eng. Ir. Raden Darmawan, ST., MT., IPM, ASEAN Eng.

NIP: 197805062009121001

Head of Chemical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology and System Engineering



Prof. Dr. Ir. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T., IPM

NIP: 197609182003122002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP : Karenina Anisya Pratiwi / 6008241020

Departemen : Teknik Kimia

Dosen Pembimbing / NIP : 1. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM

NIP. 196605231991021001

2. Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

NIP. 199212082024061001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Penelitian dengan judul “**Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis oculata* melalui Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya dalam Media POME**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 July 2026

Karenina Anisya Pratiwi

NRP. 6008241020

Dosen Pembimbing I,

**Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng.,
IPM**

NIP. 196605231991021001

Dosen Pembimbing II,

**Dr. M Maktum Muharja Al Fajri,
S.T.**

NIP. 199212082024061001

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Karenina Anisya Pratiwi / 6008241020
Department : Chemical Engineering
Advisor / NIP : 1. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM
NIP. 196605231991021001
2. Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.
NIP. 199212082024061001

hereby declare that the Research Project with the title of "**Lipid and PUFA Enhancement in *Nannochloropsis oculata* under Mutagenesis, Co-Culture, and Light Spectrum Manipulation in POME**" is the result of our own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then we are willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 28th 2026

Student I,

Acknowledged,

Karenina Anisya Pratiwi

NRP. 6008241020

Supervisor I,

Supervisor II,



Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng.,

IPM

NIP. 196605231991021001



Dr. M Maktum Muharja Al Fajri,

S.T.

NIP. 199212082024061001

**Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis oculata* melalui
Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya dalam Media**

POME

Nama Mahasiswa : Karenina Anisya Pratiwi
NRP : 6008241020
Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM
Pembimbing 2 : Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

ABSTRAK

Permintaan terhadap asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang, khususnya *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA), mendorong pengembangan sumber alternatif berbasis mikroalga. *Nannochloropsis oculata* dikenal mampu menghasilkan lipid bernilai tinggi, sedangkan Palm Oil Mill Effluent (POME) masih mengandung nutrisi organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai medium kultivasi. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh mutagenesis UV-C, ko-kultur dengan *Bacillus subtilis*, dan strategi spektrum cahaya dua tahap terhadap pertumbuhan serta profil asam lemak *N. oculata* dalam media POME. Strain wild type (WT) dan *mutated strain* (MT) dikultivasi selama tujuh hari pada kondisi aksenik dan ko-kultur. Kultur diberi cahaya putih, merah, atau kombinasi biru-hijau pada tahap pertama, kemudian seluruh perlakuan dialihkan ke cahaya merah pada hari ke-6 hingga hari ke-7. Pertumbuhan ditentukan berdasarkan jumlah sel, sedangkan komposisi asam lemak dianalisis sebagai *fatty acid methyl esters* (FAME) menggunakan GC-FID. Jumlah sel tertinggi diperoleh pada WT red coculture sebesar 55,20 juta sel/mL pada hari ke-7. Kandungan total PUFA tertinggi diperoleh pada axenic WT blue-green sebesar $51,83 \pm 21,32\%$ dari total FAME. EPA tertinggi dihasilkan oleh axenic WT white sebesar $10,00 \pm 0,03\%$, sedangkan DHA tertinggi diperoleh pada axenic MT red sebesar $14,24 \pm 0,01\%$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi yang meningkatkan total PUFA tidak selalu menghasilkan EPA dan DHA tertinggi. Cahaya merah lebih mendukung pertumbuhan sel, ko-kultur cenderung meningkatkan pertumbuhan terutama pada WT, sedangkan mutagenesis mengubah profil asam lemak bergantung pada spektrum cahaya dan kondisi kultur. Temuan ini menunjukkan potensi integrasi mutagenesis, ko-kultur, manipulasi spektrum cahaya, dan pemanfaatan POME untuk menghasilkan biomassa *N. oculata* dengan profil lipid yang dapat diarahkan pada produksi PUFA, EPA, atau DHA.

Kata kunci: *Nannochloropsis oculata*, POME, mutagenesis, ko-kultur, PUFA, EPA

**LIPID AND PUFA ENHANCEMENT IN *NANNOCHLOROPSIS OCULATA*
UNDER MUTAGENESIS, CO-CULTURE, AND LIGHT SPECTRUM
MANIPULATION IN POME**

ABSTRACT

Name/NRP : Karenina Anisya Pratiwi NRP. 6008241020
Department : Teknik Kimia FTIRS-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng., IPM
Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T.

The growing demand for long-chain polyunsaturated fatty acids, particularly eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), has encouraged the development of alternative microalgal sources. Nannochloropsis oculata is recognized as a producer of high-value lipids, while Palm Oil Mill Effluent (POME) still contains organic nutrients that may support microalgal cultivation. This study evaluated the effects of UV-C mutagenesis, co-cultivation with Bacillus subtilis, and a two-stage light spectrum strategy on the growth and fatty acid profile of N. oculata cultivated in POME medium. Wild-type (WT) and mutated strains (MT) were cultivated for seven days under axenic and co-culture conditions. During the first stage, cultures were exposed to white, red, or blue-green light, followed by red-light exposure from day 6 to day 7. Growth was assessed based on cell density, while fatty acid composition was analyzed as fatty acid methyl esters (FAME) using GC-FID. The highest cell density was obtained in WT red coculture, reaching 55.20 million cells/mL on day 7. The highest total PUFA content was observed in axenic WT blue-green at $51.83 \pm 21.32\%$ of total FAME. The highest EPA content was obtained in axenic WT white at $10.00 \pm 0.03\%$, whereas the highest DHA content was observed in axenic MT red at $14.24 \pm 0.01\%$. These results indicate that an increase in total PUFA does not necessarily correspond to higher EPA and DHA levels. Red light generally supported cell growth, co-cultivation tended to enhance growth, particularly in WT, while mutagenesis altered the fatty acid profile depending on the light spectrum and cultivation condition. The findings highlight the potential integration of mutagenesis, co-cultivation, light spectrum manipulation, and POME utilization to produce N. oculata biomass with lipid profiles directed toward PUFA, EPA, or DHA production.

Keywords: *Nannochloropsis oculata*, POME, mutagenesis, co-culture, PUFA, EPA

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tesis yang berjudul **“Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis oculata* melalui Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya dalam Media POME”**. Tugas ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program master di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulisan Tesis ini tentunya tidak lepas dari dukungan, arahan, dan bimbingan dari banyak pihak yang sangat membantu kami selama melakukan penyusunan Tesis. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini kami ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T., IPM selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FT-IRS ITS
2. Bapak Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T., M.MT., Ph.D., selaku Kepala Program Studi Pascasarjana Teknik Kimia ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng selaku Kepala Laboratorium Teknik Biokimia serta pembimbing selaku dosen pembimbing yang telah bersedia membimbing kami dengan memberikan kritik dan saran serta arahan kepada kami sehingga penyusunan Tesis ini berjalan lancar.
4. Bapak Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia membimbing kami dengan memberikan kritik dan saran serta arahan kepada kami sehingga penyusunan Tesis ini berjalan lancar.
5. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem ITS
6. Orang tua dan keluarga penulis atas segala kasih sayang dan telah mendukung kami baik moral maupun material dan tidak lupa doa yang menyertai kami selama melakukan penyusunan Tesis.

7. Seluruh anggota Laboratorium Teknologi Biokimia yang telah memberikan bantuan dan segenap informasi selama melakukan penyusunan Laporan Akhir Tesis
8. Keluarga Besar Mahasiswa Pascasarjana Teknik Kimia Angkatan 2025/2026 yang telah memberikan dukungan kepada kami selama menyelesaikan penyusunan Laporan Akhir Tesis.
9. Semua pihak yang telah membantu proses penyusunan Tesis ini hingga selesai.

Demikian yang dapat kami sampaikan, selaku penulis menyadari bahwa susunan Tesis ini masih terdapat banyak kekurangan sehingga kami menerima segala kritik dan saran yang akan membantu kami membenahi diri di kemudian hari. Semoga laporan Tesis dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca di khalayak umum.

Surabaya, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL	iii
GLOSSARIUM.....	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	30
1.1 Latar Belakang	30
1.2 Rumusan Masalah	33
1.3 Tujuan Penelitian	33
1.4 Batasan Masalah.....	33
1.5 Manfaat Penelitian	34
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	35
2.1 <i>Nannochloropsis oculata</i> sebagai Sumber EPA	35
2.2 Biosintesis Lipid pada <i>Nannochloropsis</i>	37
2.3 Mutagenesis UV-C.....	40
2.4 Kultivasi dengan Spektrum Cahaya	43
2.5 Ko-kultur Mikroalga–Bakteri.....	45
2.6 Palm Oil Mill Effluent Sebagai Media Kultivasi.....	47
2.7 Penelitian Sebelumnya	50
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	52
3.1 Rancangan Penelitian	52
3.2 Bahan yang Digunakan	52
3.3 Variabel Penelitian	53
3.4 Prosedur Penelitian.....	54
3.5 Prosedur Analisis	58
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1 Karakteristik POME Sebagai Media Kultivasi <i>Nannochloropsis oculata</i>	66
4.2 Mutagenesis <i>Nannochloropsis oculata</i> dengan Radiasi UV-C	67
4.3 Analisis Pertumbuhan <i>Nannochloropsis oculata</i> Wild Type dan Mutated Pada Berbagai Panjang Gelombang	71
4.4 Analisis Pertumbuhan, Biomassa, dan Produktivitas Lipid <i>N. oculata</i> pada	

Berbagai Panjang Gelombang dan Kondisi Kultur	75
4.5 Analisis Fraksi Lipid dan Profil <i>Triacylglycerol Nannochloropsis oculata</i> pada Berbagai Kondisi Kultur dan Spektrum Cahaya.....	78
4.5.1 Pengaruh ko-kultur terhadap profil <i>triacylglycerol</i>	79
4.5.2 Pengaruh mutagenesis terhadap profil <i>triacylglycerol</i>	79
4.5.3 Pengaruh spektrum cahaya terhadap profil <i>triacylglycerol</i>	80
4.6 Analisis Profil FAME <i>Nannochloropsis oculata</i> pada Berbagai Kondisi Kultur dan Spektrum Cahaya	80
4.7 Evaluasi Pengaruh Spektrum Cahaya, Kondisi Kultur, dan Strain terhadap Respons Utama <i>Nannochloropsis oculata</i>	85
4.7.1 Pengaruh terhadap EPA	86
4.7.2 Pengaruh terhadap PUFA.....	87
4.7.3 Pengaruh terhadap biomassa	87
4.7.4 Pengaruh terhadap yield lipid.....	88
4.7.5 Kelayakan statistik model	88
BAB 5 KESIMPULAN.....	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN A	A1
LAMPIRAN B	B1
LAMPIRAN C	C1
LAMPIRAN D.....	D1
BIOGRAFI PENULIS	9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jalur biosintesis lipid pada <i>Nannochloropsis</i> (a) Jalur metabolisme karbon yang terkait dengan sintesis lipid; (b) Jalur biosintesis PUFA	38
Gambar 2.2 Spektrum radiasi ultraviolet yang digunakan untuk mutagenesis fisik	40
Gambar 2.3 Pembentukan dan perbaikan dimer timin yang disebabkan oleh sinar ultraviolet	42
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	52
Gambar 3.2 Rangkaian Alat Kultur Mikroalga	55
Gambar 3.3 Penyinaran sinar UV.....	55
Gambar 3.4 Sketsa Prosedur Panen, Pengeringan, Ekstraksi, dan Penguapan Pelarut Lipid Kasar <i>N. oculata</i>	57
Gambar 3.5 Kurva Temperatur Program GC FID	62
Gambar 4.1 Perbandingan POME (Palm Oil Mill Effluent) pada setiap proses filtrasi: (a) Whatman Grade 1 (b) Whatman GF/C (c) Perbandingan setiap grade filtrasi	66
Gambar 4.2 (a) Perbandingan Pertumbuhan <i>N. oculata</i> Mutasi dan Alami dalam Media POME (b) Profil DNA RAPD dari Mikroalga <i>N. oculata</i> (M) Penanda DNA, (A) DNA <i>N. oculata</i> tipe liar, (B) DNA <i>N. oculata</i> Mutasi UV-C	69
Gambar 4.3 Kurva pertumbuhan <i>N. oculata</i> tipe liar dan mutan UV-C yang dibudidayakan di bawah panjang gelombang cahaya yang berbeda. Setiap panel mewakili satu kondisi iradiasi: cahaya putih, merah, biru-hijau.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Senyawa dalam <i>Nannochloropsis sp.</i>	37
Tabel 2.2 Studi Ko-kultur Bakteri dengan Mikroalga.....	46
Tabel 2.3 Karakteristik POME PT TASK.....	47
Tabel 2.4 POME Sebagai Media Kultivasi	49
Tabel 2.5 Perbandingan biomassa, lipid, dan produktivitas EPA antara sistem monokultur dan ko-kultur mikroalga	50
Tabel 2.6 Perbandingan Pengaruh Kultivasi Dua Tahap dan Manipulasi Stres terhadap Produksi Lipid dan Biomassa Mikroalga	51
Tabel 4.1 Perbandingan kuantitatif komposisi nutrisi antara POME dan media Walne (konsentrasi kultur akhir).....	67
Tabel 4.2 Profil regulasi ekspresi gen <i>aceE</i> , <i>GK</i> , dan <i>ACOX</i> pada strain mutated <i>Nannochloropsis oculata</i> dibandingkan <i>wild type</i> berdasarkan analisis qPCR	69
Tabel 4.3 Pengaruh variasi panjang gelombang, mutasi, dan ko-kultur dengan <i>B. subtilis</i> terhadap laju pertumbuhan spesifik, biomassa akhir, kandungan lipid, produktivitas biomassa, dan produktivitas lipid <i>N. oculata</i> . Data disajikan sebagai nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi (SD) $n = 2$	76
Tabel 4.4 Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total <i>Nannochloropsis oculata</i> dalam sistem ko-kultur pada berbagai spektrum cahaya. Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.	78
Tabel 4.5 Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total <i>Nannochloropsis oculata</i> dalam sistem aksenik pada berbagai spektrum cahaya. Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.	78
Tabel 4.6 Profil FAME <i>Nannochloropsis oculata</i> WT dan MT pada kondisi ko-kultur dan aksenik di bawah cahaya putih, merah, dan biru-hijau. Nilai disajikan sebagai mean $\pm$ standar deviasi, $n=2$	84
Tabel 4.7 Hasil ANOVA pengaruh spektrum cahaya, kondisi kultur, dan strain terhadap EPA, PUFA, biomassa, dan yield lipid	85
Tabel 4.8 Parameter statistik model untuk setiap respons.....	89

GLOSSARIUM

18S rRNA

Gen RNA ribosomal 18S yang berperan dalam pembentukan subunit kecil ribosom eukariotik. Dalam analisis qPCR, 18S rRNA digunakan sebagai gen referensi untuk menormalisasi ekspresi gen target.

A

Aksenik (axenic)

Kondisi kultur yang hanya mengandung organisme target dan tidak memiliki organisme lain yang dapat dideteksi. Dalam penelitian ini, istilah tersebut mengacu pada kultur *Nannochloropsis oculata* tanpa penambahan *Bacillus subtilis*.

Asetil-CoA (*Acetyl-CoA*)

Metabolit antara utama yang menghubungkan metabolisme karbohidrat, protein, dan lipid. Asetil-CoA merupakan prekursor awal dalam biosintesis asam lemak.

ANOVA (*Analysis of Variance*)

Metode statistik untuk menguji apakah suatu faktor atau kombinasi beberapa faktor memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons yang diamati.

Asam lemak tak jenuh ganda, PUFA (*Polyunsaturated Fatty Acid*)

Asam lemak yang memiliki dua atau lebih ikatan rangkap pada rantai karbonnya. Kelompok ini mencakup EPA dan DHA.

B

Bacillus subtilis

Bakteri Gram-positif yang digunakan sebagai mitra ko-kultur dalam penelitian ini. Keberadaannya dapat memengaruhi pertumbuhan mikroalga melalui pertukaran nutrisi, metabolit, gas, atau interaksi permukaan sel.

β -Oksidasi

Jalur metabolisme yang memecah asam lemak menjadi unit asetil-CoA. Proses ini berperan dalam pemanfaatan asam lemak sebagai sumber energi.

Biomassa

Massa material biologis yang dihasilkan selama kultivasi, umumnya dinyatakan sebagai berat kering per volume kultur dalam g/L. Pada sistem ko-kultur,

biomassa yang diukur secara gravimetrik dapat mencakup mikroalga dan bakteri apabila tidak dilakukan pemisahan khusus.

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah; salah satu indikator utama beban pencemaran POME.

C

cDNA (*Complementary DNA*)

DNA yang disintesis dari cetakan RNA melalui proses transkripsi balik. cDNA digunakan sebagai cetakan dalam analisis ekspresi gen menggunakan qPCR.

COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi dalam suatu limbah cair.

D

DAG (*Diacylglycerol*)

Gliserol yang teresterifikasi oleh dua asam lemak. DAG merupakan senyawa antara dalam biosintesis TAG.

DGAT (*Diacylglycerol Acyltransferase*)

Enzim yang mengatalisis penambahan gugus asil pada DAG sehingga terbentuk TAG. DGAT merupakan salah satu enzim utama dalam pembentukan lipid penyimpanan.

DGDG (*Digalactosyldiacylglycerol*)

Glikolipid polar yang mengandung dua gugus galaktosa dan merupakan salah satu komponen membran tilakoid kloroplas.

DGTS (*Diacylglyceryltrimethylhomoserine*)

Lipid betain nonfosfor yang menjadi salah satu komponen membran dan dapat mengandung EPA pada mikroalga tertentu.

Dimer timin (*thymine dimer*)

Ikatan kovalen abnormal antara dua basa timin yang berdekatan pada untai DNA akibat paparan sinar UV, menyebabkan gangguan replikasi dan transkripsi.

E

Elongase

Enzim yang berperan dalam pemanjangan rantai karbon asam lemak selama biosintesis lipid.

EPA (*Eicosapentaenoic Acid*, C20:5 ω -3)

Asam lemak omega-3 tak jenuh ganda bernilai tinggi yang menjadi fokus utama penelitian ini, banyak digunakan pada bidang nutraseutikal, farmasi, dan pakan ternak.

F

FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*)

FAME merupakan bentuk turunan asam lemak yang dibuat dengan mengganti gugus hidrogen pada gugus karboksilat asam lemak menjadi gugus metil, biasanya menggunakan metanol dapat dianalisis melalui GC-FID/GC-MS.

FAS (*Fatty Acid Synthase*)

Kompleks enzim yang bertanggung jawab dalam sintesis asam lemak seperti asam palmitat dan asam stearat.

FFA (*Free Fatty Acid*)

Asam lemak bebas yang tidak terikat pada gugus gliserol.

G

GC-FID (*Gas Chromatography-Flame Ionization Detector*)

Teknik kromatografi gas dengan detektor ionisasi nyala. GC-FID digunakan untuk memisahkan dan menguantifikasi senyawa organik, termasuk FAME, berdasarkan waktu retensi dan luas puncak. Identifikasi biasanya dilakukan dengan membandingkan waktu retensi sampel terhadap standar.

GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*)

Teknik yang menggabungkan pemisahan senyawa menggunakan kromatografi gas dengan identifikasi berdasarkan spektrum massa. GC-MS digunakan sebagai analisis konfirmasi terhadap identitas senyawa yang terdeteksi.

GK (*Glycerol Kinase*)

Enzim yang mengatalisis fosforilasi gliserol menjadi gliserol-3-fosfat. Produk tersebut merupakan prekursor pembentukan gliserolipid melalui jalur Kennedy.

K

Ko-kultur

Sistem kultivasi yang menumbuhkan dua atau lebih organisme secara bersamaan. Dalam penelitian ini, ko-kultur terdiri atas *N. oculata* dan *B. subtilis*.

Kultivasi dua tahap (*two-stage cultivation*)

Strategi kultivasi yang membagi proses menjadi tahap pertumbuhan biomassa dan tahap induksi metabolit. Kondisi pada tahap kedua diubah untuk mengarahkan metabolisme sel, misalnya melalui pergantian spektrum cahaya.

L

Laju pertumbuhan spesifik

Laju peningkatan relatif populasi atau biomassa mikroalga selama fase pertumbuhan tertentu, biasanya dinyatakan dalam hari⁻¹ dan dilambangkan dengan simbol μ .

LC-PUFA (*Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid*)

Asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang, umumnya memiliki sedikitnya 20 atom karbon. EPA dan DHA termasuk dalam kelompok LC-PUFA.

LCT-TAG (*Long-Chain Triacylglycerol*)

TAG yang terutama tersusun atas asam lemak rantai panjang. Dalam penelitian ini, pengelompokannya berdasarkan pola waktu retensi merupakan identifikasi putatif dan perlu dikonfirmasi dengan standar autentik atau metode lain.

Lipid netral

Kelompok lipid yang tidak memiliki muatan bersih, terutama TAG, dan umumnya berfungsi sebagai cadangan energi sel.

Lipid polar

Kelompok lipid yang memiliki bagian polar dan nonpolar, seperti MGDG, DGDG, DGTS, PC, dan PE. Lipid polar merupakan komponen utama membran sel dan membran fotosintetik.

log2FoldChange

Nilai perubahan ekspresi gen pada skala logaritma basis dua. Nilai positif menunjukkan peningkatan ekspresi, sedangkan nilai negatif menunjukkan penurunan ekspresi dibandingkan kontrol.

M

MAG (*Monoacylglycerol*)

Gliserol yang teresterifikasi oleh satu asam lemak. MAG merupakan salah satu senyawa antara dalam metabolisme dan transformasi lipid.

MCT-TAG (*Medium-Chain Triacylglycerol*)

TAG yang terutama tersusun atas asam lemak rantai sedang. Dalam penelitian ini, pengelompokannya berdasarkan pola waktu retensi merupakan identifikasi putatif dan perlu dikonfirmasi dengan standar autentik atau metode lain.

Metode $2^{-\Delta\Delta Ct}$

Metode perhitungan ekspresi gen relatif pada qPCR dengan membandingkan nilai Ct gen target yang telah dinormalisasi terhadap gen referensi dan sampel kontrol.

MGDG (*Monogalactosyldiacylglycerol*)

Glikolipid utama yang mengandung satu gugus galaktosa dan menjadi komponen penting membran tilakoid. Pada *Nannochloropsis*, MGDG dapat mengandung proporsi EPA yang tinggi.

MLCT-TAG (*Medium- and Long-Chain Triacylglycerol*)

TAG yang dalam satu molekulnya mengandung kombinasi asam lemak rantai sedang dan rantai panjang. Dalam penelitian ini, pengelompokannya berdasarkan pola waktu retensi bersifat putatif.

MT (*Mutated* atau *Mutant Type*)

Kode yang digunakan untuk menyatakan kultur atau populasi *N. oculata* setelah perlakuan mutagenesis UV-C. Jika kestabilan sifat dan pewarisannya belum diverifikasi, istilah populasi hasil perlakuan UV-C lebih tepat daripada *mutant strain*.

MUFA (*Monounsaturated Fatty Acid*)

Asam lemak yang memiliki satu ikatan rangkap pada rantai karbonnya, misalnya asam oleat, C18:1.

Mutagenesis

Proses induksi perubahan materi genetik menggunakan agen fisik, kimia, atau biologis. Dalam penelitian ini, mutagenesis dilakukan menggunakan radiasi UV-C.

N***Nannochloropsis oculata***

Mikroalga uniseluler laut dari kelas Eustigmatophyceae yang mampu menghasilkan lipid dan EPA. Spesies ini digunakan sebagai organisme utama dalam penelitian.

P**PAR (*Photosynthetically Active Radiation*)**

Rentang radiasi cahaya sekitar 400 sampai 700 nm yang dapat digunakan oleh organisme fotosintetik. PAR umumnya dinyatakan dalam $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

PC (*Phosphatidylcholine*)

Fosfolipid polar penyusun membran sel yang juga berperan sebagai tempat pertukaran dan perombakan asam lemak.

PDAT (*Phospholipid:Diacylglycerol Acyltransferase*)

Enzim yang memindahkan gugus asil dari fosfolipid ke DAG untuk membentuk TAG tanpa menggunakan asil-CoA secara langsung.

PDHC (*Pyruvate Dehydrogenase Complex*)

Kompleks enzim yang mengubah piruvat menjadi asetil-CoA. Reaksi ini menghubungkan metabolisme karbohidrat dengan biosintesis asam lemak.

PE (*Phosphatidylethanolamine*)

Fosfolipid polar yang menjadi salah satu komponen struktural membran sel.

POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Limbah cair dari pengolahan kelapa sawit yang mengandung bahan organik, nitrogen, fosfor, padatan, dan komponen minyak. Dalam penelitian ini, POME digunakan sebagai komponen media kultivasi setelah melalui pretreatment.

Produktivitas biomassa

Jumlah biomassa yang dihasilkan per satuan volume kultur dan waktu, biasanya dinyatakan dalam $\text{g L}^{-1} \text{ hari}^{-1}$.

Produktivitas lipid

Jumlah lipid yang dihasilkan per satuan volume kultur dan waktu, biasanya dinyatakan dalam $\text{g L}^{-1} \text{ hari}^{-1}$.

Q**qPCR (*Quantitative Polymerase Chain Reaction*)**

Teknik amplifikasi DNA secara waktu nyata untuk mengukur jumlah relatif atau absolut target genetik. Dalam analisis ekspresi gen, qPCR dilakukan menggunakan cDNA yang disintesis dari RNA.

R**RAPD-PCR (*Random Amplified Polymorphic DNA-Polymerase Chain Reaction*)**

Teknik PCR menggunakan primer acak untuk menghasilkan pola pita DNA. Perbedaan pola pita dapat menunjukkan polimorfisme genetik antarsampel, tetapi tidak secara langsung menentukan lokasi atau jenis mutasi.

ROS (*Reactive Oxygen Species*)

Molekul atau radikal turunan oksigen yang sangat reaktif. Dalam jumlah terkendali, ROS dapat berfungsi sebagai sinyal stres, sedangkan dalam jumlah berlebihan dapat merusak DNA, protein, pigmen, dan lipid.

S

Salinitas

Kandungan total garam terlarut dalam air. Salinitas dapat dinyatakan dalam ppt atau menggunakan satuan salinitas praktis.

SFA (*Saturated Fatty Acid*)

Asam lemak jenuh yang tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai karbonnya, misalnya asam palmitat, C16:0.

Spektrum cahaya

Distribusi panjang gelombang cahaya yang diterima kultur. Spektrum merah, biru-hijau, dan putih dapat menghasilkan respons fotosintesis dan metabolisme yang berbeda.

T

TAG (*Triacylglycerol*)

Lipid netral yang tersusun atas satu molekul gliserol dan tiga asam lemak. TAG berfungsi terutama sebagai cadangan energi.

TFA (*Total Fatty Acids*)

Jumlah keseluruhan asam lemak yang terdeteksi atau dikuantifikasi dalam sampel. Persentase suatu asam lemak sering dinyatakan sebagai persentase terhadap TFA.

TLC (*Thin Layer Chromatography*)

Teknik kromatografi lapis tipis yang digunakan untuk memisahkan komponen campuran berdasarkan perbedaan interaksi dengan fase diam dan fase gerak.

Transesterifikasi

Reaksi pertukaran gugus alkohol pada suatu ester. Dalam preparasi FAME, gugus asil pada lipid dipindahkan ke metanol sehingga terbentuk metil ester asam lemak.

TSS (*Total Suspended Solids*)

Jumlah padatan tidak terlarut yang tersuspensi dalam suatu cairan dan dapat dipisahkan melalui proses filtrasi.

U

UV-C

Radiasi ultraviolet dengan panjang gelombang sekitar 200 sampai 280 nm. Di antara UV-A, UV-B, dan UV-C, UV-C memiliki energi foton paling tinggi dan dapat menyebabkan kerusakan DNA, termasuk pembentukan dimer pirimidin.

W

Waktu retensi (*retention time*)

Waktu yang dibutuhkan suatu senyawa sejak diinjeksikan hingga terdeteksi setelah melewati kolom kromatografi. Waktu retensi dapat digunakan untuk membantu identifikasi senyawa melalui perbandingan dengan standar.

Wavelength shift

Strategi pergantian spektrum atau panjang gelombang cahaya selama kultivasi untuk mengubah respons fotosintesis dan metabolisme sel.

Wild type (WT)

Strain atau populasi referensi yang tidak mendapatkan perlakuan mutagenesis dan digunakan sebagai pembanding terhadap kelompok MT.

Y

Yield lipid

Perbandingan massa lipid yang diperoleh terhadap massa biomassa kering yang digunakan, biasanya dinyatakan dalam persen.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eicosapentaenoic acid (EPA) merupakan asam lemak omega-3 rantai panjang yang banyak digunakan untuk aplikasi nutraseutikal, pangan fungsional, pakan akuakultur, dan produk kesehatan. EPA berperan penting dalam menjaga kesehatan kardiovaskular, mendukung fungsi otak, serta memiliki aktivitas antiinflamasi ((Barta et al., 2021); Hu et al., 2019). Selama ini, kebutuhan EPA global masih sangat bergantung pada minyak ikan yang mengakibatkan overfishing, peningkatan konsumsi ikan dunia, dan rendahnya efisiensi konversi bahan baku ikan menjadi minyak omega-3. Kondisi ini mendorong perlunya sumber EPA alternatif yang berkelanjutan, stabil, dan tidak bergantung pada eksploitasi sumber daya laut.

Salah satu sumber EPA alternatif yang potensial adalah mikroalga, khususnya *Nannochloropsis oculata*. Mikroalga ini dikenal mampu menghasilkan EPA dengan proporsi tinggi terhadap total asam lemak, sehingga berpotensi menjadi bahan baku substitusi EPA dari minyak ikan. Dibandingkan minyak ikan, minyak mikroalga memiliki beberapa keunggulan, yaitu proses produksi dapat dikontrol, tidak bergantung pada musim, memiliki risiko kontaminan laut yang lebih rendah, serta dapat dikembangkan dalam sistem kultivasi yang lebih berkelanjutan. *N. oculata* juga dilaporkan memiliki kandungan EPA yang tinggi, produktivitas biomassa yang baik, serta stabilitas minyak yang lebih baik dibandingkan minyak ikan pada kondisi penyimpanan tertentu karena komposisi omega-3 tidak hanya berada dalam bentuk neutral lipid atau TAG, tetapi juga dalam lipid polar seperti phospholipid dan glycolipid yang lebih protektif terhadap oksidasi, sementara keberadaan antioksidan endogen seperti karotenoid turut memperlambat pembentukan FFA dan produk oksidasi ((Piyatilleke et al., 2024a; Ryckebosch et al., 2014; Santin et al., 2021a)).

Di sisi lain, Asia Tenggara sebagai pusat produksi minyak sawit dunia menghasilkan limbah cair kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dalam jumlah besar. POME memiliki karakteristik berwarna coklat pekat, berbau, bersifat

asam, serta mengandung beban organik dan nutrisi yang tinggi. Secara umum, POME memiliki *Chemical Oxygen Demand* (COD) sekitar 10.000 sampai 100.000 mg/L, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sekitar 5.250 sampai 43.750 mg/L, Total Nitrogen sekitar 180 sampai 1.400 mg/L, dan Total Phosphorus sekitar 58 mg/L ((Ahmad et al., 2023a; Fernando et al., 2021)). Kandungan karbon organik, nitrogen, dan fosfor yang tinggi menjadikan POME tidak hanya sebagai limbah yang perlu diolah, tetapi juga sebagai sumber nutrisi potensial untuk pertumbuhan mikroalga.

Pengembangan bioteknologi mikroalga berbasis POME umumnya diarahkan untuk mencapai dua tujuan sekaligus, yaitu remediasi limbah dan produksi biomassa bernilai. Metode ini mampu mengurangi polutan organik dan nutrisi, sembari mengonversi limbah menjadi biomassa yang dapat diproses lebih lanjut (Kumaran et al., 2023; Resdi et al., 2021a). Karakteristik POME dengan kandungan nitrogen, fosfor, dan karbon organik yang tinggi memberikan komponen esensial yang dibutuhkan untuk akumulasi lipid (Ahmad et al., 2023a).

Sejumlah studi telah menunjukkan bahwa POME dapat digunakan sebagai medium untuk *Nannochloropsis*, komposisi optimal dicapai dengan variabel 60% POME + Walne Medium yang menghasilkan PUFA 59,13% (Resdi et al., 2021a). Beberapa strategi telah dikembangkan untuk meningkatkan biomassa, lipid, dan EPA pada mikroalga. Mutagenesis UV-C dapat meningkatkan variasi genetik dan mengubah kapasitas metabolisme lipid, termasuk jalur sintesis asam lemak, desaturasi, elongasi, dan pembentukan TAG. (K. Sharma & Schenk, (2015a) melaporkan bahwa perlakuan UV-C pada dosis tertentu dapat meningkatkan akumulasi lipid dan EPA pada mikroalga. Selain itu, pengaturan panjang gelombang cahaya juga berperan penting dalam mengarahkan metabolisme mikroalga. Cahaya merah dan biru dapat memengaruhi fotosintesis, pertumbuhan, dan profil asam lemak, sedangkan strategi pencahayaan dua tahap dapat digunakan untuk memisahkan fase pertumbuhan biomassa dan fase akumulasi lipid ((Chu et al., 2021a; Sirisuk et al., 2018a)).

Selain mutagenesis dan pengaturan cahaya, ko-kultur dengan bakteri juga menjadi pendekatan potensial untuk meningkatkan produktivitas mikroalga. Interaksi mikroalga dan bakteri dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, suplai

vitamin seperti vitamin B12, produksi senyawa pemacu pertumbuhan, serta efisiensi fotosintesis. Beberapa bakteri asosiatif dilaporkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi PUFA melalui regulasi gen desaturase dan elongase. Liu et al. (2020) menunjukkan bahwa bakteri asosiatif tertentu dapat meningkatkan hasil EPA pada *Nannochloropsis oceanica*, sedangkan Wang et al. (2022) melaporkan bahwa ko-kultur dengan *Marinobacter* sp. dapat meningkatkan pertumbuhan, efisiensi fotosintesis, dan kandungan PUFA pada mikroalga (Liu et al., 2020a; Wang et al., 2022a).

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada peningkatan biomassa, total lipid, atau total EPA secara terpisah. Kajian yang secara simultan mengintegrasikan mutagenesis UV-C, ko-kultur bakteri, strategi spektrum cahaya dua tahap, dan pemanfaatan POME sebagai media kultivasi masih sangat terbatas. Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan strategi integratif berupa mutagenesis UV-C, variasi spektrum cahaya dua tahap, dan ko-kultur bakteri dalam kultivasi *N. oculata* menggunakan POME sebagai media tumbuh. Fokus utama penelitian ini adalah meningkatkan produksi EPA sekaligus memetakan distribusinya pada kelas lipid polar dan lipid netral. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan pendekatan kultivasi mikroalga yang mendukung produksi EPA berkelanjutan serta dapat memberikan nilai tambah industri sekaligus solusi pemanfaatan limbah sawit.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh kombinasi variabel mutagenesis, ko-kultur, dan spektrum cahaya dua tahap terhadap persentase PUFA pada mikroalga *Nannochloropsis oculata*?
2. Bagaimana perubahan komposisi dan profil asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), khususnya EPA, pada *Nannochloropsis oculata* akibat perlakuan mutagenesis, ko-kultur, dan manipulasi spektrum cahaya dalam media POME?
3. Bagaimana potensi Palm Oil Mill Effluent (POME) sebagai medium kultivasi mikroalga dapat ditunjukkan melalui produksi EPA bernilai tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Mengevaluasi pengaruh kombinasi variabel mutagenesis, ko-kultur, dan spektrum cahaya dua tahap terhadap persentase PUFA pada mikroalga *Nannochloropsis oculata*.
2. Menganalisis perubahan komposisi dan profil asam lemak tak jenuh ganda (PUFA), pada *Nannochloropsis oculata* akibat perlakuan mutagenesis, ko-kultur, dan manipulasi spektrum cahaya dalam media POME.
3. Menguji potensi *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai medium kultivasi mikroalga untuk produksi EPA bernilai tinggi melalui pendekatan eksperimental.

1.4 Batasan Masalah

1. Strain mikroalga *Nannochloropsis oculata* yang digunakan berasal dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau Situbondo.
2. *Bacillus subtilis* yang digunakan berasal dari Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Medium kultivasi yang digunakan adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME).
4. Air laut yang digunakan memiliki salinitas 17 ppt.
5. Intensitas cahaya yang digunakan adalah 4.000 lux.
Jarak lampu UV-C yang digunakan adalah 3 cm.
6. Lama penyinaran UV-C akan didasarkan dari penelitian sebelumnya 5 menit.

7. Suhu kultur mikroalga *Nannochloropsis oculata* adalah 29-32°C.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengidentifikasi efek mutagenesis UV-C terhadap pertumbuhan mikroalga *Nannochloropsis oculata* serta pengaruhnya dalam meningkatkan *Eicosapentaenoic Acid* (EPA).
2. Mengidentifikasi potensi limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai media pertumbuhan mikroalga dan produktivitas EPA pada *Nannochloropsis oculata*.
3. Menganalisis pengaruh panjang gelombang cahaya terhadap pertumbuhan sel, dan akumulasi PUFA.
4. Memberikan solusi berbasis bioteknologi untuk pengolahan limbah industri sawit melalui pendekatan biokonversi limbah menjadi produk bernilai tinggi, yang mendukung prinsip circular economy dan keberlanjutan industri kelapa sawit nasional.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Nannochloropsis oculata* sebagai Sumber EPA

Nannochloropsis oculata adalah mikroalga uniseluler dari famili *Eustigmatophyceae* yang sering diteliti karena kemampuannya menghasilkan biomassa dengan kandungan lipid tinggi. Berbeda dengan sumber lain dari asam lemak tak jenuh ganda n-3 rantai panjang, seperti ikan, krill, dan berbagai mikroalga heterotrof, yang biasanya juga mengandung asam dokosaheksaenoat (DHA), genus *Nannochloropsis* dapat menghasilkan asam eikosapentaenoat (EPA, C20:5 ω 3) secara hampir eksklusif (Ganuza et al., 2024). Selain EPA, organisme ini juga menghasilkan pigmen, fitosterol, dan metabolit bioaktif lainnya yang memiliki manfaat tambahan, seperti potensi perlindungan kardiovaskular.

EPA merupakan bagian dari asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang banyak ditemukan pada ikan dan mikroalga. Mikroalga merupakan produsen utama asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang (*long-chain polyunsaturated fatty acids/LC-PUFA*) seperti *Eicosapentaenoic Acid* (EPA) dan *Docosahexaenoic Acid* (DHA), yang memiliki nilai tinggi dalam industri pangan, farmasi, dan kesehatan. Salah satu mikroalga laut yang menonjol adalah *Nannochloropsis oculata*, yang diketahui memiliki kandungan EPA tinggi terutama dalam fraksi fosfolipid yang paling penting untuk metabolisme manusia (Mitra et al., 2015). Konsumsi PUFA dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan, seperti peningkatan metabolisme, perbaikan tekanan darah dan kadar glukosa, serta perlindungan terhadap berbagai penyakit degeneratif seperti kanker (Santin et al., 2021b). Studi klinis menunjukkan bahwa mengonsumsi makanan kaya EPA dapat mengurangi risiko terkena penyakit ginjal. Untuk orang sehat, asupan harian EPA dan DHA yang direkomendasikan adalah antara 0,2 sampai dengan 0,3 g, sedangkan untuk pasien kardiovaskular, antara 1,0 sampai 4,0 g (J. Sharma et al., 2020), melihat tingginya kebutuhan nutrisi ini, *Nannochloropsis* berpotensi dikembangkan sebagai sumber EPA substitutif yang lebih berkelanjutan dibandingkan sumber konvensional.

Produktivitas *Nannochloropsis* dalam mencapai EPA yang relatif tinggi. Santin (2021) menyatakan bahwa genus ini dapat ditanam dengan tingkat

produktivitas biomassa 33,6–84,0 ton per hektar per tahun. Tingkat EPA dilaporkan lebih dari 2% lebih tinggi (Gkioni et al., 2022), menjadikan *N. oculata* salah satu kandidat utama untuk pengembangan industri biofarmasi.

N. oculata dalam pertumbuhannya menunjukkan fase stasioner, lag, eksponensial, dan kematian seperti mikroalga lainnya dalam konteks perkembangan fisiknya (You et al., 2020). Berbeda dengan fase stasioner, yang biasanya ditandai dengan adanya metabolit sekunder, seperti EPA, fase eksponensial dicirikan oleh pertumbuhan yang cepat dengan Jumlah sel yang tinggi. Untuk memaksimalkan akumulasi EPA selama fase induksi, kondisi ini sering digunakan dalam strategi budidaya dua tahap. Faktor eksternal seperti ketersediaan nutrisi (N dan P), intensitas dan panjang gelombang cahaya, suhu, dan kadar pH memengaruhi pertumbuhan dan metabolisme lipid *N. oculata* (Alkhamis et al., 2022; Mitra et al., 2015; Yu et al., 2022). Menurut karakteristik ini, *N. oculata* tidak hanya memiliki peran penting dalam penelitian akademis tetapi juga memiliki potensi komersial sebagai sumber EPA dengan berbagai fungsi yang relevan untuk kebutuhan global.

Secara fisiologis, EPA pada *Nannochloropsis oculata* terutama terlokalisasi pada fraksi lipid polar membran, khususnya glikolipid seperti *monogalactosyldiacylglycerol* (MGDG) yang merupakan komponen utama membran tilakoid. Pada fase eksponensial, EPA dilaporkan dominan berada pada lipid polar dan berperan dalam mempertahankan fluiditas serta stabilitas sistem fotosintetik (Wan Razali et al., 2022). Studi fraksinasi lipid oleh Sánchez et al. menunjukkan bahwa fraksi polar lipid memiliki kandungan EPA yang jauh lebih tinggi dibandingkan fraksi non polar, dengan EPA mencapai sekitar 44,9% dari total asam lemak pada fraksi polar, sedangkan fraksi non polar hanya sekitar 9–10% (Sánchez et al., 2023). Analisis fraksinasi lipid menunjukkan bahwa komponen polar lipid secara signifikan lebih kaya EPA dibandingkan fraksi lipid netral, sehingga sebagian besar total EPA seluler ditemukan pada glikolipid dan fosfolipid (Piyatilleke et al., 2024b). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi pertumbuhan normal, EPA tersimpan sebagai trigliserida (TAG) maupun sebagai asam lemak bebas (FFA), melainkan teresterifikasi dalam struktur lipid membran yang aktif secara metabolik.

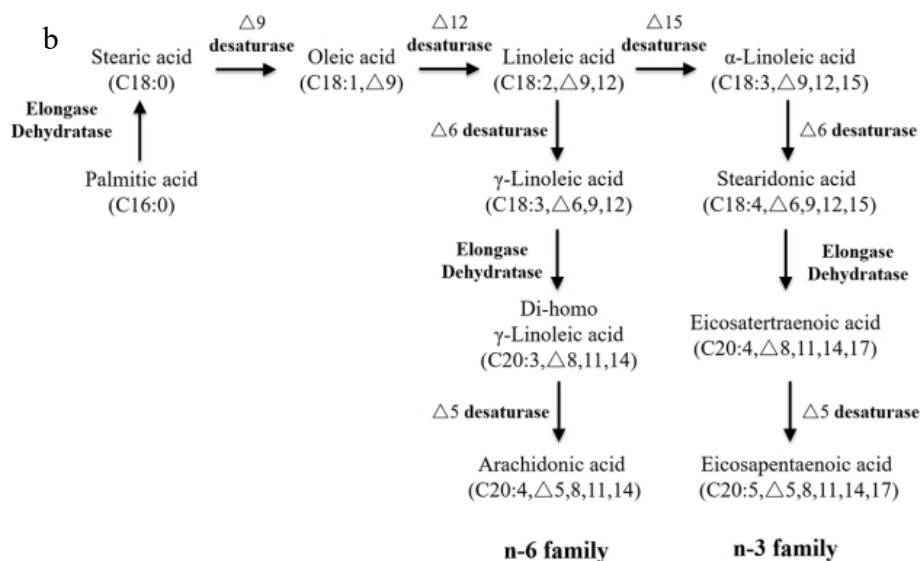
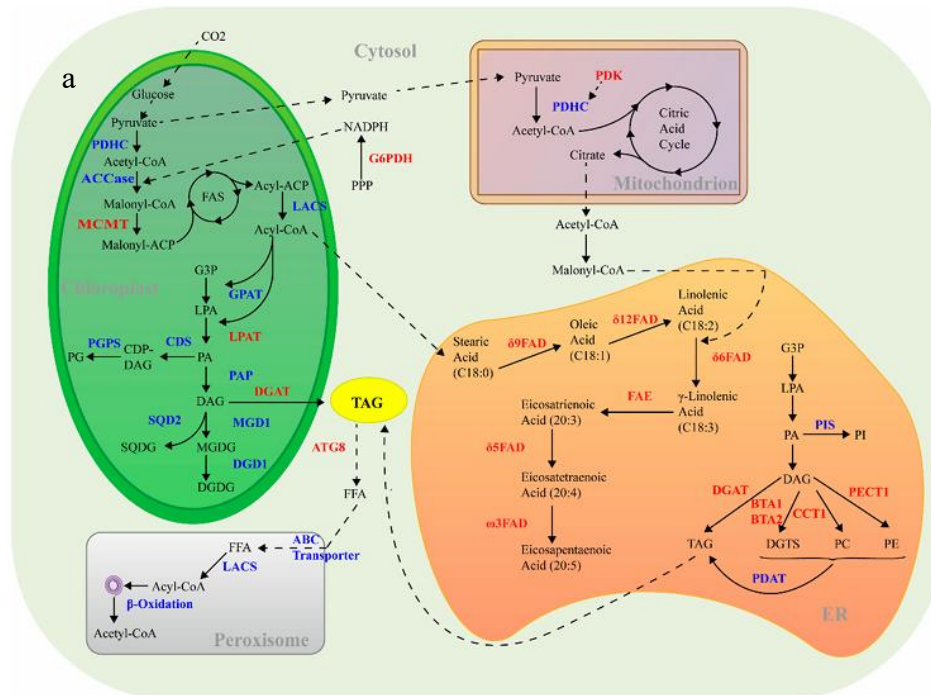
Distribusi EPA pada *N. oculata* bersifat dinamis dan dapat berubah sesuai kondisi fisiologis dan lingkungan kultur. Pada kondisi stres, seperti pembatasan nitrogen atau menjelang akhir fase pertumbuhan, terjadi peningkatan akumulasi TAG yang diikuti dengan penurunan fraksi lipid polar, serta perpindahan sebagian EPA dari lipid polar menuju lipid netral. Perubahan komposisi lipid ini mencerminkan penyesuaian metabolik sel terhadap tekanan lingkungan, di mana EPA yang awalnya dominan pada membran dapat terintegrasi ke dalam TAG selama transisi fase pertumbuhan (Ye et al., 2024), sementara keberadaan EPA dalam bentuk FFA bebas umumnya tidak dilaporkan sebagai bentuk penyimpanan utama dalam sel.

Tabel 2.1 Komposisi Senyawa dalam *Nannochloropsis sp.* (Kent et al., 2015).

Strain	Komposisi (%)			
	Protein	Lipid	Karbohidrat	PUFA
<i>Nannochloropsis sp.</i>	30,29	21,78	9,62	4,855

2.2 Biosintesis Lipid pada *Nannochloropsis*

Biosintesis lipid pada *Nannochloropsis* mengikuti dua jalur utama, yaitu jalur plastidial untuk sintesis asam lemak de novo dan jalur endoplasmik retikulum untuk elongasi serta desaturasi rantai panjang. Asam lemak rantai sedang yang terbentuk di kloroplas diesterifikasi ke dalam gliserolipid membran plastid



Gambar 2.1 Jalur biosintesis lipid pada *Nannochloropsis* (a) Jalur metabolisme karbon yang terkait dengan sintesis lipid; (b) Jalur biosintesis PUFA

Pembentukan lipid diinisiasi dengan pembentukan *Acetyl-CoA*, yang dihasilkan melalui kompleks enzim *Pyruvate Dehydrogenase Complex* (PDHC) dalam kloroplas. *Acetyl-CoA* kemudian dikonversi menjadi *Malonyl-CoA* oleh enzim *Acetyl-CoA Carboxylase* (ACCase), yang merupakan salah satu kontrol utama dalam regulasi laju sintesis asam lemak **Gambar 2.1**. Peningkatan aktivitas

ACCase dapat meningkatkan produksi malonyl-CoA yang nantinya akan berkontribusi pada peningkatan akumulasi TAG pada mikroalga (X. N. Ma et al., 2016).

Setelah terbentuknya *malonyl-CoA*, proses pemanjangan rantai karbon asam lemak dilakukan oleh enzim *Fatty Acid Synthase* (FAS). FAS bertanggung jawab dalam sintesis asam lemak seperti asam palmitat (C16:0) dan asam stearat (C18:0). Sintesis ini terjadi melalui beberapa siklus elongasi dan desaturasi yang menghasilkan asam lemak jenuh dan tak jenuh **Gambar 2.1**. Asam stearat, melalui desaturasi lebih lanjut oleh enzim desaturase akan diubah menjadi asam oleat (C18:1) dan kemudian menjadi asam lemak tak jenuh lainnya, termasuk PUFA seperti *Eicosapentaenoic Acid* (EPA) (X. N. Ma et al., 2016).

Proses sintesis lipid memerlukan pasokan energi dalam bentuk NADPH, yang diproduksi melalui beberapa jalur seperti Pentose Phosphate Pathway (PPP). PPP berfungsi memberikan NADPH yang diperlukan untuk reaksi *merahuksi* dalam biosintesis asam lemak, terutama pada kondisi di mana aktivitas enzim Malate Enzyme (ME) rendah atau tidak ada (X. N. Ma et al., 2016).

Asam lemak yang dihasilkan dalam proses biosintesis kemudian dapat digunakan untuk membentuk DAG (Diacylglycerol), yang merupakan prekursor dari TAG. DAG dapat berasal dari hasil sintesis asam lemak atau dari pemecahan lipid membran, seperti phosphatidylcholine (PC). Enzim Diacylglycerol Acyltransferase (DGAT) berperan dalam mengubah DAG menjadi TAG, yang disimpan dalam lipid bodies sebagai cadangan energi (X. N. Ma et al., 2016). Sekitar 7% dari TAG terbentuk langsung dari DAG yang dihasilkan oleh sintesis asam lemak, sementara sebagian besar berasal dari DAG hasil pemecahan PC.

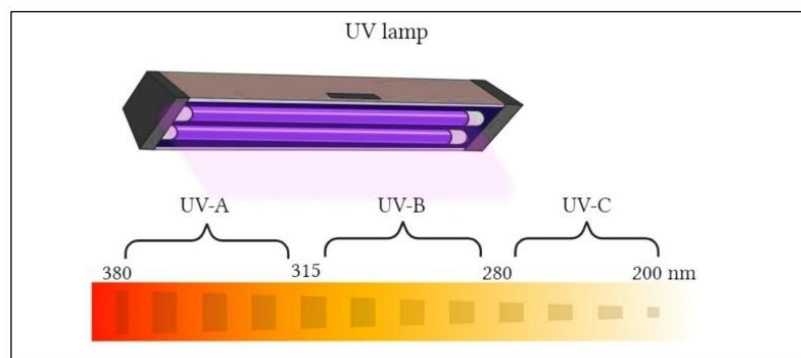
EPA (C20:5, ω -3) dihasilkan melalui serangkaian desaturasi dan elongasi pada fosfolipid dan betaine lipid di retikulum endoplasma sebelum dialokasikan ke kelas lipid tertentu ((Khoo et al., 2023; Ye et al., 2024)). Studi metabolomik menunjukkan bahwa EPA terutama diproduksi melalui remodeling gliserolipid, khususnya konversi monogalaktosildiasilgliserol (MGDG) dan digalaktosildiasilgliserol (DGDG) ke dalam triasilgliserol (TAG) ketika sel mengalami kondisi stres (Meng et al., 2019).

Selain itu, mekanisme regulasi biosintesis EPA sangat dipengaruhi oleh faktor

eksternal. Cahaya berlebih dapat memicu produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang mempercepat alokasi karbon ke jalur TAG, sementara cahaya rendah cenderung mempertahankan EPA dalam lipid polar plastid (Ledo et al., 2025). Faktor nutrisi juga berperan penting, di mana *phosphate deprivation* maupun *nitrogen depletion*, mendorong pergeseran metabolisme dari pertumbuhan menuju akumulasi lipid netral, meskipun distribusi EPA sangat bergantung pada jenis stres yang diterapkan (Murakami et al., 2018). Dengan demikian, biosintesis EPA pada *Nannochloropsis* dapat dipandang sebagai hasil interaksi kompleks antara lintasan enzimatik (desaturase, elongase, DGAT, PDAT) dengan kondisi lingkungan kultur.

2.3 Mutagenesis UV-C

Mutasi merupakan perubahan materi genetik (gen atau kromosom) suatu sel yang diwariskan kepada keturunannya. Mutasi genetik ini dapat dilakukan dengan menggunakan sinar ultraviolet. Radiasi sinar UV secara biologis termasuk dalam sinar berbahaya yang dapat merusak DNA sel dan dapat menyebabkan cacat genetik pada permukaan eksternal jika dipaparkan dalam dosis yang tinggi (Araújo et al., 2022)

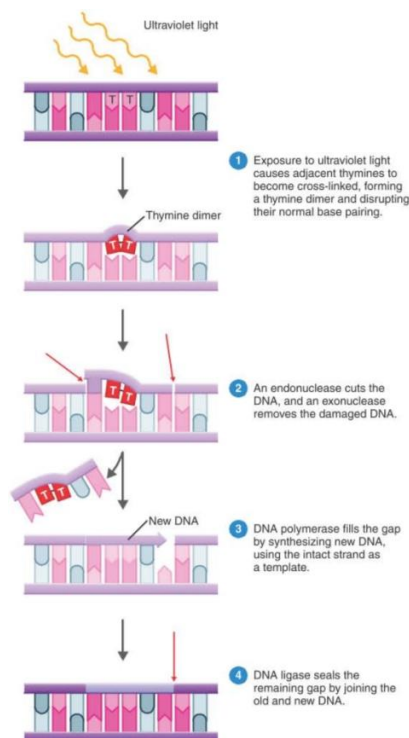


Gambar 2.2 Spektrum radiasi ultraviolet yang digunakan untuk mutagenesis fisik (Fathy et al., 2023)

Paparan UV-C pada mikroalga dapat menghasilkan dimer pirimidin siklobutena dan produk 6-4 dalam DNA. Pembentukan dimer pirimidin ini terjadi saat sinar UV mengonversi dua buah basa nitrogen timin. Pembentukan dua basa timin yang berdampingan secara kovalen dan membentuk seperti anyaman jala ini diakibatkan karena kesalahan dalam pembacaan DNA pada proses replikasi dan transkripsi (Murprayana et al., 2021). Dengan adanya pembentukan dimer pirimidin ini akan mengganggu fungsi biologis mikroalga, seperti sintesis protein, transkripsi

dan translasi. Hal ini dapat berdampak pada pertumbuhan dan reproduksi mikroalga. Kerusakan DNA ini dapat diperbaiki dengan proses fotoreversal yang dibantu oleh enzim fotoliase. Enzim fotoliase ini nantinya akan mengikat langsung dimer pirimidin dan dapat membentuk kompleks DNA yang lebih stabil (Afza et al., 2015). Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**, perbaikan eksisi nukleotida tidak hanya terbatas pada kerusakan akibat sinar UV. Perbaikan ini juga bisa mengoreksi mutasi dari penyebab lainnya. Enzim memotong basa yang salah dan mengisi celah DNA baru sesuai untai yang benar

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Srinivas, menunjukkan bahwa paparan UV-A dapat meningkatkan rasio lipid pada mikroalga *N. oculata*. Paparan UV-A ini dapat menurunkan laju pertumbuhan dan penurunan nutrisi setelah kultur mencapai biomassa yang signifikan dapat menjadi pendekatan alternatif untuk meningkatkan akumulasi lipid per biomassa. Selain itu, mutasi *Nannochloropsis salina* dapat menunjukkan peningkatan simultan dalam tingkat pertumbuhan spesifik sebesar 53% dan produktivitas FAME sebesar 75% (Ryu et al., 2020a). Sementara itu, pada mikroalga *Chlorella vulgaris* dilakukan mutasi menggunakan UV-C menunjukkan kandungan TAG meningkat dari 0,5 menjadi 20,5% (% berat kering) (Carino & Vital, 2023). Sebuah penelitian pada *Scenedesmus* sp. berhasil menemukan gen-gen penting yang berperan dalam produksi lipid pada strain mutan (Y. Ma et al., 2014). Dalam penelitian lain, dua gen utama (asetil-KoA karboksilase (ACCase) dan fosfoenolpiruvat karboksilase (PEPC) diekspresikan pada strain mutan, menghasilkan peningkatan sintesis lipid (Ma et al., 2019). Sejauh ini, belum ada studi yang menunjukkan mutasi pada mikroalga *Nannochloropsis oculata* menggunakan radiasi UV-C sehingga dapat menjadi penelitian terbaru untuk kedepannya.



Gambar 2.3 Pembentukan dan perbaikan dimer timin yang disebabkan oleh sinar ultraviolet (Tortora, 2014)

Mutagenesis dengan sinar ultraviolet (UV) telah lama digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk meningkatkan variasi genetik mikroalga. Di antara spektrum UV, radiasi UV-C (200–280 nm) dikenal memiliki energi paling tinggi sehingga mampu memicu perubahan signifikan pada metabolisme sel. Pada *Nannochloropsis* sp., perlakuan UV-C terbukti efektif dalam meningkatkan kandungan lipid dan *Eicosapentaenoic Acid* (EPA), baik melalui induksi langsung jalur biosintesis maupun melalui mekanisme respons stres seluler (Sharma & Schenk, 2015).

Peningkatan kandungan lipid akibat perlakuan UV-C berkaitan erat dengan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS). Radiasi UV-C mendorong pembentukan ROS dalam sel mikroalga, yang kemudian mengaktifkan jalur respons stres oksidatif. Aktivasi jalur ini menginduksi mekanisme pertahanan berupa peningkatan akumulasi *Polyunsaturated Fatty Acids* (PUFA) seperti EPA, yang berfungsi menjaga fluiditas membran dan melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Dengan demikian, peningkatan EPA dapat dipandang sebagai strategi adaptif sel terhadap stres UV-C melalui modulasi fluiditas membran, peningkatan pertahanan antioksidan, serta induksi pembentukan lipid droplet (Sharma & Schenk, 2015).

Selain induksi ROS, radiasi UV-C pada intensitas optimal terbukti menstimulasi jalur biosintesis lipid secara cepat. Pada dosis 100 mJ/cm², *Nannochloropsis* sp. menunjukkan peningkatan dua kali lipat kandungan total lipid hanya dalam 24 jam, dibandingkan kultur kontrol yang hanya diberikan stres nutrien. Hasil ini menunjukkan keunggulan mutagenesis UV-C dibandingkan teknik induksi lipid lain seperti pembatasan nutrien atau stres suhu yang umumnya memerlukan beberapa hari untuk menghasilkan akumulasi lipid (Sharma & Schenk, 2015).

Menariknya, UV-C juga menyebabkan perubahan morfologi sel yang berperan dalam meningkatkan toleransi terhadap kondisi stres. Perubahan ini diperkirakan berfungsi sebagai mekanisme seleksi evolusioner yang mendorong sifat-sifat adaptif, termasuk kecenderungan akumulasi lipid. Pada *Nannochloropsis*, integritas sel tetap terjaga meskipun terpapar dosis UV-C tinggi, berbeda dengan beberapa spesies mikroalga lain yang mudah mengalami kerusakan membran atau lisis sel. Hal ini memungkinkan akumulasi lipid berlangsung lebih lama tanpa mengganggu kelangsungan hidup kultur.

Secara keseluruhan, mutagenesis UV-C pada *Nannochloropsis* meningkatkan kandungan lipid dan EPA melalui kombinasi mekanisme: (1) induksi cepat jalur biosintesis lipid, (2) peningkatan produksi ROS dan aktivasi jalur pertahanan, (3) modifikasi morfologi yang mendukung akumulasi lipid, dan (4) pemeliharaan integritas sel pada dosis optimal (100–250 mJ/cm²). Dengan karakteristik ini, UV-C mutagenesis menjadi pendekatan potensial untuk meningkatkan produksi PUFA bernilai tinggi, termasuk EPA, dalam sistem kultivasi berkelanjutan.

2.4 Kultivasi dengan Spektrum Cahaya

Kultivasi dua tahap (*kultivasi dua tahap*) merupakan pendekatan yang terbukti efektif dalam meningkatkan produksi senyawa bioaktif seperti *Eicosapentaenoic Acid* (EPA) pada mikroalga. Pendekatan ini membagi proses kultivasi menjadi dua fase: fase pertama difokuskan pada pertumbuhan sel maksimal di bawah kondisi optimal (nutrien lengkap, cahaya stabil), sedangkan fase kedua merupakan fase induksi akumulasi metabolit sekunder, dengan penerapan kondisi stres terkontrol seperti pembatasan nitrogen, variasi cahaya, atau suhu rendah.

(Mitra et al., 2015) menunjukkan bahwa penerapan suhu rendah (10°C) dan intensitas cahaya rendah (30 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) pada fase kedua secara signifikan meningkatkan akumulasi EPA pada *Nannochloropsis sp.*, dengan rasio peningkatan mencapai lebih dari tiga kali lipat dibandingkan satu tahap. Pendekatan ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang dikontrol secara selektif per tahap mampu mengarahkan alur metabolisme sel untuk meningkatkan produksi PUFA. Liyanaarachchi et al., 2021 juga menegaskan bahwa sistem dua tahap meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi dalam mengarahkan metabolit sekunder tanpa menurunkan efisiensi pertumbuhan awal.

Dalam konteks ini, spektrum cahaya menjadi faktor kunci yang tidak hanya memengaruhi fotosintesis, tetapi juga memodulasi jalur biosintesis lipid. Pigmen fotosintetik seperti klorofil a dan karotenoid memiliki puncak absorbansi pada cahaya merah (~660 nm) dan biru (~450 nm), menjadikan panjang gelombang ini sebagai penentu utama respons metabolisme. Sirisuk et al., 2018 melaporkan bahwa kombinasi LED merah dan biru dalam rasio seimbang mampu meningkatkan biomassa dan kandungan lipid pada *Nannochloropsis salina*. Sementara itu, cahaya hijau yang secara umum kurang efisien untuk pertumbuhan ditemukan mampu menginduksi akumulasi lipid ketika digunakan pada fase kedua sebagai perlakuan stres cahaya.

Strategi inovatif yang dikenal sebagai *pergeseran panjang gelombang* semakin memperkuat pendekatan dua tahap. Pergantian spektrum cahaya antara dua fase kultivasi terbukti mengaktifkan ekspresi enzim yang berbeda dalam jalur biosintesis lipid. Chu et al., 2021 menerapkan perubahan dari cahaya merah ke hijau (R→G) pada *Chlorella pyrenoidosa*, yang menghasilkan peningkatan signifikan dalam kandungan lipid dan rasio PUFA. Ini menunjukkan bahwa cahaya tidak hanya memicu fotosintesis tetapi juga mengatur jalur biokimia secara spesifik sesuai panjang gelombangnya.

Studi lain oleh Sung et al., 2018c menggunakan pewarna fluoresen untuk memperkaya spektrum biru dan merah yang sesuai dengan kebutuhan fotosintesis *Nannochloropsis gaditana*. Hasilnya menunjukkan peningkatan pertumbuhan dan produktivitas lipid yang lebih tinggi dibandingkan kontrol, menandakan bahwa

manipulasi spektrum pada setiap fase kultur dapat meningkatkan efisiensi energi dan hasil akhir metabolit bioaktif seperti EPA.

Selain itu, Helamieh et al., 2022 menemukan bahwa spektrum biru-hijau (470–520 nm) sangat efektif dalam meningkatkan tingkat ketidakjenuhan asam lemak dan konsentrasi pigmen pada *Acutodesmus obliquus*. Efek ini diyakini berasal dari peningkatan aktivitas enzim desaturase dan reorganisasi tilakoid, yang secara sinergis meningkatkan biosintesis PUFA. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan panjang gelombang yang spesifik pada fase akumulasi merupakan aspek penting dalam strategi kultivasi dua tahap.

Secara keseluruhan, integrasi antara strategi dua tahap dengan pengaturan spektrum cahaya secara dinamis tidak hanya meningkatkan produktivitas EPA, tetapi juga memperluas peluang pengembangan proses yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Pendekatan ini sangat menjanjikan untuk diterapkan dalam sistem biokonversi berbasis limbah industri seperti POME.

2.5 Ko-kultur Mikroalga–Bakteri

Ko-kultur mikroalga–bakteri merupakan salah satu strategi rekayasa yang semakin banyak mendapat perhatian karena dapat menciptakan interaksi mutualistik yang menguntungkan kedua organisme. Dalam ekosistem alami, mikroalga jarang tumbuh secara murni (aksenik), melainkan berasosiasi dengan bakteri yang hidup di sekitarnya. Hubungan ini memungkinkan terjadinya pertukaran nutrisi dan metabolit sekunder, misalnya suplai vitamin, faktor pertumbuhan, dan senyawa sinyal, yang pada gilirannya dapat meningkatkan pertumbuhan biomassa dan akumulasi metabolit bernilai tinggi pada mikroalga (Esteves et al., 2025)

Pada genus *Nannochloropsis*, kebutuhan terhadap vitamin B kompleks, terutama vitamin B₁₂, dapat dipenuhi melalui hubungan simbiotik dengan bakteri laut seperti *Halomonas* dan *Marinobacter*. Liu et al. (2020) melaporkan bahwa keberadaan bakteri penghasil vitamin dan pengatur ketersediaan nutrisi mampu menggandakan yield EPA dibandingkan kultur aksenik. Temuan ini diperkuat oleh Wang et al. (2022) yang menunjukkan bahwa ko-kultur *Isochrysis galbana* dengan *Marinobacter* sp. meningkatkan pertumbuhan, efisiensi fotosintesis, serta produksi PUFA melalui regulasi enzim desaturase dan elongase. Dengan mekanisme serupa,

Nannochloropsis diperkirakan juga dapat memperoleh keuntungan berupa peningkatan produktivitas EPA melalui interaksi ko-kultur.

Selain bakteri laut, kelompok bakteri lain seperti actinomycetes juga berpotensi meningkatkan kandungan lipid dan PUFA. (Kumsiri et al., 2018a) melaporkan bahwa *Nocardia* sp. mampu meningkatkan kadar omega-3 mikroalga melalui sekresi indole-3-acetic acid (IAA), siderofor, dan aktivitas pelarutan fosfat yang memicu metabolisme lipid.

Lebih lanjut, bakteri dari genus *Bacillus*, khususnya *Bacillus subtilis*, juga telah banyak dilaporkan mendukung pertumbuhan mikroalga dalam sistem ko-kultur. *B. subtilis* dikenal sebagai bakteri penghasil vitamin B12 dan metabolit sekunder yang dapat berfungsi sebagai faktor pertumbuhan bagi mikroalga. Selain itu, *B. subtilis* mampu memicu bioflokulasi pada *N. oculata*, sehingga tidak hanya berperan dalam peningkatan kandungan lipid, tetapi juga mempermudah proses pemanenan biomassa. Mekanisme dukungannya meliputi produksi siderofor yang meningkatkan ketersediaan Fe bagi enzim desaturase dan elongase, serta pelepasan senyawa organik yang dapat menginduksi metabolisme lipid dan PUFA. Dengan sifatnya yang non-patogenik dan telah banyak digunakan dalam aplikasi industri, *B. subtilis* menjadi kandidat menarik untuk integrasi dalam strategi ko-kultur yang ditujukan pada peningkatan produktivitas EPA pada *N. oculata*.

Studi-studi ini menunjukkan bahwa ko-kultur tidak hanya mendukung pertumbuhan biomassa, tetapi juga dapat memengaruhi distribusi EPA antarkelas lipid melalui modifikasi metabolisme seluler dan sinyal biokimia. Dengan demikian, penerapan ko-kultur dalam penelitian ini memiliki landasan ilmiah yang kuat, baik dari segi kebutuhan nutrisi mikroalga maupun dari bukti empiris yang menunjukkan peningkatan produktivitas EPA. Integrasi ko-kultur dengan strategi lain, seperti mutagenesis UV-C dan rekayasa cahaya dua tahap dalam media POME, diharapkan mampu menghasilkan pendekatan berkelanjutan untuk optimasi rendemen sekaligus distribusi EPA pada *Nannochloropsis oculata*.

Tabel 2.2 Studi Ko-kultur Bakteri dengan Mikroalga

<i>References</i>	Mikroalga	Bakteri	Mekanisme Utama	Hasil Utama
Liu et al. (2020)	<i>Nannochloropsis oceanica</i>	Konsorsium bakteri penghasil	Suplai vitamin B ₁₂ ,	EPA meningkat

Esteves et al. (2022)	<i>Nannochloropsis gaditana</i>	vitamin (mis. Halomonas, Marinobacter) Halomonas sp., Marinobacter sp.	peningkatan metabolisme PUFA Pertukaran nutrien, stimulasi fotosintesis, agregasi sel	hingga 2× lipat dibanding kultur aksenik Peningkatan biomassa, total lipid, serta efisiensi panen
Wang et al. (2022)	<i>Isochrysis galbana</i>	Marinobacter sp.	Regulasi ekspresi gen desaturase dan elongase, peningkatan fotosintesis	PUFA, termasuk EPA/DHA, meningkat signifikan; pertumbuhan lebih cepat
Kumsiri et al. (2020)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Nocardia sp. (Actinomycete)	Produksi IAA, siderofor, pelarut fosfat → stimulasi metabolisme lipid	Peningkatan kadar omega-3 (EPA/DHA) dan biomassa

2.6 Palm Oil Mill Effluent Sebagai Media Kultivasi

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair berwarna cokelat pekat yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. POME berbentuk suspensi koloid, terdiri dari air, minyak, partikel halus, dan beberapa mineral. POME umumnya berwarna cokelat pekat dikarenakan tingginya kandungan bahan organik. POME yang kaya akan zat organik ini perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan. POME memiliki nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), nitrogen amoniak, dan fosfat yang tinggi. Analisis POME telah dilakukan oleh Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tabel 2.3 Karakteristik POME PT TASK

Parameter	Raw POME (mg/L)	Sesudah Filtrasi(mg/L)
COD	13.640	13.030
BOD	7.196	6.797
Ammoniacal nitrogen (as N)	300	65,98
Phosphorus	452	397,12
Carbon	11.138	9.964

Beberapa parameter menunjukkan nilai yang melebihi standar baku mutu limbah sehingga mengharuskan POME perlu dilakukan pengolahan limbah terlebih

dahulu sebelum dapat dibuang ke lingkungan. Namun, kandungan nutrisi yang melimpah seperti nitrogen, fosfor, dan karbon organik dalam POME justru memberikan potensi besar bagi pemanfaatannya sebagai alternatif media kultur mikroalga (Ali & Hassan, 2024).

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair berwarna cokelat pekat yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. POME berbentuk suspensi koloid, terdiri dari air, minyak, partikel halus, dan beberapa mineral. POME umumnya berwarna cokelat pekat dikarenakan tingginya kandungan bahan organik. POME yang kaya akan zat organik ini perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan. POME memiliki nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), nitrogen amoniak, *Total Nitrogen* (TN) dan *Total Phosphorus* (TP) yang tinggi.

Sejumlah penelitian menunjukkan berbagai strain mikroalga mampu tumbuh dan berproduksi dengan baik dalam medium POME. *Chlorella vulgaris* menghasilkan biomassa kaya lipid hingga 21% dengan pengenceran 1:4, serta meningkatkan kandungan PUFA (Kumaran et al., 2023a) *Scenedesmus sp.* terbukti efisien dalam menghilangkan COD, nitrogen, dan fosfat sehingga cocok untuk integrasi produksi biomassa dan fitoremediasi (Mohd Udaiyappan et al., 2021). *Nannochloropsis sp.* yang dibudidayakan dalam bentuk sel terimobilisasi menghasilkan biomassa lebih tinggi dibanding sel bebas, sekaligus mampu menurunkan COD hingga 71% (Emparan et al., 2020a). Di sisi lain, *Chaetoceros affinis* dapat tumbuh pada media POME dengan produktivitas lipid mencapai 82% dari media kontrol, meskipun warna gelap POME menghambat penetrasi cahaya (Palanisamy et al., 2023) Penelitian lain juga melaporkan *Scenedesmus parvus* menghasilkan biomassa lebih tinggi dibanding *Coccomyxa dispar*, sekaligus meningkatkan efisiensi penghilangan BOD (Ooi et al., 2023).

Pemanfaatan POME sebagai media kultivasi mikroalga memberikan keuntungan ganda, yakni produksi biomassa bernilai tambah (biofuel, PUFA, protein) sekaligus remediasi limbah sawit melalui penurunan beban pencemar (COD, BOD, N, dan P). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *circular economy* karena mengubah limbah bermasalah menjadi sumber daya terbarukan. Namun, tantangan seperti variasi komposisi POME, adanya senyawa toksik, serta kebutuhan

optimasi parameter operasional (rasio pengenceran, intensitas cahaya, suplai CO₂, hingga ko-kultur dengan bakteri indigenous) masih memerlukan penelitian lebih lanjut agar penerapan skala industri lebih efisien.

Tabel 2.4 POME Sebagai Media Kultivasi

References	Mikroalga	Kondisi POME	Hasil Utama	Efisiensi Remediasi
Kumaran, 2023	<i>Chlorella vulgaris</i>	POME diencerkan 1:4	Lipid 21% (0,42 g/L); PUFA meningkat	COD & BOD menurun signifikan
Udaiyappan, 2021	<i>Scenedesmus</i> sp.	Anaerobik, fotoperioda 12:12	Pertumbuhan tinggi; NH ₄ ⁺ tidak sepenuhnya terserap	COD removal tertinggi pada 12:12
Emparan, 2020	<i>Nannochloropsis</i> sp. (immobilized)	10% POME	Biomassa 1,268 g/L (lebih tinggi dari sel bebas)	COD turun 71%
Palanisamy, 2021	<i>Chaetoceros affinis</i>	20% POME, 2000 lx	Lipid productivity 82% dari kontrol	Hambatan cahaya akibat warna gelap POME
Ooi, 2023	<i>Scenedesmus parvus</i> & <i>Coccomyxa dispar</i>	20% POME, 14 hari	Biomassa <i>S. parvus</i> lebih tinggi; potensi biofuel	BOD removal tinggi di mikсотrof

2.7 Penelitian Sebelumnya

Pemanfaatan *Nannochloropsis* untuk produksi *Eicosapentaenoic Acid* (EPA) telah banyak dikaji melalui berbagai pendekatan, seperti manipulasi nutrien, stres suhu, maupun rekayasa pencahayaan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa strategi tersebut efektif meningkatkan akumulasi EPA, namun hampir seluruh studi masih terbatas pada penggunaan media sintetis dalam sistem laboratorium tertutup, sehingga aplikasinya untuk skala industri masih terbatas. Pendekatan kultivasi dua tahap mulai banyak digunakan karena terbukti mampu mengoptimalkan fase pertumbuhan sekaligus akumulasi metabolit. Penelitian Sung et al. (2018) dan Chu et al. (2021), misalnya, melaporkan bahwa pengaturan panjang gelombang cahaya secara dinamis atau *pergeseran panjang gelombang* dapat meningkatkan sintesis EPA secara signifikan. Akan tetapi, penerapan strategi ini pada media berbasis limbah yang kompleks, seperti Palm Oil Mill Effluent (POME), hingga kini belum banyak dilaporkan. Dengan demikian, kesenjangan penelitian yang muncul adalah belum adanya kajian yang mengintegrasikan media POME dengan kombinasi strategi mutagenesis UV-C, pengaturan spektrum cahaya, serta ko-kultur bakteri untuk tidak hanya meningkatkan kandungan PUFA khususnya EPA

Tabel 2.5 Perbandingan biomassa, lipid, dan produktivitas EPA antara sistem monokultur dan ko-kultur mikroalga

Mikroalga	Media	Co-culture partner	Monoculture	Ko-kultur	Sistem Kultivasi	Reference
<i>Tetradesmu s obliquus</i> AARL G022	Wastewater 25%	Nocardia bhagyanarayana e NL-27	Biomass: 0.6 g L ⁻¹ ; Lipid: 21.9 ± 0.9%	Biomass: 1.2 ± 0.1 g L ⁻¹ ; Lipid: 20.8 ± 1.4%	500 mL flask	Kumsiri et al., 2018
<i>Scenedesm us obliquus</i>	BG11 medium	Diaphorobacter sp.	Biomass: 2.86 ± 0.13 g L ⁻¹ ; Lipid: 21.5 ± 0.58%	Biomass: 3.23 ± 0.10 g L ⁻¹ ; Lipid: 24.16 ± 0.77%	1 L PBR	Wang et al., 2015
<i>Nannochlor opsis oceanica</i>	Standard algal medium	Ruegeria mobilis	Biomass: 0.52 g L ⁻¹ ; EPA prod.: 3.51 ± 0.24 mg L ⁻¹	Biomass: 0.82 g L ⁻¹ ; EPA prod.: 8.71 ± 0.40 mg L ⁻¹	Flask culture	Liu et al., 2020

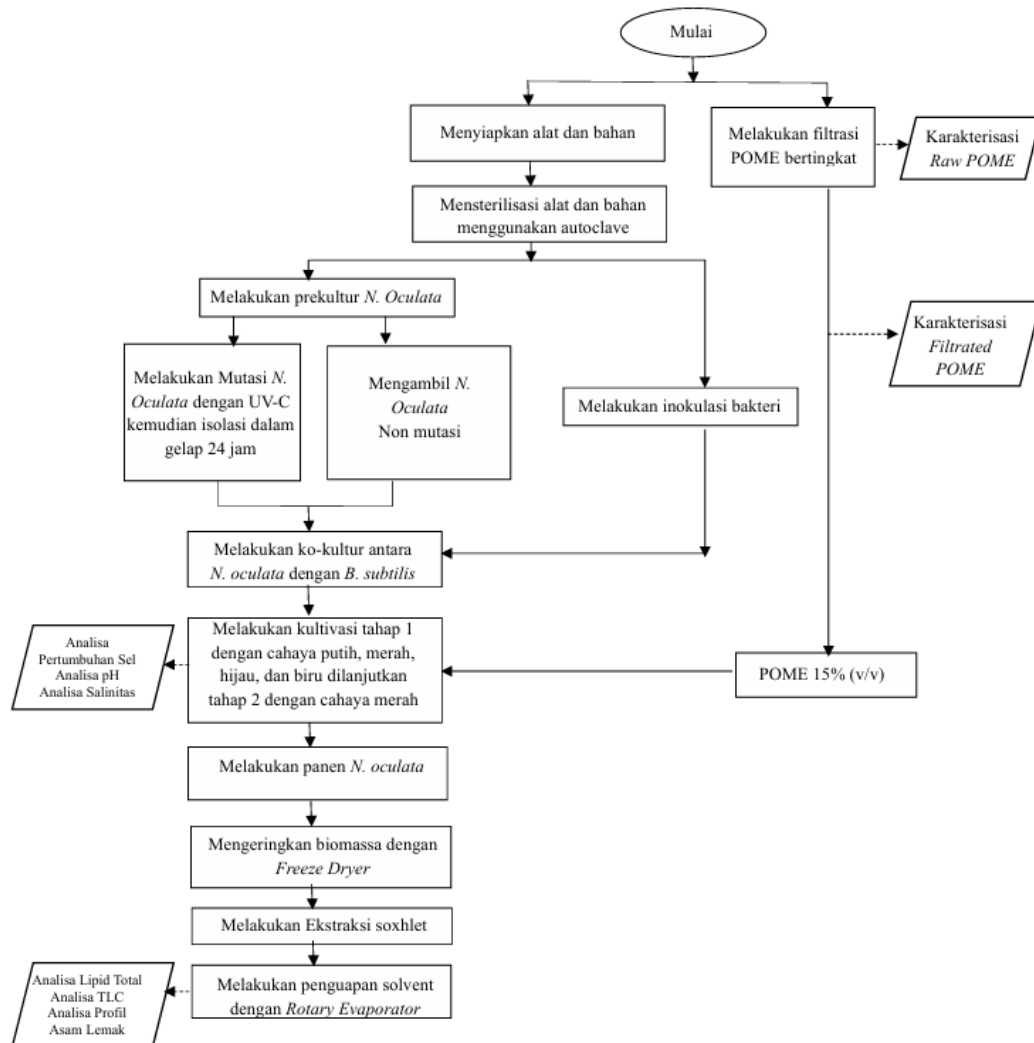
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	Air-lift PBR medium	Rhizobium sp.	Biomass: 1.67 g L ⁻¹ ; Lipid: 33.36%	Biomass: 1.99 g L ⁻¹ ; Lipid: 35.11%	Air-lift PBR	Do Nascimento et al., 2013
<i>Desmodesmus sp.</i> + <i>Monoraphidium sp.</i>	Mixotrophic medium	Microalgae–microalgae	Lipid prod.: 88–89 mg L ⁻¹ d ⁻¹	Lipid prod.: 93.99 mg L ⁻¹ d ⁻¹	20 L bioreactor	Zhao et al., 2019
<i>Chlorella protothecoides</i> + <i>Coccomyxa subellipsoidea</i>	C/N 32 medium	Microalgae–microalgae	Lipid prod.: 344–350 mg L ⁻¹ d ⁻¹	Lipid prod.: 1068.11 mg L ⁻¹ d ⁻¹	Flask	Li et al., 2024
<i>Tisochrysis lutea</i> + <i>Microchloropsis salina</i>	Photoautotrophic medium	Microalgae–microalgae	Biomass: 3.2 g L ⁻¹	Biomass: 4.2 ± 0.3 g L ⁻¹	Batch culture	Thurn et al., 2022

Tabel 2.6 Perbandingan Pengaruh Kultivasi Dua Tahap dan Manipulasi Stres terhadap Produksi Lipid dan Biomassa Mikroalga

Referensi	Strain	Tahap 1 (Produksi Biomassa)	Tahap 2 (Induksi Lipid)	Hasil Utama
Ra, 2016	Nannochloropsis spp.	Blue LED (465 nm)	Green LED (520 nm)	Biomassa tertinggi di blue; lipid 52–56% w/w di green
Jung et al., 2019	P. tricornutum, D. tertiolecta, I. galbana	Blue LED + nitrate sufficient	Green LED + nitrate depletion	Lipid 35–38% w/w di green LED
Kim et al., 2021	P. lutheri, C. vulgaris, P. cruentum	Blue LED + high nitrate	Green LED + low nitrate	Lipid hingga 37.8% DCW; UFA 65.2%; EPA tertinggi pada P. lutheri
Cheirsilp et al., 2022	Haematococcus sp.	Merah LED (660 nm)	Blue LED (450 nm)	Biomassa 2.55 g/L; lipid 30.8%; efisiensi removal nutrien tinggi
Parveen et al., 2024	Chlorella sorokiniana	Merah LED	Blue LED + stres salinitas	Biomassa 3.84 g/L; lipid 28.7% DCW

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan yang Digunakan

3.2.1 Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan bibit mikroalga *Nannochloropsis oculata* dan media kultur yang diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Situbondo, Jawa Timur. Nutrien Walne yang digunakan dalam penelitian mengikuti formula yang dikembangkan oleh BPAP Situbondo (2017). Larutan stok vitamin dibuat dengan melarutkan vitamin B1 sebanyak 100 mg/L dan vitamin B12

sebanyak 5 mg/L dalam akuades steril, kemudian ditambahkan ke dalam media kultur sebanyak 1 mL/L media sehingga konsentrasi akhir vitamin dalam media adalah 0,1 mg/L untuk vitamin B1 dan 0,005 mg/L untuk vitamin B12. Larutan stok nutrien Walne dibuat dengan melarutkan 100 g/L NaNO₃, 20 g/L NaH₂PO₄, 45 g/L Na₂EDTA, 33,6 g/L H₃BO₃, 0,36 g/L MnCl₂, dan 1,3 g/L FeCl₃ dalam akuades steril, kemudian ditambahkan ke dalam media kultur sebanyak 1 mL/L media sehingga konsentrasi akhir masing-masing komponen adalah 100 mg/L NaNO₃, 20 mg/L NaH₂PO₄, 45 mg/L Na₂EDTA, 33,6 mg/L H₃BO₃, 0,36 mg/L MnCl₂, dan 1,3 mg/L FeCl₃. Larutan stok trace metals dibuat dengan melarutkan 2,1 g/L ZnCl₂, 2,0 g/L CoCl₂·6H₂O, 0,9 g/L (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, dan 2,0 g/L CuSO₄·5H₂O dalam akuades steril, kemudian ditambahkan ke dalam media kultur sebanyak 1 mL/L media sehingga konsentrasi akhir masing-masing komponen adalah 2,1 mg/L ZnCl₂, 2,0 mg/L CoCl₂·6H₂O, 0,9 mg/L (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, dan 2,0 mg/L CuSO₄·5H₂O. POME (*Palm Oil Mill Effluent*) yang digunakan diperoleh dari PT TASK yang berlokasi di Kalimantan Tengah. Bakteri *Bacillus subtilis* didapatkan dari Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Spektrum Cahaya	: Merah (620-700nm), Biru-Hijau (450-570nm), Putih (kontrol)
Strain	: A = WT aksenik (kontrol) B = MT aksenik (kontrol) C = WT + <i>B. subtilis</i> D = MT + <i>B. subtilis</i>

3.3.2 Variabel Kontrol

Salinitas Air Laut	: 17 ppt
Suhu Operasi	: 29-32 °C
pH	: 7-9
Konsentrasi POME	: 15% (v/v)
Volume Kerja	: 500 mL

3.3.3 Variabel Terikat

Biomassa (g/L)

Yield Crude Lipid (%)

Total Lipid (%)

% PUFA Dalam Total Fatty Acid

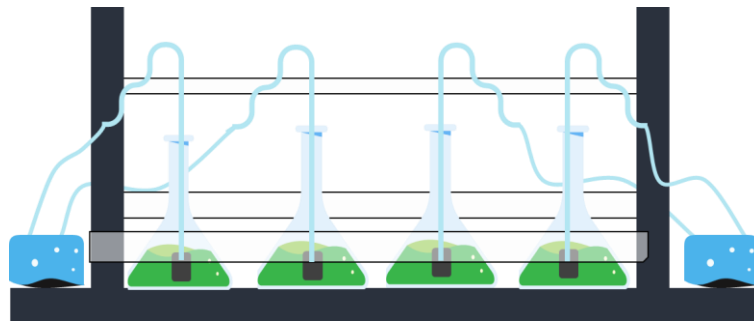
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pretreatment POME

POME yang diperoleh dari PT. TASK disterilisasi pada suhu 121 °C selama 15 menit, kemudian disimpan dalam wadah plastik pada suhu 4 °C. Selanjutnya, dilakukan pretreatment dengan filtrasi bertahap, di mana POME terlebih dahulu difiltrasi menggunakan filter cloth (25 µm) untuk memisahkan lumpur, kemudian difiltrasi dengan kertas saring Whatman Grade 1 (11 µm), dan terakhir dengan Whatman GF/C (1.2 µm). Sterilisasi juga dilakukan pada seluruh peralatan dan media untuk mencegah kontaminasi yang dapat mengurangi kemurnian mikroalga yang dikultur. Sebelum diautoklaf, seluruh peralatan dibungkus dengan *plastic wrap*. Peralatan yang disterilisasi meliputi Erlenmeyer 500 mL sebagai wadah medium kultur, cawan petri, corong kaca, gelas ukur 10 mL dan 100 mL, batu aerator, serta tabung reaksi (Ding et al. 2020 ; Kumaran et al., 2023b).

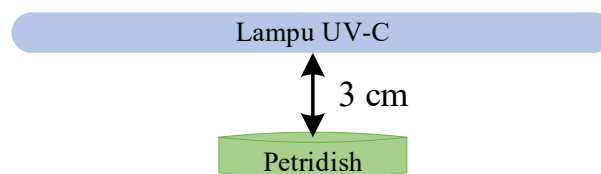
3.4.2 Prosedur Prekultur *Nannochloropsis oculata*

Tahapan prekultur dilakukan di dalam Erlenmeyer 500 mL yang disusun sesuai rangkaian alat pada **Gambar 3.2** Starter *Nannochloropsis oculata* diperbanyak secara bertahap melalui prekultur berseri dalam air laut steril dengan salinitas 30 ppt. Media prekultur diperkaya dengan nutrien Walne, vitamin, dan trace metals sesuai dosis yang telah ditetapkan. Sebelum digunakan, seluruh peralatan kultur, POME, air laut, dan akuades disterilisasi untuk meminimalkan risiko kontaminasi selama proses kultivasi. Kultur kemudian dilakukan di bawah pencahayaan lampu fluoresen putih secara kontinu dengan intensitas 4000 sampai 6000 lux hingga diperoleh biomassa starter yang siap digunakan untuk tahap percobaan utama (Widjaja et al., 2009, Murprayana et al., 2021, Zhang An'd & Kojima, 1998).



Gambar 3.2 Rangkaian Alat Kultur Mikroalga (Murprayana et al., 2021)

3.4.3 Prosedur Mutasi *Nannochloropsis oculata*



Gambar 3.3 Penyinaran sinar UV

Mutasi dilakukan dengan lampu UV-C *germicial* dengan perlakuan di dalam ruang yang gelapkan. Selama proses radiasi berlangsung, tutup dari cawan petri dibuka agar transmisi sinar UV-C tidak terhalang. Seperti pada **Gambar 3.3** cawan petri berisi strain *N. oculata* akan dilakukan mutasi dengan posisi lampu UV-C di atas cawan petri dengan jarak 3 cm selama 5 menit. Hasil mutasi akan ditinjau tingkat kematian dari setelah terlebih dahulu dihitung jumlah selnya dan setelah dilakukan penyinaran dihitung kembali untuk mengetahui berapa persen kematian setelah dimutasi. Penyinaran UV-C ini dilakukan selama 5 menit. Untuk mengetahui dosis dari UV-C, dilakukan pengecekan dengan mengukur intensitas cahaya dari lampu UV-C menggunakan lux meter. Untuk mengetahui jumlah sel yang masih bertahan hidup dari proses radiasi ini akan dilakukan analisis perhitungan jumlah sel dengan menggunakan *counting chamber*.

3.4.4 Prosedur Ko-kultur

Bakteri *Bacillus subtilis* diremajakan pada medium padat Agar, kemudian dikultur dalam Nutrient Broth pada suhu 28–30°C dengan homogenisasi dalam 180 rpm hingga mencapai fase pertumbuhan logaritmik. Kultur *B. subtilis* yang diperoleh kemudian dipanen dengan cara disentrifugasi pada kecepatan 4.000 rpm selama 10 menit. Pelet yang terbentuk dicuci sebanyak dua kali menggunakan air laut steril untuk menghilangkan sisa nutrisi dari media pertumbuhan.

Suspensi *B. subtilis* disiapkan dengan cara mengencerkan kultur stok menggunakan saline steril hingga diperoleh jumlah sel inokulum sesuai target. Penentuan volume penambahan dilakukan menggunakan metode penghitungan

$$Volume\ Bakteri = \frac{Cb_{target} \times V_{reaktor}}{Cb_{inokulum}}$$

Ko-kultur dilakukan dengan menambahkan suspensi *B. subtilis* ke dalam kultur alga dengan rasiomikroalga: bakteri 1:3 (sel/sel) dengan volume kerja 500 mL (Borges Lopes et al., 2025; Esteves et al., 2025; Wang et al., 2022b).

3.4.5 Prosedur Kultivasi Utama dengan Berbagai Strategi

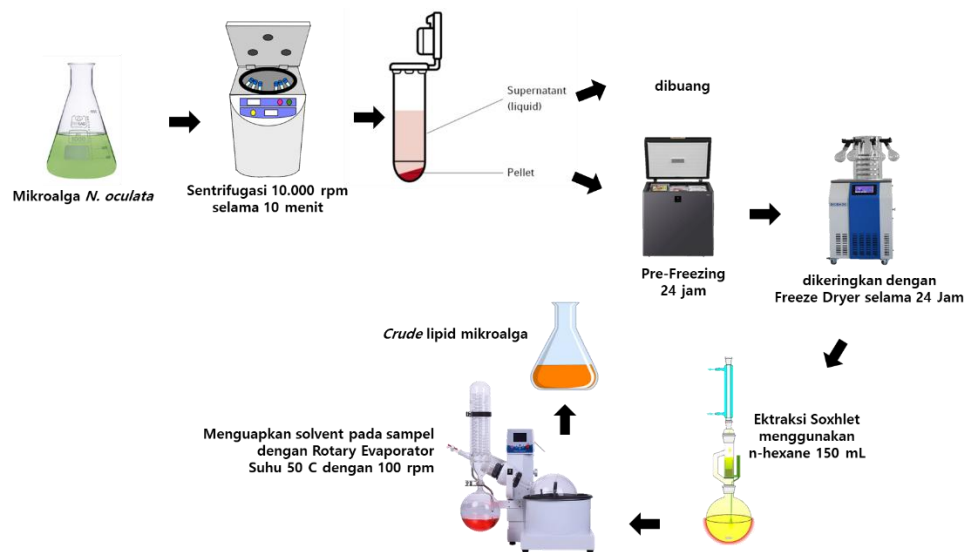
Menurut Resdi et al. (2021) dan Kumaran et al. (2023), kultivasi *Nannochloropsis oculata* dalam medium POME dapat dilakukan pada media yang telah di pretreatment dan disterilisasi. Dalam penelitian ini kultivasi dilakukan pada 500 mL media replete berbasis POME 15% (v/v), salinitas diatur pada 17 ppt, pH dijaga dalam rentang 7–9, dan kultur diinkubasi pada suhu 30–32 °C dengan aerasi udara 2.5% CO₂ (v/v).

Yu et al. (2022) memaparkan bahwa, pencahayaan berperan penting dalam regulasi metabolisme lipid mikroalga. Oleh karena itu, pencahayaan diatur dengan variasi spektrum sebagai variabel bebas, yaitu merah (620–700 nm), biru-hijau (450-570 nm), dan putih (kontrol). Inokulasi dilakukan menggunakan *Nannochloropsis oculata tipe wild type* maupun *UV-C mutated*. Menurut (Ferrer-Ledo et al., 2025), kombinasi cahaya dan suhu memengaruhi alokasi EPA antarkelas lipid.

3.4.6 Prosedur Penentuan Lipid *N. oculata*

Penentuan lipid *N. Oculata* dilakukan pada awal fase stasioner, diawali dengan pemisahan biomassa dari media kultur melalui sentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit pada suhu 30 °C hingga diperoleh endapan basah *Nannochloropsis oculata*, dan bagian supernatan dibuang (Widjaja et al. 2009). Untuk mendapatkan *Lyophilized biomass*, endapan basah dilakukan pre-freezing selama 24 jam, kemudian dikeringkan dengan *freeze dryer* selama satu hari. *Lyophilized biomass* diukur untuk mendapatkan total biomassa. Biomassa kemudian ditumbuk dengan mortar sebelum melakukan ekstraksi menggunakan metode Soxhlet dengan pelarut n-

heksana. Volume pelarut yang dibutuhkan sebanyak 150 mL, di mana ekstraksi dilakukan hingga pelarut jenuh atau tidak ada komponen yang dapat diekstraksi kembali yang ditandai hingga pelarut menjadi bening Widjaja et al. (2009). Hasil ekstraksi selanjutnya dipisahkan dari pelarut melalui rotary evaporator pada suhu 45 °C dengan 100 rpm crude lipid yang diperoleh dari hasil rotary evaporator.



Gambar 3.4 Sketsa Prosedur Panen, Pengeringan, Ekstraksi, dan Penguapan Pelarut Lipid Kasar *N. Oculata*

Produksi biomassa dapat diukur berdasarkan berat kering yang diperoleh untuk setiap variabel yang dihitung dalam g L^{-1} , dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas Biomassa} = \frac{N_y - N_x}{t_y - t_x}$$

Di mana $N_y - N_x$ merupakan selisih konsentrasi biomassa dibagi dengan T=Waktu (hari)

Sebelum menghitung produktivitas lipid, perlu diketahui kadar lipid (%) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lipid (\%)} = \frac{\text{Berat Lipid (gr)}}{\text{Berat Biomassa Mikroalga (gr)}} \times 100\%$$

Kemudian produktivitas lipid dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas Lipid} = \text{Produktivitas biomassa harian} \times \text{Kadar Lipid}$$

3.4.7 Prosedur Transesterifikasi

Sebanyak 100 mg oil mikroalga ditimbang ke dalam vial ditambahkan 2 mL n-heptana sebagai pelarut nonpolar, kemudian dihomogenkan dan ditambahkan 0,2 mL larutan KOH 2M, campuran dihomogenkan selama 30 detik untuk memungkinkan pembentukan *Fatty Acid Methyl Esters* (FAME). Untuk sampel dengan massa terbatas prosedur yang sama diterapkan dengan penyesuaian volume pelarut dan larutan KOH-metanol secara proporsional terhadap massa sampel guna mempertahankan rasio reagen yang setara.

Setelah proses reaksi selesai, campuran dibiarkan mengendap hingga terbentuk dua fase. Lapisan atas yang mengandung n-heptana dan FAME dipisahkan secara hati-hati melalui dekantasi. Fase heptana kemudian disaring menggunakan syringe filter berpori 0,2 μm untuk menghilangkan partikel tersuspensi sebelum dianalisis. Sebanyak 1 μL larutan FAME dalam heptana diinjeksikan ke dalam sistem Gas Chromatography dengan detektor *Flame Ionization Detector* (GC-FID). Pemisahan dilakukan menggunakan kolom kapiler DB-5HT sesuai dengan kondisi operasional yang ditetapkan.

3.5 Prosedur Analisis

3.5.1 Prosedur Analisis Intensitas Cahaya

Menurut (Djarot et al., 2024) pengukuran intensitas cahaya dilakukan menggunakan lux meter yang dilengkapi sensor peka dan linier terhadap cahaya. Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengarahkan sensor lumen ke sumber cahaya pada rangkaian kultur, kemudian tombol daya dinyalakan dan rentang cahaya diatur pada layar lux meter. Rentang pengukuran yang digunakan meliputi A = 0–1999, B = 2000–19.990, dan C = 20.000–50.000 lux.

3.5.2 Prosedur Analisis Salinitas

Menurut Chen et al. (2018), pengukuran salinitas dilakukan menggunakan refraktometer optik berbasis *total internal reflection* (TIR). Sampel air laut diteteskan pada permukaan prisma refraktometer, kemudian sensor optik diarahkan pada cahaya laser dengan sudut tertentu. Pantulan cahaya yang dihasilkan ditangkap oleh *CCD detector* untuk menentukan sudut kritis. Nilai indeks bias yang diperoleh secara otomatis dikonversi menjadi salinitas melalui persamaan kuantitatif,

kemudian dikoreksi terhadap pengaruh suhu dengan koefisien koreksi standar.

3.5.3 Prosedur Analisis Perhitungan Jumlah Sel *Nannochloropsis oculata*

Menurut Wongsansilp et al. (2019), sebelum perhitungan jumlah sel dilakukan, sampel mikroalga terlebih dahulu diencerkan untuk memudahkan pengamatan dengan metode *counting chamber*. Sebanyak 1 mL sampel diambil menggunakan mikropipet, kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume mencapai 10 mL (pengenceran 10 kali). Larutan hasil pengenceran diteteskan pada hemacytometer menggunakan pipet tetes, lalu ditutup dengan kaca penutup. Apabila jumlah sel yang terhitung melebihi 10 sel pada kotak kecil atau 100 sel pada kotak besar, pengenceran lebih lanjut dilakukan. *Hemacytometer* kemudian ditempatkan pada meja objek mikroskop, dan jumlah sel dihitung pada lima titik dari 16 kotak kecil. Nilai rata-rata jumlah sel per mL dihitung dengan jumlah sel dari setiap titik kemudian dirata-ratakan. jumlah sel/mL dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Jumlah} \frac{\text{sel}}{\text{mL}} = \frac{\text{jumlah sel tiap kotak}}{0,04 \text{ mm}^2 \times 0,1 \text{ mm}} \times \frac{1000}{1} \times \text{faktor pengenceran}$$

Untuk menghitung *laju pertumbuhan spesifik* (μ) saat log phase, dapat digunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$\mu = \frac{(\ln x_2 - \ln x_1)}{(t_2 - t_1)}$$

Di mana x_2 merupakan konsentrasi sel akhir masa log phase, x_1 merupakan konsentrasi awal dimulainya log phase, t_2 merupakan waktu saat akhir log phase, dan t_1 merupakan waktu saat awal dimulainya log phase.

3.5.4 Prosedur Analisis Fragmen DNA dengan Elektroforesis

Analisis DNA pada *Nannochloropsis oculata* setelah mutasi menggunakan sinar UV-C dan proses isolasi satu hari dilakukan mengacu pada Geneaid, (2020) serta Kazim et al. (2014) dengan beberapa modifikasi. Analisis ini mencakup tiga tahap utama, yaitu ekstraksi DNA, amplifikasi DNA dengan PCR, dan analisis hasil PCR melalui elektroforesis gel agarosa.

Ekstraksi DNA dilakukan menggunakan *Genomic DNA Mini Kit* (Geneaid Biotech Ltd, Taiwan), yang terdiri atas buffer GP1, GPX1, GP3 (dengan penambahan isopropanol), buffer W1, buffer pencucian (mengandung etanol),

buffer elusi (dengan pra-pemanasan pada 60 °C), RNase A, filter kolom, kolom GD, dan tabung koleksi 2 mL. Proses isolasi DNA terdiri dari lima tahap: disosiasi sel, lisis, pengikatan DNA, pencucian, dan elusi. Sampel mikroalga disentrifugasi untuk memisahkan sel, kemudian dicampur dengan buffer GP1 dan RNase A, diinkubasi pada 60 °C selama 10 menit, ditambahkan buffer GP2, lalu diinkubasi 3 menit pada suhu dingin. Campuran dipindahkan ke filter kolom dan disentrifugasi, supernatan diambil, kemudian buffer GP3 ditambahkan. Larutan dimasukkan ke kolom GD, disentrifugasi, dan supernatan dibuang. Tahap pencucian dilakukan dengan buffer W1 dan buffer pencucian, sedangkan tahap elusi dilakukan dengan buffer elusi yang dipindahkan ke tabung mikrosentrifus 1,5 mL.

Kuantitas DNA dianalisis menggunakan *Nanodrop 2000* (Thermo Fisher Scientific, USA). Konsentrasi DNA ditentukan pada panjang gelombang 260 nm (A260), sedangkan kemurnian DNA dari kontaminan protein, polifenol, dan polisakarida ditentukan melalui rasio A260/A280 dan A260/A230. DNA dianggap murni bila rasio A260/A280 mendekati 1,8 dan rasio A260/A230 berada pada kisaran 1,8–2,2. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk pengenceran DNA sebelum PCR.

Amplifikasi DNA dilakukan menggunakan mesin PCR (*Bio-Rad, USA*) berdasarkan metode Othman (2014). Reaksi PCR dilakukan dengan volume total 40 µL yang terdiri atas 20 µL *MyTaq HS Merah Mix 2X* (Meridian Bioscience, USA), 0,8 µL primer forward dan reverse (10 µM), 16,4 µL dH₂O, dan 2 µL DNA template (92 ng/µL). Siklus PCR dimulai dengan denaturasi awal pada 95 °C selama 2 menit, diikuti 35 siklus: denaturasi pada 95 °C selama 15 detik, annealing pada 54 °C selama 15 detik, dan ekstensi pada 72 °C selama 1 menit. Siklus diakhiri dengan ekstensi akhir pada 72 °C selama 5 menit. Produk PCR dianalisis dengan elektroforesis pada gel agarosa 1% dalam buffer TAE 1x selama 55 menit pada 100 V. Setelah elektroforesis, gel diwarnai dengan *Diamond™ Nucleic Acid Dye* dan pita DNA didokumentasikan menggunakan sistem dokumentasi gel.

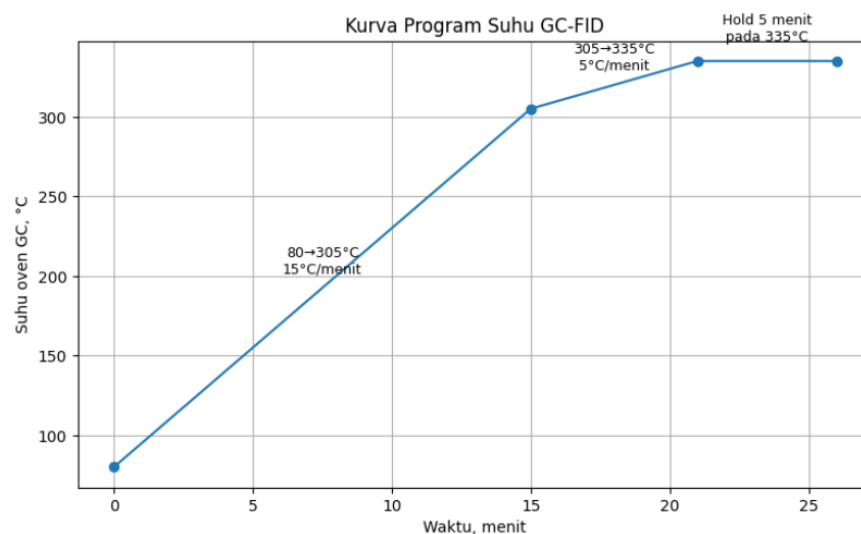
3.5.5 Analisis *Thin Layer Chromatography*

Proses Thin Layer Chromatography (TLC) diawali dengan meneteskan sampel pada plat TLC menggunakan pipa kapiler. Kemudian, plat dimasukkan ke dalam beaker berisi fase gerak, yang terdiri atas campuran n-heksana, etil asetat,

dan asam asetat dengan perbandingan volume 90:10:1 (v/v). Fase gerak akan bergerak naik melalui plat TLC secara kapiler dan selama proses ini, ketinggian pelarut dijaga agar tidak melewati batas atas plat. Setelah fase gerak mencapai titik yang diinginkan, plat dikeluarkan dan dikeringkan. Setelah kering, hasil pemisahan diamati dengan menguapkan iodine untuk hasil lebih jelas. (Aparamarta et al., 2016)

3.5.6 Prosedur Analisis Lipid Total dengan GC-FID

Kandungan lipid yang terdiri dari asam lemak bebas (FFA), monogliserida (MAG), digliserida (DAG), dan trigliserida (TAG) dalam *lipid kasar* mikroalga akan dianalisis dengan menggunakan metode *Gas Chromatography*. Keempat komponen tersebut terdeteksi pada waktu retensi yang berbeda, yaitu kurang dari 10 menit untuk FFA, antara 10 hingga 15 menit untuk MAG, antara 15 hingga 20 menit untuk DAG, dan lebih dari 20 menit untuk TAG. Analisis ini dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan Shimadzu GC-2010 gas chromatography (Kyoto, Japan) yang dilengkapi dengan *flame ionization detector*. Nantinya proses separasi akan dilakukan dengan DB-5HT (5%-phenyl)-methylpolysiloxane non-polar *column* (15 m x 0,32 mm i.d. ; dengan ketebalan film 0,1 μ m). Temperatur pada injektor dan detektor diatur pada suhu 370°C. Temperatur kolom dimulai pada 80°C meningkat menuju 305°C dengan laju 15°C/menit, kemudian menuju 335°C dengan laju 5°C/menit dan dijaga pada suhu 335°C selama 5 menit. Selanjutnya suhu kolom dinaikkan pada suhu 365°C dengan laju 15°C/menit. *Rasio split* 1 : 50 menggunakan nitrogen sebagai *gas pembawa* dengan laju linier 30 cm/s pada 80°C. Sampel sebanyak 20 mg ini nantinya akan dilarutkan dalam 1 mL etil asetat dan 1 μ L sampel diambil dan diinjeksikan ke dalam GC (Aparamarta et al., 2016).



Gambar 3.5 Kurva Temperatur Program GC FID

3.5.7 Prosedur Analisis Asam Lemak dengan GC-FID

Analisis komposisi asam lemak dalam bentuk fatty acid methyl esters (FAME) dilakukan menggunakan gas chromatography (GC) Shimadzu GC-2010 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Jepang) yang dilengkapi dengan flame ionization detector (FID). Pemisahan komponen FAME dilakukan menggunakan kolom kapiler DB-5HT. Karena keterbatasan metode dalam mengidentifikasi masing-masing jenis asam lemak tak jenuh ganda atau polyunsaturated fatty acids (PUFA) secara individual, kandungan PUFA dalam penelitian ini dilaporkan sebagai PUFA total, yaitu jumlah keseluruhan PUFA yang teridentifikasi dalam profil FAME.

Suhu injektor diatur pada 250°C dan suhu detektor FID pada 260°C. Program temperatur oven dimulai pada 60°C dan dipertahankan selama 2 menit, kemudian dinaikkan dengan laju 10°C/menit hingga mencapai 200°C tanpa waktu penahanan. Selanjutnya, suhu dinaikkan kembali dengan laju 5°C/menit hingga mencapai suhu akhir 300°C dan ditahan selama 7 menit.

Injeksi dilakukan dalam mode split dengan rasio split 46:1. Volume injeksi sebesar 1 µL larutan FAME dalam n-heptana. Supelco 37 Component FAME Mix digunakan sebagai standar eksternal untuk identifikasi dan kalibrasi puncak asam lemak berdasarkan waktu retensi.

3.5.8 Prosedur Analisis Asam Lemak dengan GC-MS

Sebagian sampel FAME dianalisis menggunakan GC-MS sebagai verifikasi

dengan detektor massa. Analisis asam lemak dengan Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) dilakukan sebagai analisis konfirmasi terhadap senyawa FAME yang diperoleh dari proses esterifikasi. Sampel terlebih dahulu disaring menggunakan syringe filter PTFE berukuran pori 0,22 μm untuk menghilangkan partikel tersuspensi yang dapat mengganggu sistem injeksi dan kolom. Filtrat kemudian diencerkan sebanyak 20 kali menggunakan n-heksana. Larutan hasil pengenceran dipindahkan ke dalam vial GC-MS dan selanjutnya dianalisis menggunakan instrumen GC TRACE 1610 yang terhubung dengan detektor massa ISQ 7610.

Analisis kromatografi dilakukan menggunakan kolom TG-5MS dengan panjang 30 m, diameter dalam 0,250 mm, dan ketebalan film 0,25 μm . Sampel diinjeksikan pada suhu inlet 220 °C menggunakan mode split dengan rasio split 10:1. Laju alir gas pembawa diatur sebesar 1,4 mL/menit dalam mode flow control. Program suhu oven dimulai pada 80 °C dan dipertahankan selama 3 menit. Suhu kemudian dinaikkan hingga 160 °C dengan laju 25 °C/menit, dilanjutkan hingga 210 °C dengan laju 2 °C/menit, kemudian dinaikkan kembali hingga 250 °C dengan laju 30 °C/menit dan dipertahankan pada suhu tersebut hingga waktu analisis 42,533 menit.

Deteksi massa dilakukan menggunakan ionisasi elektron, EI, dalam mode ion positif. Suhu transfer line diatur pada 280 °C dan suhu sumber ion pada 230 °C. Tegangan filamen digunakan sebesar 70 eV dengan emission current 50 μA . Spektrum massa direkam pada rentang m/z 50 sampai 550 amu. n-Heksana dan metanol digunakan sebagai pelarut pencuci. Identifikasi senyawa dilakukan dengan membandingkan spektrum massa dan waktu retensi hasil analisis dengan pustaka spektrum yang tersedia pada perangkat lunak instrumen.

3.5.9 Kuantifikasi Ekspresi Genetik *Nannochloropsis oculata*

Kuantifikasi ekspresi genetik dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu isolasi RNA total, sintesis cDNA, dan analisis ekspresi gen menggunakan quantitative PCR (qPCR). Sampel yang digunakan berupa suspensi alga *Nannochloropsis oculata* dengan jumlah sel 5×10^6 sel untuk setiap perlakuan. Suspensi alga terlebih dahulu disentrifugasi untuk memperoleh pelet sel, kemudian supernatan dibuang dan pelet yang diperoleh digunakan sebagai bahan awal

ekstraksi RNA. Ekstraksi RNA total dilakukan menggunakan GENEzol™ Reagent sesuai prosedur pabrikan dengan beberapa penyesuaian pada sampel mikroalga. Pelet sel dihomogenkan dengan 1 mL GENEzol™ Reagent, kemudian diinkubasi selama 5 menit pada suhu ruang. Setelah itu, sebanyak 200 µL kloroform ditambahkan ke dalam campuran, dikocok kuat, dan disentrifugasi pada $12.000 \times g$ selama 15 menit pada suhu 4 °C untuk memisahkan fase. Lapisan atas yang mengandung RNA dipindahkan ke tabung baru, kemudian dicampur dengan isopropanol dalam volume yang sama untuk mengendapkan RNA. Campuran disentrifugasi kembali selama 10 menit, supernatan dibuang, dan pelet RNA dicuci menggunakan etanol 70%. Setelah dikeringkan, RNA dilarutkan dalam 20 sampai 50 µL air bebas RNase dan diinkubasi pada suhu 55 sampai 60 °C selama 10 menit sebelum disimpan pada suhu minus 70 °C.

Konsentrasi dan kemurnian RNA dianalisis menggunakan spektrofotometer mikrovolume NanoDrop. Sebanyak 2 µL RNA dari setiap sampel digunakan untuk menentukan konsentrasi RNA total. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, volume RNA yang digunakan untuk sintesis cDNA disesuaikan dengan konsentrasi masing-masing sampel. Sintesis cDNA dilakukan menggunakan kit sintesis cDNA sesuai protokol pabrikan. Reaksi sintesis cDNA disiapkan dalam volume total 20 µL yang terdiri atas RNA total, oligo(dT), dNTP mix, buffer reaksi, RNase inhibitor, reverse transcriptase, dan air bebas RNase. Reaksi transkripsi balik dilakukan sesuai kondisi yang direkomendasikan oleh pabrikan, kemudian cDNA hasil sintesis disimpan pada suhu minus 20 °C hingga digunakan untuk analisis qPCR.

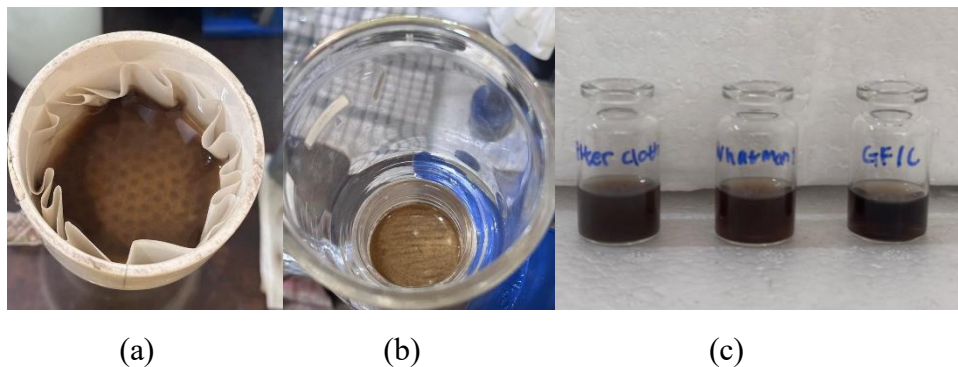
Primer yang digunakan dalam analisis ekspresi gen terdiri atas primer 18S sebagai gen referensi internal, serta primer aceE, GK, dan ACOX sebagai gen target yang berkaitan dengan metabolisme karbon dan lipid. Urutan primer yang digunakan adalah sebagai berikut: 18S F, AGG GAC CGT ACT ATT GTT GG; 18S R, AAT GTA TTC AGG GCC TAA GC; aceE F, CCT CCC AGG ATG TGC CC; aceE R, CAG TTC CAG TTC CCA GTT TCG; GK F, TAA AGT TGG GTT TGG GTG; GK R, GCA CGA ACC ATC CAA AG; ACOX F, GTT CTT CCT CCA AAG GCA CAT TC; dan ACOX R, TCA GGG GAT GGT GTT CTT GC (D. Wu et al., 2022a).

Analisis ekspresi gen dilakukan menggunakan metode qPCR dengan reaksi dalam volume total 20 μ L. Campuran reaksi terdiri atas master mix qPCR, primer forward, primer reverse, cDNA hasil sintesis, dan air bebas nuklease. Amplifikasi dilakukan dengan tahapan denaturasi awal, diikuti siklus denaturasi, penempelan primer, dan ekstensi. Analisis melting curve dilakukan setelah proses amplifikasi untuk memastikan spesifisitas produk qPCR. Tingkat ekspresi relatif gen target dianalisis menggunakan metode $2^{-\Delta\Delta C_t}$, dengan gen 18S rRNA sebagai gen referensi internal. (Damgaard & Treebak, 2022; Mohamed Sedek et al., 2023)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik POME Sebagai Media Kultivasi *Nannochloropsis oculata*

POME merupakan limbah cair dari proses pengolahan kelapa sawit utamanya tahap sterilisasi tandan buah (Ziaei & Szulczyk, 2022). Secara umum, POME memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan sering kali tidak memenuhi standar baku mutu limbah cair, sehingga diperlukan proses pengolahan sebelum dimanfaatkan atau dibuang ke lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan POME sebagai media kultivasi mikroalga, yang tidak hanya membantu menurunkan kandungan polutan tetapi juga menghasilkan biomassa bernilai tambah (Baihaqi & Diski Pratama, 2023; Fernando et al., 2021).



Gambar 4.1 Perbandingan POME (Palm Oil Mill Effluent) pada setiap proses filtrasi: (a) Whatman Grade 1 (b) Whatman GF/C (c) Perbandingan setiap grade filtrasi

Pada penelitian ini, POME digunakan sebagai media kultur bagi mikroalga *Nannochloropsis oculata* setelah melalui tahap pretreatment berupa filtrasi bertingkat. Proses filtrasi dilakukan secara berurutan menggunakan kain saring (*filter cloth*) ukuran 25 μm , kertas saring Whatman Grade 1 (11 μm), dan diakhiri dengan penyaringan menggunakan Whatman GF/C (1,2 μm). Tahap filtrasi ini bertujuan untuk menghilangkan lumpur tersuspensi serta mengurangi intensitas warna gelap pada POME (Ding et al., 2020b; Emparan et al., 2020b; Resdi et al., 2021b). Warna gelap tersebut umumnya berasal dari kandungan lignin, salah satu komponen penyusun biomassa tanaman yang memberikan warna pekat pada limbah. Selain lignin, POME juga mengandung berbagai senyawa organik lain

seperti selulosa, hemiselulosa, serta gula sederhana seperti heksosa dan pentosa (Low et al., 2021). Proses filtrasi menjadi tahap penting karena mikroalga memerlukan cahaya untuk melakukan fotosintesis. Warna gelap pada POME dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam medium, sehingga menurunkan intensitas cahaya yang diterima oleh sel mikroalga dan berpotensi menghambat proses fotosintesis. Selain itu, lignin juga dilaporkan dapat memberikan efek penghambatan terhadap pertumbuhan mikroalga secara langsung (Kanagesan et al., 2025). Oleh karena itu, penghilangan sebagian komponen tersuspensi dan senyawa penyebab warna melalui proses filtrasi dapat meningkatkan kejernihan medium serta mendukung kondisi kultivasi yang lebih optimal.

Tabel 4.1 Perbandingan kuantitatif komposisi nutrisi antara POME dan media Walne

Parameter	Raw POME (mg/L)	Sesudah Filtrasi(mg/L)	Walne (mg/L)
COD	13.640	13.030	
BOD	7.196	6.797	
Ammoniacal nitrogen (as N)	300	65,98	16.5
Phosphorus	452	397,12	5.2
Carbon	11.138	9.964	

POME sebagai media kultivasi mikroalga memiliki potensi ganda, yaitu sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga sekaligus sebagai metode pengolahan limbah cair yang ramah lingkungan. Reduksi parameter karakteristik yang tinggi pada penelitian ini kemungkinan merupakan akibat dari perbedaan persepsi dari perbedaan metode analisis, efektivitas filtrasi bertahap dalam mengurangi padatan, serta variasi komposisi awal POME. Sebagai perbandingan penurunan karakteristik COD, BOD, nitrogen, dan fosfat setelah proses pretreatment menunjukkan bahwa POME masih layak menjadi media tumbuh mikroalga karena karakteristiknya yang lebih tinggi dari walne.

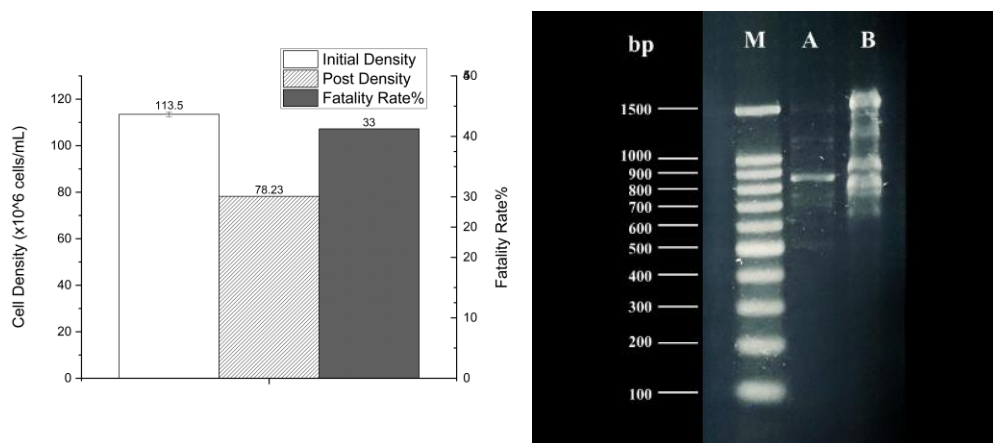
4.2 Mutagenesis *Nannochloropsis oculata* dengan Radiasi UV-C

Paparan radiasi UV-C pada *Nannochloropsis oculata* menyebabkan penurunan viabilitas sel yang terukur, di mana sekitar seperempat populasi sel tidak mampu

bertahan setelah radiasi (Soedarmodjo et al., 2021). Tingkat mortalitas ini menunjukkan bahwa dosis mutagen yang diberikan cukup efektif, yaitu mampu menghasilkan kerusakan DNA yang memicu variasi genetik namun tetap mempertahankan sebagian besar sel dalam kondisi hidup. Radiasi UV-C dengan panjang gelombang sekitar 254 nm memiliki energi foton yang lebih tinggi dibandingkan UV-A atau UV-B, sehingga dapat memicu pembentukan dimer timin serta gangguan fotokimia lainnya yang menghambat proses replikasi dan perbaikan DNA. Mekanisme tersebut menjelaskan terjadinya penurunan tingkat kelangsungan hidup sel segera setelah proses iradiasi (Soedarmodjo & Widjaja, 2021a).

Setelah inkubasi 24 jam dalam kondisi gelap, populasi sel yang masih hidup kembali menunjukkan aktivitas fisiologis normal. Hal ini mengindikasikan bahwa sel mikroalga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kerusakan DNA yang bersifat subletal melalui mekanisme perbaikan internal (Li et al., 2020). Kemampuan pemulihan ini juga menunjukkan salah satu keunggulan metode mutagenesis berbasis UV dibandingkan mutagen kimia, yang sering meninggalkan residu toksik dan kurang sesuai untuk strain yang akan dimanfaatkan dalam bidang pangan, pakan, maupun produksi asam lemak omega-3. Oleh karena itu, penggunaan UV-C dianggap sebagai metode yang relatif aman dan efisien untuk menghasilkan keragaman genetik pada mikroalga tanpa menimbulkan risiko kontaminasi kimia (K. Sharma & Schenk, 2015b).

Pengaruh radiasi UV-C tidak hanya terlihat pada tingkat kelangsungan hidup sel, tetapi juga pada perubahan band pada ekstraksi RNA. Analisis dengan kit ekstraksi RNA menunjukkan adanya polimorfisme genetik antara strain yang diperlakukan dengan UV-C dan strain tipe liar (*tipe liar*) (Soedarmodjo et al., 2021). Pada Gambar 1 menunjukkan perbandingan bahwa strain hasil mutasi menampilkan perbedaan fragmen DNA, dimana terdapat tambahan dengan ukuran sekitar 600, 700, 800, dan 900 pasangan basa, serta beberapa band lain pada rentang 1000–1500 pasangan basa. Perbedaan band ini menunjukkan bahwa paparan UV-C dengan dosis 37 mJ/cm² mampu memicu variasi genetik yang dapat terdeteksi.



Gambar 4.2 (a) Perbandingan Pertumbuhan *N. oculata* Mutasi dan Alami dalam Media POME (b) Profil DNA RAPD dari Mikroalga *N. oculata* (M) Penanda DNA, (A) DNA *N. oculata* tipe liar, (B) DNA *N. oculata* Mutasi UV-C

Hasil serupa juga dilaporkan oleh Wen et al. (2025) pada *Schizochytrium sp.*, di mana mutagenesis menggunakan UV menghasilkan substitusi nukleotida tunggal serta mutasi tipe insersi yang memengaruhi jalur biosintesis *Polyunsaturated Fatty Acids* (PUFA) (Wen et al., 2025). Selain itu, percobaan mutagenesis UV-C dilakukan beberapa kali pengulangan dan menunjukkan respons konsisten, terutama pada parameter laju pertumbuhan, kandungan lipid. Dalam penelitian ini, tingkat mortalitas sekitar 25–30% selama paparan UV-C digunakan sebagai batas seleksi untuk memperoleh populasi mutan yang dapat direproduksi secara konsisten. Metode mutagenesis UV-C yang diterapkan terbukti memberikan hasil optimal, di mana strain yang diperoleh menunjukkan peningkatan pertumbuhan dan akumulasi lipid pada kisaran tingkat kematian tersebut. (K. Sharma & Schenk, 2015c; Soedarmodjo & Widjaja, 2021b).

Tabel 4.2 Profil regulasi ekspresi gen aceE, GK, dan ACOX pada strain mutated *Nannochloropsis oculata* dibandingkan *wild type* berdasarkan analisis qPCR

Gene	KEGG Pathway	log2FoldChange	Regulation	Implikasi Metabolik
aceE	Pyruvate metabolism, carbon flux to acetyl-CoA	-3.49 ± 1.56	Downregulated	Perubahan aliran karbon menuju acetyl-CoA
GK	Triglyceride synthesis, Kennedy pathway	9.03 ± 5.04	Upregulated	Mendukung pembentukan glycerol-3-phosphate untuk sintesis TAG
ACOX	Fatty acid β-oxidation	-0.80 ± 0.19	Downregulated	Menekan degradasi fatty acid,

Validasi ekspresi gen dilakukan untuk mengevaluasi perubahan regulasi molekuler pada strain mutated (MT) dibandingkan wild type (WT). Gen yang dianalisis adalah aceE, GK, dan ACOX, dengan 18S sebagai reference gene. Pemilihan gen tersebut mengacu pada keterlibatannya dalam metabolisme karbon dan lipid, yaitu aceE sebagai gen yang berkaitan dengan aliran karbon menuju acetyl-CoA, GK dalam Kennedy pathway untuk sintesis TAG, dan ACOX dalam degradasi asam lemak melalui β -oxidation. Primer yang digunakan untuk 18S, aceE, GK, dan ACOX mengacu pada primer spesifik real-time PCR (D. Wu et al., 2022b).

Gen AceE mengalami downregulation pada strain MT, dengan log2FoldChange sebesar -3,49. AceE berperan dalam konversi piruvat menjadi acetyl-CoA, yaitu prekursor utama dalam biosintesis asam lemak. Penurunan ekspresi AceE mengindikasikan adanya perubahan aliran karbon dari glikolisis menuju acetyl-CoA pada strain MT. Dengan demikian, mutasi kemungkinan tidak hanya memengaruhi sintesis lipid secara langsung, tetapi juga mengubah distribusi karbon pada jalur metabolisme pusat (Liufu et al., 2025).

Berdasarkan hasil qPCR yang dihitung dengan metode Livak $2^{-\Delta\Delta Ct}$, WT digunakan sebagai kontrol dengan nilai ekspresi relatif 1, sedangkan MT dibandingkan terhadap WT. Hasil transformasi ke log2FoldChange menunjukkan bahwa aceE mengalami downregulation pada MT, dengan log2FoldChange sebesar -3,49. Penurunan ini menunjukkan adanya perubahan aliran karbon menuju acetyl-CoA pada strain MT. Sebaliknya, GK mengalami upregulation kuat, dengan log2FoldChange sebesar 9,03. Upregulation GK pada strain MT mengindikasikan meningkatnya regulasi jalur pembentukan glycerol-3-phosphate, yaitu prekursor utama dalam Kennedy pathway untuk sintesis TAG. Peningkatan GK dapat memperbesar ketersediaan kerangka gliserol yang diperlukan untuk esterifikasi asam lemak, sehingga mendukung pembentukan lipid netral seperti TAG/oil. Dengan demikian, peningkatan ekspresi GK menunjukkan bahwa mutasi berpotensi mengarahkan metabolisme sel menuju akumulasi lipid penyimpanan (Tiwari et al., 2025)

Untuk ACOX, interpretasi berdasarkan mayoritas replikasi menunjukkan kecenderungan downregulation, dengan *log2FoldChange* sebesar -0,80. ACOX berperan dalam fatty acid β -oxidation, sehingga penurunan ekspresinya dapat menekan degradasi asam lemak dan mendukung retensi fatty acid atau oil di dalam sel (H. Wu et al., 2024). Dengan demikian, hasil qPCR ini mendukung bahwa mutasi menyebabkan perubahan regulasi metabolisme lipid pada strain MT, meskipun hasil ini lebih tepat disebut sebagai validasi fungsional, bukan bukti langsung perubahan urutan DNA.

4.3 Analisis Pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* Wild Type dan Mutated Pada Berbagai Panjang Gelombang

Pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* pada penelitian ini diamati selama tujuh hari dengan kultivasi 2 tahap. Pada tahap pertama kultur dikultivasi di bawah tiga kondisi spektrum cahaya, yaitu cahaya putih, merah, dan kombinasi biru-hijau. Tahap kedua kultivasi yaitu pada hari ke-6 sampai hari ke-7, seluruh kultur dipindahkan ke cahaya merah. Perlakuan ini dengan harapan dapat mengoptimalkan biomassa pada stage 1 dan memberi stress pada stage 2 dengan tujuan meningkatkan produksi lipid. Intensitas cahaya yang digunakan berada dalam rentang *Photosynthetically Active Radiation* (PAR), yang berbeda antar perlakuan. Cahaya merah memiliki rentang PAR sebesar 97,9 sampai 199 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sedangkan kombinasi cahaya biru-hijau memiliki rentang PAR lebih tinggi, yaitu 124,3 sampai 305,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Perbedaan rentang PAR ini penting untuk diperhatikan karena respons pertumbuhan mikroalga tidak hanya dipengaruhi oleh jenis spektrum cahaya, tetapi juga oleh intensitas cahaya yang diterima sel selama kultivasi.

Pertumbuhan diamati dengan membandingkan strain *wild type* (WT) dan *mutated* strain (MT), baik pada kondisi aksenik maupun pada kondisi ko-kultur dengan rasio *N. oculata* : *Bacillus subtilis* (1:3). Parameter yang diamati adalah jumlah sel yang dinyatakan dalam juta sel/mL. Secara umum, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pertumbuhan *N. oculata* dipengaruhi oleh interaksi antara kualitas cahaya, keberadaan bakteri, dan status genetik sel. Pada seluruh perlakuan, strain WT menunjukkan performa pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan strain MT, sedangkan keberadaan *Bacillus subtilis* pada sistem ko-kultur cenderung

meningkatkan pertumbuhan dibandingkan kondisi aksenik. Hal ini menunjukkan bahwa respons pertumbuhan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan fotosintesis mikroalga, tetapi juga oleh kondisi fisiologis sel dan dukungan metabolik dari bakteri pendamping (Wang et al., 2022a).

Sebaliknya, strain MT pada cahaya putih menunjukkan pertumbuhan yang jauh lebih rendah. Pada kondisi ko-kultur, jumlah sel MT menurun dari 15 juta sel/mL menjadi 8,15 juta sel/mL pada hari ke-1, kemudian hanya bertahan pada kisaran 5 sampai 8 juta sel/mL hingga akhir kultivasi. Pada hari ke-7, jumlah sel MT white coculture hanya mencapai 5,18 juta sel/mL. Pola ini menunjukkan bahwa strain MT memiliki kemampuan adaptasi yang lebih rendah terhadap cahaya putih dan tidak mampu memanfaatkan perpindahan ke cahaya merah sebaik strain WT. Penurunan awal setelah inokulasi dapat menunjukkan adanya tekanan fisiologis pada populasi MT, yang kemungkinan berkaitan dengan dampak mutasi terhadap stabilitas sel, pigmen fotosintetik, atau sistem metabolisme.

Pada perlakuan cahaya merah, pertumbuhan WT menunjukkan performa terbaik dibandingkan spektrum lainnya. Pada kondisi ko-kultur, jumlah sel WT meningkat dari 15 juta sel/mL menjadi 55,20 juta sel/mL pada hari ke-7. Pada kondisi aksenik, WT merah juga menunjukkan pertumbuhan tinggi, yaitu dari 20,79 juta sel/mL menjadi 50,81 juta sel/mL. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya merah merupakan kondisi paling mendukung bagi pertumbuhan WT, baik dengan maupun tanpa keberadaan bakteri. Respons ini dapat dijelaskan oleh kesesuaian panjang gelombang merah, sekitar 660 sampai 680 nm, dengan puncak serapan klorofil a, sehingga energi cahaya dapat dikonversi secara efisien untuk mendukung fotosintesis dan pembelahan sel (Ievina & Romagnoli, 2025).

Pada strain MT, cahaya merah juga memberikan hasil terbaik dibandingkan cahaya putih dan biru-hijau, meskipun pertumbuhannya tetap jauh lebih rendah dibandingkan WT. Pada kondisi ko-kultur, MT merah meningkat dari 15 juta sel/mL menjadi 13,95 juta sel/mL pada hari ke-7. Pada kondisi aksenik, MT merah menurun dari 16,63 juta sel/mL menjadi 8,30 juta sel/mL. Perbandingan ini menunjukkan bahwa ko-kultur membantu mempertahankan pertumbuhan MT pada cahaya merah, meskipun belum mampu mengembalikan performa pertumbuhan hingga mendekati WT. Dengan demikian, cahaya merah merupakan spektrum

paling efektif untuk mendukung pertumbuhan, tetapi efeknya tetap dibatasi oleh kondisi fisiologis strain MT.

Pada perlakuan kombinasi cahaya biru-hijau, WT dalam kondisi ko-kultur juga menunjukkan pertumbuhan yang baik, meskipun lebih rendah dibandingkan cahaya merah. Jumlah sel meningkat dari 15 juta sel/mL menjadi 39,75 juta sel/mL pada hari ke-7. Peningkatan tajam dari hari ke-6 ke hari ke-7, yaitu dari 25,20 menjadi 39,75 juta sel/mL, menunjukkan bahwa WT blue-green coculture juga mampu merespons perpindahan ke cahaya merah pada tahap akhir. Cahaya biru berperan dalam regulasi fotosintesis, pembentukan pigmen, dan respons fisiologis sel, sedangkan cahaya hijau dapat dimanfaatkan melalui pigmen aksesori serta memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik ke medium kultur. Oleh karena itu, kombinasi biru-hijau masih dapat mendukung pertumbuhan, meskipun tidak seoptimal cahaya merah.

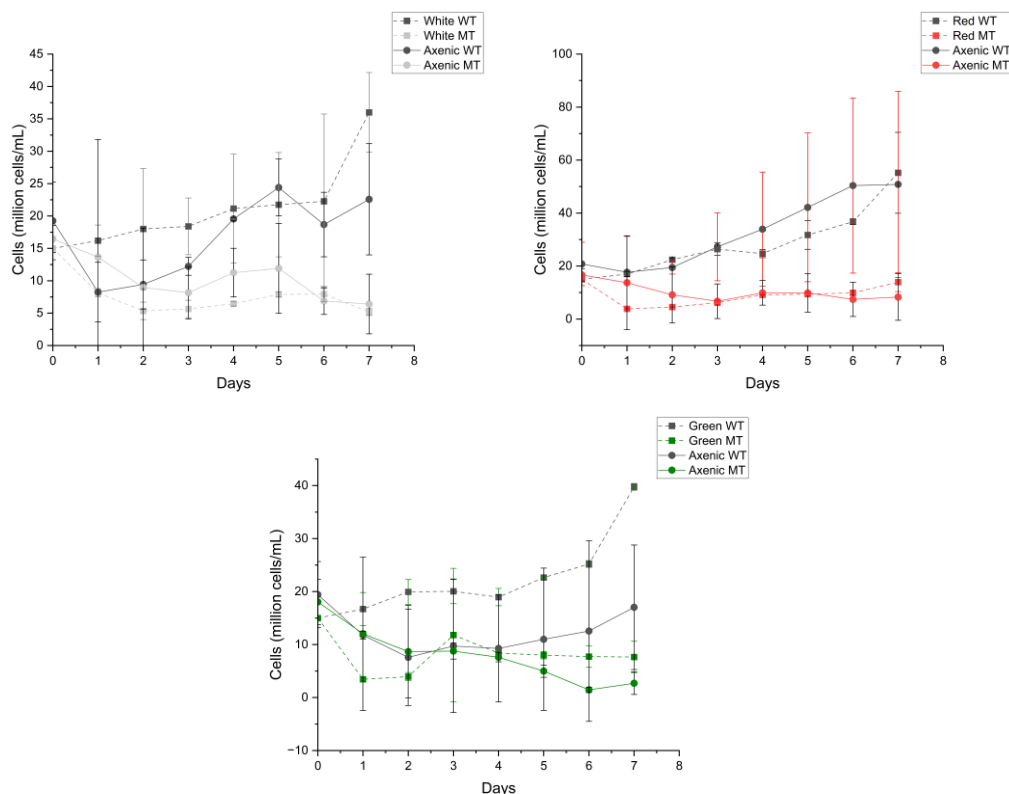
Pada strain MT, pola pertumbuhan di bawah cahaya biru-hijau lebih fluktuatif. Pada kondisi ko-kultur, jumlah sel menurun dari 15 juta sel/mL menjadi 3,45 juta sel/mL pada hari ke-1, kemudian meningkat sampai 11,8 juta sel/mL pada hari ke-3, tetapi kembali menurun hingga 7,65 juta sel/mL pada hari ke-7. Pada kondisi aksenik, MT blue-green menunjukkan penurunan lebih kuat, dari 18,04 juta sel/mL menjadi 2,70 juta sel/mL pada hari ke-7. Pola ini menunjukkan bahwa kombinasi biru-hijau memberikan tekanan adaptasi yang lebih besar pada strain MT. Keberadaan *B. subtilis* membantu mempertahankan populasi MT dibandingkan kondisi aksenik, tetapi tidak cukup untuk menghasilkan pertumbuhan yang stabil. Perbedaan antara kondisi ko-kultur dan aksenik menunjukkan bahwa *B. subtilis* dapat memberikan kontribusi positif terhadap pertumbuhan *N. oculata*, terutama pada strain WT. Pada cahaya putih, WT ko-kultur mencapai 36 juta sel/mL, sedangkan WT aksenik hanya mencapai 22,58 juta sel/mL. Pada cahaya merah, WT ko-kultur mencapai 55,20 juta sel/mL, sedikit lebih tinggi dibandingkan WT aksenik sebesar 50,81 juta sel/mL. Pada cahaya biru-hijau, perbedaannya lebih jelas, yaitu WT ko-kultur mencapai 39,75 juta sel/mL, sedangkan WT aksenik hanya mencapai 17,04 juta sel/mL. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan *B. subtilis* dapat mendukung pertumbuhan melalui peningkatan ketersediaan CO₂ hasil respirasi, remineralisasi nutrisi, atau produksi senyawa pendukung seperti vitamin

dan metabolit bioaktif (Kumsiri et al., 2018b; Wang et al., 2022a)

Namun, efek ko-kultur pada strain MT lebih terbatas. Pada cahaya merah dan biru-hijau, ko-kultur membantu mempertahankan jumlah sel MT dibandingkan kondisi aksenik. Akan tetapi, pada cahaya putih, MT aksenik pada hari ke-7 sedikit lebih tinggi dibandingkan MT ko-kultur, yaitu 6,41 juta sel/mL dibandingkan ko-kultur 5,18 juta sel/mL. Hal ini menunjukkan bahwa respons MT terhadap keberadaan bakteri tidak selalu positif dan sangat bergantung pada spektrum cahaya. Dengan kata lain, ko-kultur dapat membantu pertumbuhan, tetapi tidak mampu sepenuhnya mengatasi keterbatasan fisiologis akibat mutasi.

Secara keseluruhan, urutan performa pertumbuhan WT menunjukkan bahwa cahaya merah memberikan hasil terbaik, diikuti oleh kombinasi biru-hijau dan cahaya putih pada kondisi ko-kultur. Pada kondisi aksenik, WT merah tetap menjadi perlakuan terbaik, sedangkan WT biru-hijau menunjukkan pertumbuhan yang lebih rendah. Strain MT menunjukkan pertumbuhan yang lebih lambat, lebih rendah, dan lebih fluktuatif pada seluruh kondisi. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa mutasi menyebabkan penurunan viabilitas atau kapasitas adaptasi sel, terutama dalam merespons perubahan kualitas cahaya. Meskipun demikian, kondisi MT red coculture dan MT blue-green coculture masih menunjukkan kemampuan bertahan yang lebih baik dibandingkan kondisi aksenik, sehingga ko-kultur tetap berperan sebagai faktor pendukung.

Dengan demikian, perlakuan terbaik untuk peningkatan biomassa adalah WT red coculture, karena menghasilkan jumlah sel tertinggi pada hari ke-7, yaitu 55,20 juta sel/mL. Untuk strain MT, kondisi terbaik adalah MT red coculture, yang mencapai 13,95 juta sel/mL pada hari ke-7. Perpindahan seluruh kultur ke cahaya merah pada tahap akhir tampak efektif meningkatkan pertumbuhan WT, terutama pada kultur yang sebelumnya berada di bawah cahaya putih dan biru-hijau. Namun, respons ini tidak sekuat pada MT, sehingga dapat disimpulkan bahwa keberhasilan strategi dua tahap sangat dipengaruhi oleh kondisi genetik dan kemampuan adaptasi fisiologis sel.



Gambar 4.3 Kurva pertumbuhan *N. oculata* tipe liar dan mutan UV-C yang dibudidayakan di bawah panjang gelombang cahaya yang berbeda. Setiap panel mewakili satu kondisi iradiasi: cahaya putih, merah, biru-hijau

4.4 Analisis Pertumbuhan, Biomassa, dan Produktivitas Lipid *N. oculata* pada Berbagai Panjang Gelombang dan Kondisi Kultur

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, kinerja pertumbuhan dan produksi lipid *Nannochloropsis oculata* dipengaruhi secara signifikan oleh kombinasi panjang gelombang, status mutasi, dan kondisi kultur (aksenik dan ko-kultur). Parameter yang diamati meliputi laju pertumbuhan spesifik, biomassa akhir, kandungan lipid, produktivitas biomassa, dan produktivitas lipid.

Pada strain *wild type* dalam kondisi ko-kultur, cahaya merah menghasilkan laju pertumbuhan spesifik tertinggi sebesar 3.62 day^{-1} , diikuti oleh biru-hijau (3.30 day^{-1}) dan putih (3.20 day^{-1}). Tren ini sejalan dengan peningkatan biomassa akhir yang juga relatif tinggi pada seluruh perlakuan, dengan nilai tertinggi pada biru-hijau (1.159 g L^{-1}), diikuti oleh merah (1.135 g L^{-1}) dan putih (1.068 g L^{-1}). Meskipun biomassa tertinggi diperoleh pada biru-hijau, kandungan lipid tertinggi justru dihasilkan pada cahaya merah, yaitu sebesar 79% untuk mutated strain dan 47% untuk wild type strain. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya merah tidak hanya

mendukung pertumbuhan, tetapi juga mendorong akumulasi lipid secara lebih efektif. Kombinasi antara pertumbuhan yang tinggi dan kandungan lipid yang besar menghasilkan produktivitas lipid tertinggi pada perlakuan merah ($0.09 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$), dibandingkan putih dan biru-hijau yang masing-masing sebesar $0.07 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Pada strain mutan dalam kondisi ko-kultur, laju pertumbuhan spesifik cenderung lebih rendah dibandingkan *wild type*, dengan nilai tertinggi pada cahaya merah sebesar 2.25 day^{-1} , diikuti oleh biru-hijau (1.57 day^{-1}), sementara pada cahaya putih menunjukkan nilai negatif (-0.61 day^{-1}) yang mengindikasikan adanya penurunan populasi pada fase awal. Biomassa akhir juga lebih rendah dibandingkan WT, dengan nilai tertinggi pada cahaya merah sebesar 0.782 g L^{-1} . Namun demikian, strain mutan menunjukkan kandungan lipid yang jauh lebih tinggi dibandingkan WT, yaitu 79% pada cahaya merah dan 72% pada *biru-hijau*. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan pergeseran metabolisme dari pertumbuhan menuju akumulasi lipid. Meskipun biomassa lebih rendah, tingginya kandungan lipid menghasilkan produktivitas lipid yang kompetitif pada cahaya merah ($0.09 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$), setara dengan WT. Sebaliknya, pada cahaya putih, rendahnya pertumbuhan dan biomassa menyebabkan produktivitas lipid menjadi paling rendah ($0.02 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$).

Pada kondisi aksenik, baik WT maupun mutan menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan ko-kultur. Aksenik WT masih mempertahankan laju pertumbuhan spesifik yang relatif tinggi dan stabil (sekitar $2.84\text{--}2.97 \text{ day}^{-1}$), dengan biomassa akhir tertinggi pada cahaya putih (1.100 g L^{-1}). Menariknya, kandungan lipid pada kondisi aksenik WT sangat tinggi, mencapai 97% pada cahaya putih, yang diikuti oleh penurunan pada cahaya merah (79%) dan *biru-hijau* (81%). Hal ini menunjukkan bahwa tanpa keberadaan bakteri, sel cenderung mengarahkan metabolisme ke akumulasi lipid, kemungkinan sebagai respons terhadap kondisi lingkungan yang lebih terbatas. Hal ini juga tercermin pada produktivitas lipid yang tinggi, terutama pada cahaya putih ($0.19 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$), yang merupakan nilai tertinggi di seluruh perlakuan.

Tabel 4.3 Pengaruh variasi panjang gelombang, mutasi, dan ko-kultur dengan *B. subtilis* terhadap laju pertumbuhan spesifik, biomassa akhir, kandungan lipid,

produktivitas biomassa, dan produktivitas lipid *N. oculata*. Data disajikan sebagai nilai rata-rata $\pm$ standar deviasi (SD) $n = 2$.

Strain	Wavelength	Spesific Growth (day^{-1})	Final Bomass (g L^{-1})	Lipid content (% DW)	Biomass productivity ($\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}$)	Lipid Productivity ($\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}$)
Wild Type	White	3.20	1.068 ± 0.066	$34\% \pm 0.212$	0.19 ± 0.02	0.07 ± 0.05
	Red	3.62	1.135 ± 0.073	$47\% \pm 0.245$	0.21 ± 0.03	0.09 ± 0.04
	Blue-Green	3.30	1.159 ± 0.135	$32\% \pm 0.114$	0.22 ± 0.04	0.07 ± 0.04
Mutated	White	(0.61)	0.626 ± 0.035	$32\% \pm 0.059$	0.07 ± 0.010	0.02 ± 0.001
	Red	2.25	0.782 ± 0.068	$79\% \pm 0.119$	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.03
	Blue-Green	1.57	0.654 ± 0.112	$72\% \pm 0.344$	0.65 ± 0.11	0.05 ± 0.002
Axenic Wild Type	White	2.97	1.248 ± 0.209	$68\% \pm 0.404$	0.24 ± 0.06	0.15 ± 0.06
	Red	2.84	1.449 ± 0.640	$48\% \pm 0.444$	0.30 ± 0.18	0.10 ± 0.05
	Blue-Green	2.85	0.967 ± 0.175	$50\% \pm 0.442$	0.16 ± 0.05	0.07 ± 0.05
Axenic Mutated	White	1.47	0.752 ± 0.085	$77\% \pm 0.248$	0.10 ± 0.024	0.08 ± 0.007
	Red	1.21	0.551 ± 0.063	$37\% \pm 0.008$	0.04 ± 0.02	0.02 ± 0.01
	Blue-Green	1.43	0.613 ± 0.170	$55\% \pm 0.421$	0.06 ± 0.049	0.04 ± 0.053

Pada aksenik mutan, laju pertumbuhan spesifik berada pada kisaran 1.21–1.47 day^{-1} dengan biomassa akhir yang relatif rendah. Kandungan lipid tetap tinggi, terutama pada cahaya putih (95%) dan biru-hijau (85%), namun lebih rendah pada cahaya merah (37%). Produktivitas lipid pada kondisi ini bervariasi, dengan nilai tertinggi pada cahaya biru-hijau ($0.08 \text{ g L}^{-1} \text{d}^{-1}$). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pertumbuhan terbatas, akumulasi lipid tetap terjadi, namun sangat dipengaruhi oleh kualitas cahaya.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan adanya trade-off antara pertumbuhan dan akumulasi lipid. Strain *wild type* cenderung mengalokasikan energi untuk pertumbuhan dan pembentukan biomassa, terutama pada kondisi ko-kultur dan cahaya merah. Sebaliknya, strain mutan menunjukkan kecenderungan untuk mengarahkan metabolisme ke akumulasi lipid, terutama pada kondisi tertentu seperti cahaya merah dan *biru-hijau*. Selain itu, kondisi aksenik cenderung meningkatkan kandungan lipid dibandingkan ko-kultur, yang mengindikasikan bahwa keterbatasan interaksi biologis dapat memicu akumulasi cadangan energi dalam bentuk lipid.

4.5 Analisis Fraksi Lipid dan Profil *Triacylglycerol Nannochloropsis oculata* pada Berbagai Kondisi Kultur dan Spektrum Cahaya

Tabel 4.4 Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total *Nannochloropsis oculata* dalam sistem ko-kultur pada berbagai spektrum cahaya.

Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.

TAG Profile	WT white coculture	MT white coculture	WT red coculture	MT red coculture	WT blue-green coculture	MT blue-green coculture
Σ MCT	3.07%	2.10%	3.78%	6.08%	3.77%	3.99%
Σ MLCT	0.86%	0.71%	0.75%	1.13%	0.52%	0.14%
Σ LCT	3.04%	0.67%	0.02%	0.37%	1.48%	0.18%
Σ FFA	33.46% $\pm$ 0.11	25.81% $\pm$ 0.03	33.94% $\pm$ 0.21	15.99% $\pm$ 0.06	41.17% $\pm$ 0.06	14.00% $\pm$ 0.002

Pada penelitian ini, minyak mikroalga dipreparasi dengan menyiapkan larutan sampel berkonsentrasi 20 mg/mL. Sampel kemudian difiltrasi menggunakan syringe filter berukuran pori 0,22 μ m sebelum dianalisis profil lipidnya menggunakan GC-FID. Analisis GC-FID terhadap lipid total dilakukan untuk mengevaluasi perubahan distribusi lipid pada *Nannochloropsis oculata* akibat kombinasi perlakuan mutagenesis, ko-kultur, dan variasi spektrum cahaya.

Hasil analisis GC-FID lipid total berupa kromatogram yang menunjukkan beberapa peak pada waktu retensi tertentu. Setiap peak muncul pada waktu retensi yang berbeda sesuai dengan karakter lipid atau trigliserida yang terbaca. Untuk membantu identifikasi senyawa trigliserida pada sampel *Nannochloropsis oculata*, digunakan minyak goreng kelapa komersial sebagai standar pembanding. Peak yang terbaca pada kromatogram standar kemudian dicocokkan dengan peak pada sampel berdasarkan kedekatan waktu retensinya.

Tabel 4.5 Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total *Nannochloropsis oculata* dalam sistem aksenik pada berbagai spektrum cahaya.

Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.

TAG Profile	axenic WT white	axenic MT white	axenic WT red	axenic MT red	axenic WT blue-green	axenic MT blue-green
Σ MCT	25.67%	2.38%	2.76%	5.91%	2.77%	3.98%
Σ MLCT	17.37%	0.00%	0.37%	0.37%	0.28%	0.12%
Σ LCT	2.11%	3.25%	14.09%	9.49%	21.17%	16.53%
Σ FFA	10.62% $\pm$ 0.13	16.46% $\pm$ 0.06	20.42% $\pm$ 0.06	24.25% $\pm$ 0.16	24.93% $\pm$ 0.14	24.95% $\pm$ 0.16

Identifikasi peak dilakukan dengan membandingkan retention time kromatogram sampel terhadap standar minyak goreng kelapa komersial. Penentuan jenis trigliserida kemudian mengacu pada profil TAG minyak kelapa dari Kumar dan Gopala Krishna, yang melaporkan bahwa minyak kelapa didominasi oleh TAG berbasis kaprat, laurat, dan miristat, terutama CCLa, CLaLa, LaLaLa, LaLaM, dan LaMM. Dalam referensi tersebut, MCT pada coconut oil dilaporkan mencapai 59,27%, dengan kontribusi utama dari dicapric monolaurin, dilauric monocaprin, dan trilaurin. Berdasarkan pencocokan retention time, peak awal standar diidentifikasi secara putatif sebagai CpCC, CpCpLa, CpCLa, CCLa, CLaLa, dan LaLaLa. Mengacu pada pendekatan Mursalin et al. (2016) kandungan MCT dihitung dari akumulasi area CpCLa, CCLa, CLaLa, dan LaLaLa pada masing-masing sampel yang terdapat pada Tabel B 26 dan Tabel B 27 Appendiks B (Kumar & Krishna, 2015; Mursalin et al., 2016).

4.5.1 Pengaruh ko-kultur terhadap profil *triacylglycerol*

Ko-kultur dengan *Bacillus subtilis* secara umum menurunkan total TAG pada seluruh perlakuan dibandingkan kondisi aksenik. Pada WT, ko-kultur juga meningkatkan FFA, terutama pada cahaya biru-hijau yang mencapai 41,17%. Hal ini menunjukkan bahwa pada WT, ko-kultur cenderung mendorong hidrolisis atau pemanfaatan TAG sehingga asam lemak lebih banyak ditemukan dalam bentuk bebas.

Respons berbeda terlihat pada MT. Pada cahaya merah dan biru-hijau, ko-kultur menurunkan FFA masing-masing menjadi 15,99% dan 14,00%. Variasi ko-kultur terbaik adalah **MT cahaya merah**, karena menghasilkan total TAG tertinggi pada sistem ko-kultur, yaitu 7,58%, dengan MCT tertinggi sebesar 6,08% dan FFA relatif rendah sebesar 15,99%. Sementara itu, **MT cahaya biru-hijau** menghasilkan FFA terendah, tetapi total TAG-nya hanya 4,31%.

4.5.2 Pengaruh mutagenesis terhadap profil *triacylglycerol*

Pengaruh mutagenesis bergantung pada spektrum cahaya dan sistem kultur. Pada kondisi aksenik, mutagenesis umumnya menurunkan total TAG. Penurunan terbesar terjadi pada cahaya putih, dari 45,15% pada WT menjadi 5,63% pada MT. Hal ini menunjukkan bahwa mutagenesis menurunkan kemampuan akumulasi TAG pada kondisi tersebut.

Sebaliknya, mutagenesis memberikan efek positif pada ko-kultur cahaya merah. Total TAG meningkat dari 4,55% pada WT menjadi 7,58% pada MT, sedangkan FFA menurun dari 33,94% menjadi 15,99%. Oleh karena itu, variasi terbaik untuk menunjukkan efek positif mutagenesis adalah **MT cahaya merah ko-kultur**, karena meningkatkan TAG sekaligus menurunkan FFA.

4.5.3 Pengaruh spektrum cahaya terhadap profil *triacylglycerol*

Spektrum cahaya memberikan pengaruh yang berbeda pada sistem ko-kultur dan aksenik. Spektrum cahaya menghasilkan respons yang berbeda pada setiap strain dan sistem kultur. Pada WT aksenik, cahaya putih menghasilkan total TAG tertinggi, yaitu 45,15%, dengan MCT 25,67%, MLCT 17,37%, dan FFA terendah sebesar 10,62%. Dengan demikian, cahaya putih paling efektif untuk akumulasi TAG pada WT aksenik.

Cahaya biru-hijau lebih mendukung pembentukan LCT, terutama pada WT aksenik yang mencapai 21,17%. Sementara itu, cahaya merah memberikan hasil terbaik pada MT ko-kultur, dengan total TAG 7,58%, MCT 6,08%, dan FFA 15,99%.

4.6 Analisis Profil FAME *Nannochloropsis oculata* pada Berbagai Kondisi Kultur dan Spektrum Cahaya

Profil FAME menunjukkan bahwa mutagenesis, sistem kultur, dan spektrum cahaya memengaruhi distribusi asam lemak *Nannochloropsis oculata*. Kandungan Σ PUFA berada pada kisaran 20,11 sampai 51,83% dari total FAME. Nilai tertinggi diperoleh pada WT aksenik di bawah cahaya biru-hijau sebesar 51,83%, diikuti MT aksenik di bawah cahaya merah sebesar 44,26%, WT ko-kultur cahaya merah sebesar 37,07%, dan MT aksenik cahaya biru-hijau sebesar 36,70%. Sebaliknya, Σ PUFA terendah ditemukan pada WT ko-kultur di bawah cahaya biru-hijau sebesar 20,11%.

Komposisi asam lemak individual memperlihatkan bahwa tingginya Σ PUFA pada WT aksenik cahaya biru-hijau terutama didukung oleh C18:2 n-6 sebesar 20,86%. Kondisi tersebut juga menghasilkan C18:3 n-3 sebesar 2,23%, EPA sebesar 6,04%, dan DHA sebesar 3,97%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan Σ PUFA pada WT aksenik cahaya biru-hijau lebih banyak berkaitan dengan akumulasi PUFA C18, terutama asam linoleat, daripada peningkatan PUFA

omega-3 rantai panjang.

Respons yang berbeda diperoleh pada MT aksenik cahaya merah. Pada kondisi ini, Σ PUFA mencapai 44,26%, dengan DHA sebesar 14,24%, C18:2 n-6 sebesar 18,27%, C18:3 n-3 sebesar 2,30%, dan EPA sebesar 4,75%. Jumlah EPA dan DHA mencapai 18,99% dari total FAME, tertinggi dibandingkan seluruh kondisi yang diuji. Dengan demikian, MT aksenik cahaya merah lebih berpotensi diarahkan untuk produksi lipid kaya omega-3 rantai panjang, sedangkan WT aksenik cahaya biru-hijau lebih sesuai untuk menghasilkan total PUFA yang tinggi.

EPA tertinggi diperoleh pada WT aksenik cahaya putih sebesar 10,00%, diikuti MT ko-kultur cahaya merah sebesar 9,68%, WT aksenik cahaya merah sebesar 7,30%, dan MT ko-kultur cahaya biru-hijau sebesar 6,73%. Sementara itu, DHA tertinggi diperoleh pada MT aksenik cahaya merah sebesar 14,24%, diikuti MT ko-kultur cahaya biru-hijau sebesar 9,08%, WT ko-kultur cahaya merah sebesar 8,24%, dan MT ko-kultur cahaya putih sebesar 6,89%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi yang meningkatkan EPA tidak selalu menghasilkan DHA tertinggi, sehingga kedua asam lemak tersebut perlu dievaluasi secara terpisah maupun sebagai jumlah EPA dan DHA.

Ko-kultur memberikan respons yang bergantung pada strain dan spektrum cahaya. Pada WT cahaya merah, ko-kultur meningkatkan Σ PUFA dari 31,21% pada kondisi aksenik menjadi 37,07%. Peningkatan tersebut terutama disertai oleh kenaikan EPA dari 7,30 menjadi 6,04% dan DHA dari 2,95 menjadi 8,24%, sehingga jumlah EPA dan DHA meningkat dari 10,25 menjadi 14,28%. Meskipun EPA sedikit menurun, peningkatan DHA menyebabkan kandungan omega-3 rantai panjang secara keseluruhan menjadi lebih tinggi.

Sebaliknya, pada WT cahaya biru-hijau, ko-kultur menurunkan Σ PUFA dari 51,83 menjadi 20,11%. Penurunan tersebut terutama terlihat pada C18:2 n-6, dari 20,86 menjadi 4,22%, serta C22:6 dari 3,97 menjadi 1,36%. Hasil ini menunjukkan bahwa keberadaan *Bacillus subtilis* tidak selalu meningkatkan akumulasi PUFA, tetapi dapat mengubah alokasi asam lemak sesuai dengan kondisi pencahayaan dan karakter fisiologis strain.

Pada MT cahaya biru-hijau, ko-kultur menghasilkan Σ PUFA sebesar 32,52%, dengan EPA sebesar 6,73% dan DHA sebesar 9,08%. Jumlah EPA dan

DHA mencapai 15,81%, lebih tinggi dibandingkan MT aksenik pada cahaya yang sama sebesar 10,18%. Kondisi ini menunjukkan bahwa ko-kultur di bawah cahaya biru-hijau dapat meningkatkan proporsi omega-3 rantai panjang pada strain MT, meskipun tidak menghasilkan Σ PUFA tertinggi.

Perbedaan respons antara WT dan MT menunjukkan bahwa mutagenesis memengaruhi arah metabolisme asam lemak. Pada kondisi aksenik, cahaya biru-hijau menghasilkan Σ PUFA tertinggi pada WT, sedangkan cahaya merah menghasilkan Σ PUFA dan DHA tertinggi pada MT. Hal tersebut mengindikasikan adanya perubahan dalam respons jalur desaturasi dan elongasi setelah mutagenesis. Namun, mekanisme ini perlu dikonfirmasi melalui analisis aktivitas enzim desaturase dan elongase, ekspresi gen terkait sintesis PUFA, atau analisis lipidomik.

Interpretasi hasil FAME perlu dibedakan dari komposisi kelas lipid. FAME bukan merupakan bentuk lipid asli di dalam sel, melainkan hasil konversi asam lemak menjadi metil ester sebelum dianalisis menggunakan kromatografi gas. Pada metanolisis asam terhadap lipid total, asam lemak yang berasal dari triacylglycerol, phospholipid, sterol ester, dan FFA dapat dikonversi menjadi FAME. Metode tersebut dilaporkan mampu mengubah berbagai lipid teresterifikasi dan FFA menjadi metil ester secara bersamaan (Ichihara & Fukubayashi, 2010). Oleh karena itu, nilai Σ PUFA dalam penelitian ini merepresentasikan komposisi PUFA dari keseluruhan kumpulan asam lemak pada ekstrak lipid total, bukan hanya PUFA yang berasal dari TAG atau hanya dari FFA yang sudah dijelaskan pada **section 3.5.7**

PUFA dan FFA juga menggambarkan dua karakteristik yang berbeda. PUFA diklasifikasikan berdasarkan jumlah dan konfigurasi ikatan rangkap, sedangkan FFA menunjukkan bahwa asam lemak berada dalam bentuk bebas dan tidak teresterifikasi. Dengan demikian, EPA, DHA, dan PUFA lainnya dapat berada dalam TAG, phospholipid, glycolipid, maupun sebagai FFA. Codex mendefinisikan PUFA sebagai asam lemak yang memiliki ikatan rangkap cis-cis yang dipisahkan oleh gugus metilena. Definisi tersebut tidak membatasi PUFA pada kelas lipid tertentu (Codex Alimentarius, 2024).

Dalam konteks pangan dan suplemen, kandungan PUFA umumnya merujuk pada total asam lemak yang memenuhi definisi PUFA dalam produk. Oleh karena

itu, nilai PUFA tidak hanya mencakup asam lemak bebas, tetapi juga asam lemak yang teresterifikasi dalam TAG, phospholipid, atau bentuk ester lainnya.

Berdasarkan Regulasi Uni Eropa, klaim “*high in polyunsaturated fat*” mensyaratkan sekurang-kurangnya 45% dari total asam lemak produk berasal dari PUFA dan PUFA memberikan lebih dari 20% energi produk. Berdasarkan komposisi relatif FAME, WT aksenik cahaya biru-hijau memenuhi ambang komposisi PUFA sebesar 51,83%. Namun, penetapan klaim pangan tetap memerlukan kandungan PUFA absolut dalam gram per 100 g produk dan kontribusinya terhadap energi (European Parliament and of the Council, 2010).

Untuk klaim omega-3, regulasi tersebut mensyaratkan paling sedikit 40 mg EPA dan DHA per 100 g dan per 100 kcal untuk klaim sumber omega-3, serta 80 mg per 100 g dan per 100 kcal untuk klaim tinggi omega-3. Data penelitian ini masih dinyatakan sebagai persentase total FAME, sehingga belum dapat langsung digunakan untuk menetapkan klaim. Kandungan total lipid, total asam lemak, dan jumlah EPA serta DHA dalam mg/g biomassa, mg/g minyak, atau mg per sajian perlu ditentukan terlebih dahulu (European Parliament and of the Council, 2010).

Secara keseluruhan, WT aksenik di bawah cahaya biru-hijau menghasilkan Σ PUFA tertinggi, terutama dalam bentuk C18:2 n-6. MT aksenik di bawah cahaya merah menghasilkan jumlah EPA dan DHA tertinggi, terutama karena tingginya DHA. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan kondisi kultivasi harus disesuaikan dengan target produk, yaitu total PUFA atau omega-3 rantai panjang. Untuk pengembangan bahan suplemen, analisis FAME perlu dilengkapi dengan kadar absolut EPA dan DHA, distribusi PUFA dalam TAG dan lipid polar, kadar FFA, acid value, peroxide value, anisidine value, dan stabilitas oksidatif.

Tabel 4.6 Profil FAME *Nannochloropsis oculata* WT dan MT pada kondisi ko-kultur dan aksenik di bawah cahaya putih, merah, dan biru-hijau. Nilai disajikan sebagai mean $\pm$ standar deviasi, n=2.

Variable	WT white coculture	MT white coculture	WT red coculture	MT red coculture	WT blue-green coculture	MT blue-green coculture	Axenic WT white	Axenic MT white	Axenic WT red	Axenic MT red	Axenic WT blue-green	Axenic MT blue-green
C16:0	19.34 $\pm$ 0.02	12.13 $\pm$ 0.13	6.23 $\pm$ 0.05	4.81 $\pm$ 0.02	9.57 $\pm$ 0.01	1.45 $\pm$ 0.01	3.77 $\pm$ 0.01	1.77 $\pm$ 0.02	7.30 $\pm$ 0.04	4.41 $\pm$ 0.05	1.67 $\pm$ 0.01	4.19 $\pm$ 0.03
C16:1	8.09 $\pm$ 0.01	4.90 $\pm$ 0.06	3.55 $\pm$ 0.03	2.72 $\pm$ 0.01	3.25 $\pm$ 0.00	1.30 $\pm$ 0.00	2.47 $\pm$ 0.00	0.21 $\pm$ 0.00	9.67 $\pm$ 0.08	1.74 $\pm$ 0.02	1.31 $\pm$ 0.01	11.33 $\pm$ 0.13
C18:1-9 cis	1.08 $\pm$ 0.01	1.35 $\pm$ 0.00	0.90 $\pm$ 0.00	0.38 $\pm$ 0.01	1.16 $\pm$ 0.00	0.51 $\pm$ 0.00	0.88 $\pm$ 0.00	1.27 $\pm$ 0.01	0.92 $\pm$ 0.01	3.52 $\pm$ 0.02	3.42 $\pm$ 0.03	1.29 $\pm$ 0.02
C18:2 n-6	2.66 $\pm$ 0.01	1.38 $\pm$ 0.02	2.87 $\pm$ 0.02	0.52 $\pm$ 0.01	4.22 $\pm$ 0.04	2.31 $\pm$ 0.03	3.63 $\pm$ 0.05	2.45 $\pm$ 0.03	11.55 $\pm$ 0.16	18.27 $\pm$ 0.05	20.86 $\pm$ 0.28	11.44 $\pm$ 0.15
C18:3 n-3	0.73 $\pm$ 0.01	0.85 $\pm$ 0.01	1.64 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.00	0.63 $\pm$ 0.00	0.31 $\pm$ 0.00	0.37 $\pm$ 0.00	0.35 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	2.30 $\pm$ 0.01	2.23 $\pm$ 0.03	0.26 $\pm$ 0.00
C20:0	3.62 $\pm$ 0.00	4.09 $\pm$ 0.00	10.45 $\pm$ 0.01	18.20 $\pm$ 0.05	3.39 $\pm$ 0.01	15.49 $\pm$ 0.02	19.89 $\pm$ 0.04	20.50 $\pm$ 0.03	10.53 $\pm$ 0.08	2.10 $\pm$ 0.01	9.79 $\pm$ 0.14	11.55 $\pm$ 0.08
C20:5 n-3	2.22 $\pm$ 0.00	3.98 $\pm$ 0.03	6.04 $\pm$ 0.02	9.68 $\pm$ 0.00	2.00 $\pm$ 0.01	6.73 $\pm$ 0.01	10.00 $\pm$ 0.03	9.45 $\pm$ 0.00	7.30 $\pm$ 0.03	4.75 $\pm$ 0.04	6.04 $\pm$ 0.05	5.52 $\pm$ 0.02
C22:0	13.30 $\pm$ 0.04	14.42 $\pm$ 0.03	9.96 $\pm$ 0.10	9.43 $\pm$ 0.08	25.67 $\pm$ 0.18	11.43 $\pm$ 0.02	3.98 $\pm$ 0.04	15.57 $\pm$ 0.04	8.49 $\pm$ 0.09	7.91 $\pm$ 0.11	4.29 $\pm$ 0.01	9.53 $\pm$ 0.06
C22:1-13	0.62 $\pm$ 0.00	1.72 $\pm$ 0.02	0.87 $\pm$ 0.01	24.13 $\pm$ 0.02	1.31 $\pm$ 0.01	21.86 $\pm$ 0.04	11.86 $\pm$ 0.16	12.17 $\pm$ 0.13	10.31 $\pm$ 0.14	3.32 $\pm$ 0.02	12.79 $\pm$ 0.15	2.67 $\pm$ 0.01
C22:2	6.14 $\pm$ 0.07	0.79 $\pm$ 0.01	4.40 $\pm$ 0.03	4.68 $\pm$ 0.02	1.49 $\pm$ 0.00	6.32 $\pm$ 0.00	5.91 $\pm$ 0.08	8.07 $\pm$ 0.00	3.29 $\pm$ 0.04	1.28 $\pm$ 0.00	4.28 $\pm$ 0.06	4.80 $\pm$ 0.04
C22:6	0.86 $\pm$ 0.00	6.89 $\pm$ 0.08	8.24 $\pm$ 0.07	3.17 $\pm$ 0.02	1.36 $\pm$ 0.00	9.08 $\pm$ 0.06	5.18 $\pm$ 0.01	4.37 $\pm$ 0.04	2.95 $\pm$ 0.02	14.24 $\pm$ 0.01	3.97 $\pm$ 0.01	4.66 $\pm$ 0.02
C24:0	8.40 $\pm$ 0.09	19.05 $\pm$ 0.24	15.79 $\pm$ 0.12	3.00 $\pm$ 0.04	24.25 $\pm$ 0.20	0.80 $\pm$ 0.01	7.48 $\pm$ 0.10	0.72 $\pm$ 0.01	6.16 $\pm$ 0.09	8.85 $\pm$ 0.11	0.85 $\pm$ 0.01	1.98 $\pm$ 0.02
ΣSFA	57.15 $\pm$ 4.08	59.07 $\pm$ 4.08	51.53 $\pm$ 6.59	43.03 $\pm$ 10.46	69.18 $\pm$ 10.46	39.58 $\pm$ 1.11	46.04 $\pm$ 15.91	46.56 $\pm$ 10.91	42.41 $\pm$ 1.84	36.99 $\pm$ 6.15	21.72 $\pm$ 15.77	39.68 $\pm$ 14.72
ΣMUFA	17.65 $\pm$ 0.07	13.92 $\pm$ 6.08	11.41 $\pm$ 5.80	30.85 $\pm$ 1.78	10.71 $\pm$ 1.78	27.90 $\pm$ 1.62	22.49 $\pm$ 14.03	17.81 $\pm$ 10.79	26.38 $\pm$ 2.50	18.75 $\pm$ 4.56	26.44 $\pm$ 5.55	23.62 $\pm$ 15.62
ΣPUFA	25.20 $\pm$ 4.15	27.01 $\pm$ 2.00	37.07 $\pm$ 12.39	26.11 $\pm$ 8.68	20.11 $\pm$ 8.68	32.52 $\pm$ 2.74	31.47 $\pm$ 1.88	35.63 $\pm$ 0.12	31.21 $\pm$ 0.66	44.26 $\pm$ 1.59	51.83 $\pm$ 21.32	36.70 $\pm$ 0.90

4.7 Evaluasi Pengaruh Spektrum Cahaya, Kondisi Kultur, dan Strain terhadap Respons Utama *Nannochloropsis oculata*

Pengaruh spektrum cahaya, kondisi kultur, dan strain terhadap kandungan EPA, PUFA, biomassa, dan yield lipid dianalisis menggunakan model faktorial. Faktor A adalah spektrum cahaya, faktor B adalah kondisi kultur, yaitu aksenik dan ko-kultur, sedangkan faktor C adalah strain, yaitu *wild type* dan *mutated strain*. Hasil analisis ragam disajikan pada **Tabel 4.7**

Tabel 4.7 Hasil ANOVA pengaruh spektrum cahaya, kondisi kultur, dan strain terhadap EPA, PUFA, biomassa, dan yield lipid

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Kontribusi (%)
a) EPA						
Model	0,0030	11	0,0003	1,17	0,3944	
A, Spektrum cahaya	0,000046	2	0,000023	0,0986	0,9068	1,54
B, Kondisi kultur	0,000100	1	0,000100	0,4314	0,5237	3,34
C, Strain	0,000064	1	0,000064	0,2736	0,6105	2,14
AB	0,001312	2	0,000656	2,82	0,0993	43,81
AC	0,000400	2	0,000200	0,8584	0,4483	13,36
BC	0,000357	1	0,000357	1,53	0,2396	11,92
ABC	0,000716	2	0,000358	1,54	0,2543	23,91
Pure Error	0,0028	12	0,0002			
Cor Total	0,0058	23				
b) PUFA						
Model	0,1667	11	0,0152	2,50	0,0649	
A, Spektrum cahaya	0,0724	2	0,0362	5,98	0,0158	43,40
B, Kondisi kultur	0,0247	1	0,0247	4,08	0,0663	14,82
C, Strain	0,0005	1	0,0005	0,0788	0,7837	0,29
AB	0,0003	2	0,0002	0,0256	0,9748	0,19
AC	0,0177	2	0,0088	1,46	0,2708	10,60
BC	0,0403	1	0,0403	6,66	0,0241	24,18
ABC	0,0109	2	0,0055	0,9012	0,4319	6,54
Pure Error	0,0726	12	0,0061			
Cor Total	0,2394	23				
c) Biomassa						
Model	1,90	11	0,1726	3,58	0,0189	

A, Spektrum cahaya	0,0695	2	0,0347	0,7207	0,5063	3,66
B, Kondisi kultur	0,0040	1	0,0040	0,0840	0,7769	0,21
C, Strain	1,5470	1	1,5470	32,11	0,0001	81,48
AB	0,0735	2	0,0367	0,7623	0,4879	3,87
AC	0,0432	2	0,0216	0,4485	0,6488	2,28
BC	0,0336	1	0,0336	0,6967	0,4202	1,77
ABC	0,1278	2	0,0639	1,33	0,3018	6,73
Pure Error	0,5782	12	0,0482			
Cor Total	2,48	23				

d) Yield lipid, transformasi akar kuadrat

Model	0,3228	11	0,0293	0,6690	0,7433	
A, Spektrum cahaya	0,0004	2	0,0002	0,0047	0,9953	0,13
B, Kondisi kultur	0,0081	1	0,0081	0,1854	0,6744	2,52
C, Strain	0,0524	1	0,0524	1,19	0,2958	16,24
AB	0,1859	2	0,0930	2,12	0,1629	57,59
AC	0,0163	2	0,0082	0,1862	0,8325	5,06
BC	0,0270	1	0,0270	0,6154	0,4480	8,36
ABC	0,0326	2	0,0163	0,3715	0,6973	10,10
Pure Error	0,5264	12	0,0439			
Cor Total	0,8492	23				

Keterangan: Kontribusi dihitung dari perbandingan sum of squares setiap faktor terhadap sum of squares model. Faktor A adalah spektrum cahaya, faktor B adalah kondisi kultur, dan faktor C adalah strain.

4.7.1 Pengaruh terhadap EPA

Model untuk respons EPA tidak signifikan secara statistik, dengan nilai F sebesar 1,17 dan $p = 0,3944$. Hal ini menunjukkan bahwa variasi EPA pada rentang kondisi yang diuji belum dapat dijelaskan secara kuat oleh kombinasi spektrum cahaya, kondisi kultur, strain, maupun interaksi antarfaktor.

Tidak terdapat faktor utama atau interaksi yang memiliki nilai p kurang dari 0,05. Interaksi antara spektrum cahaya dan kondisi kultur, AB, menunjukkan nilai p paling rendah, yaitu 0,0993, tetapi masih berada di atas batas signifikansi 0,05. Berdasarkan kontribusi sum of squares, interaksi AB memberikan kontribusi

terbesar, yaitu 43,81%, diikuti interaksi tiga faktor ABC sebesar 23,91%.

Hasil ini mengindikasikan bahwa perubahan EPA kemungkinan tidak ditentukan oleh satu faktor secara independen. Respons EPA cenderung bergantung pada kombinasi kondisi cahaya dan sistem kultur, tetapi variasi antarreplikasi masih cukup besar sehingga pengaruh tersebut belum signifikan secara statistik.

4.7.2 Pengaruh terhadap PUFA

Model keseluruhan untuk respons PUFA memiliki $p = 0,0649$. Nilai ini sedikit lebih tinggi daripada 0,05, sehingga model belum signifikan pada tingkat kepercayaan 95%. Namun, terdapat dua komponen model yang menunjukkan pengaruh signifikan, yaitu spektrum cahaya dan interaksi antara kondisi kultur dan strain.

Spektrum cahaya memberikan pengaruh signifikan terhadap PUFA dengan nilai F sebesar 5,98 dan $p = 0,0158$. Faktor ini juga memberikan kontribusi terbesar terhadap variasi model, yaitu 43,40%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas atau spektrum cahaya merupakan faktor utama yang mengatur pembentukan dan akumulasi PUFA pada *N. oculata*.

Interaksi antara kondisi kultur dan strain, BC, juga signifikan dengan $p = 0,0241$ dan kontribusi sebesar 24,18%. Signifikannya interaksi BC menunjukkan bahwa pengaruh ko-kultur terhadap PUFA berbeda antara strain WT dan MT. Dengan kata lain, efek keberadaan bakteri tidak dapat dipisahkan dari karakter genetik strain yang digunakan.

Kondisi kultur sebagai faktor tunggal memiliki $p = 0,0663$, yang menunjukkan kecenderungan pengaruh tetapi belum signifikan pada tingkat 5%. Strain secara mandiri tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap PUFA, dengan $p = 0,7837$. Hal ini memperlihatkan bahwa mutasi tidak otomatis meningkatkan atau menurunkan PUFA pada semua kondisi. Efek strain baru terlihat ketika dikombinasikan dengan kondisi kultur tertentu.

4.7.3 Pengaruh terhadap biomassa

Model biomassa signifikan secara statistik dengan nilai F sebesar 3,58 dan $p = 0,0189$. Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor dalam model mampu menjelaskan perubahan biomassa secara nyata.

Strain merupakan satu-satunya faktor yang berpengaruh sangat signifikan terhadap biomassa, dengan nilai F sebesar 32,11 dan $p = 0,0001$. Kontribusi strain mencapai 81,48% dari variasi model, jauh lebih tinggi dibandingkan faktor lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan antara strain WT dan MT merupakan faktor dominan yang menentukan biomassa *N. oculata*.

Spektrum cahaya dan kondisi kultur tidak berpengaruh signifikan secara mandiri, masing-masing dengan $p = 0,5063$ dan $p = 0,7769$. Seluruh interaksi antarfaktor juga tidak signifikan. Dengan demikian, perubahan biomassa dalam penelitian ini lebih kuat berkaitan dengan karakter genetik strain dibandingkan dengan spektrum cahaya atau keberadaan bakteri.

Berdasarkan koefisien model, strain MT cenderung memiliki biomassa lebih rendah dibandingkan WT. Hal ini sejalan dengan kemungkinan adanya biaya metabolik akibat mutasi, yaitu sebagian sumber daya sel dialihkan dari pertumbuhan menuju respons stres atau metabolisme lipid.

4.7.4 Pengaruh terhadap yield lipid

Model yield lipid setelah transformasi akar kuadrat tidak signifikan, dengan nilai F sebesar 0,6690 dan $p = 0,7433$. Tidak ada faktor utama maupun interaksi yang memiliki nilai p kurang dari 0,05.

Interaksi antara spektrum cahaya dan kondisi kultur, AB, memberikan kontribusi terbesar, yaitu 57,59%, tetapi pengaruhnya tidak signifikan secara statistik, dengan $p = 0,1629$. Strain memberikan kontribusi sebesar 16,24%, sedangkan interaksi tiga faktor ABC memberikan kontribusi sebesar 10,10%.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi yield lipid antarkondisi belum dapat dijelaskan secara konsisten oleh faktor yang diuji. Nilai kontribusi yang tinggi pada interaksi AB tidak cukup untuk menyatakan adanya pengaruh nyata karena variasi galat masih besar. Oleh karena itu, perbedaan yield lipid antarperlakuan sebaiknya disampaikan sebagai kecenderungan dan perlu dikonfirmasi melalui penambahan jumlah replikasi atau pengendalian kondisi kultivasi yang lebih ketat.

4.7.5 Kelayakan statistik model

Model EPA memiliki nilai R^2 sebesar 0,5173, tetapi adjusted R^2 hanya 0,0749 dan predicted R^2 bernilai negatif. Nilai C.V. sebesar 82,88% menunjukkan

variasi data yang sangat tinggi. Nilai Adeq Precision juga berada di bawah batas yang umumnya diharapkan, yaitu 4. Oleh karena itu, model EPA tidak cukup kuat untuk tujuan prediksi.

Model PUFA memiliki R^2 sebesar 0,6966 dan Adeq Precision 5,7657. Meskipun kemampuan pemisahan sinyal model cukup baik, predicted R^2 bernilai negatif, yaitu -0,2138. Hal ini menunjukkan bahwa model lebih sesuai untuk interpretasi faktor yang signifikan daripada untuk prediksi nilai PUFA pada kondisi baru.

Model biomassa merupakan model terbaik di antara keempat respons, dengan R^2 sebesar 0,7665, adjusted R^2 sebesar 0,5525, dan Adeq Precision sebesar 5,7862. Namun, predicted R^2 hanya 0,0662 dan berbeda cukup jauh dari adjusted R^2 . Oleh karena itu, model biomassa dapat digunakan untuk menjelaskan pengaruh strain, tetapi kemampuan prediktifnya masih terbatas.

Model yield lipid menunjukkan kelayakan paling rendah, dengan R^2 sebesar 0,3801, adjusted R^2 dan predicted R^2 bernilai negatif, serta Adeq Precision hanya 2,1666. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model belum memadai untuk menjelaskan maupun memprediksi yield lipid secara konsisten.

Tabel 4.8 Parameter statistik model untuk setiap respons

Respons	Std. Dev.	C.V. (%)	R^2	Adjusted R^2	Predicted R^2	Adeq Precision
EPA	0,0153	82,88	0,5173	0,0749	-0,9307	3,0259
PUFA	0,0778	23,39	0,6966	0,4184	-0,2138	5,7657
Biomassa	0,2195	23,94	0,7665	0,5525	0,0662	5,7862
Yield lipid	0,2094	29,90	0,3801	-0,1881	-1,4795	2,1666

Secara keseluruhan, strain merupakan faktor dominan terhadap biomassa, sedangkan spektrum cahaya serta interaksi kondisi kultur dan strain berperan penting terhadap PUFA. Pengaruh terhadap EPA dan yield lipid belum signifikan secara statistik pada rentang kondisi yang diuji.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kombinasi mutagenesis, ko-kultur, dan spektrum cahaya memengaruhi persentase PUFA *Nannochloropsis oculata* yang dikultivasi dalam media POME. Kondisi WT aksenik dengan cahaya biru-hijau menghasilkan total PUFA tertinggi, yaitu 51,83% dari total FAME, sehingga menjadi kondisi yang paling disarankan apabila target utama penelitian adalah peningkatan total PUFA.
2. Perubahan komposisi dan profil PUFA terutama dipengaruhi oleh interaksi antara status strain dan spektrum cahaya, sedangkan pengaruh ko-kultur bersifat spesifik terhadap kondisi perlakuan dan tidak selalu meningkatkan PUFA. Cahaya biru-hijau pada WT aksenik mendorong peningkatan total PUFA, terutama C18:2 n-6, hingga mencapai 51,83%, sedangkan mutagenesis yang dikombinasikan dengan cahaya merah mengarahkan profil asam lemak menuju peningkatan PUFA omega-3 rantai panjang, terutama DHA. Dengan demikian, WT aksenik cahaya biru-hijau merupakan kondisi terbaik untuk menghasilkan total PUFA, sedangkan MT aksenik cahaya merah merupakan kondisi terbaik untuk menghasilkan EPA dan DHA, dengan jumlah EPA + DHA sebesar 18,99%.
3. POME berpotensi digunakan sebagai medium kultivasi *Nannochloropsis oculata* untuk mendukung produksi PUFA, termasuk EPA. Hal ini ditunjukkan oleh terbentuknya PUFA dan EPA pada berbagai kombinasi perlakuan mutagenesis, ko-kultur, dan spektrum cahaya. Dengan demikian, POME dapat dimanfaatkan sebagai medium alternatif untuk produksi lipid mikroalga bernilai tambah.

5.2 Saran

1. Melakukan penelitian lanjutan dengan jumlah replikasi biologis yang lebih banyak agar variasi data PUFA, EPA, DHA, dan TAG dapat dianalisis

secara statistik dengan lebih kuat.

2. Melakukan supplemetasi nutrisi untuk memperbaiki pertumbuhan sel pada penelitian selanjutnya.
3. Melakukan Analisa Whole Genome Sequencing pada masing masing masing factor terhadap gen yang bertanggung jawab pada pembentukan PUFA (elongase, desaturase, etc)
4. Melakukan scale-up, analisis tekno-ekonomi, dan life cycle assessment (LCA) untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi, lingkungan, dan penerapan teknologi pada skala yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, H., Iriawati, D., Penelitian, B. B., Bioteknologi, P., Daya, S., Pertanian, G., & Tentara, J. (2015). *Pengaruh Iradiasi Ultraviolet terhadap Multiplikasi Tunas Aksiler dan Kadar Klorofil Anyelir (Dianthus caryophyllus L.) (Effect of Ultraviolet Radiation to the Multiplication of Axillary Buds and Chlorophyll Levels Carnation [Dianthus caryophyllus L.]*.
- Ahmad, I., Ibrahim, N. N. B., Abdullah, N., Koji, I., Mohamad, S. E., Khoo, K. S., Cheah, W. Y., Ling, T. C., & Show, P. L. (2023a). Bioremediation strategies of palm oil mill effluent and landfill leachate using microalgae cultivation: An approach contributing towards environmental sustainability. *Chinese Chemical Letters*, 34(5). <https://doi.org/10.1016/j.cclet.2022.107854>
- Ahmad, I., Ibrahim, N. N. B., Abdullah, N., Koji, I., Mohamad, S. E., Khoo, K. S., Cheah, W. Y., Ling, T. C., & Show, P. L. (2023b). Bioremediation strategies of palm oil mill effluent and landfill leachate using microalgae cultivation: An approach contributing towards environmental sustainability. *Chinese Chemical Letters*, 34(5). <https://doi.org/10.1016/j.cclet.2022.107854>
- Ali, S. S., & Hassan, L. H. S. (2024). *Microalgae-mediated bioremediation : current trends and opportunities-a review*. 343.
- Alkhamis, Y. A., Mathew, R. T., Nagarajan, G., Rahman, S. M., & Rahman, M. M. (2022). pH induced stress enhances lipid accumulation in microalgae grown under mixotrophic and autotrophic condition. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1033068>
- Aparamarta, H. W., Saputra, T., Claratika, A., Ju, Y. H., & Gunawan, S. (2016). Separation and Purification of Triacylglycerols from Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) Oil by Batchwise Solvent Extraction. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(11), 3113–3119. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04877>
- Araújo, R. G., Alcantar-Rivera, B., Meléndez-Sánchez, E. R., Martínez-Prado, M. A., Sosa-Hernández, J. E., Iqbal, H. M. N., Parra-Saldivar, R., & Martínez-Ruiz, M. (2022). Effects of UV and UV-vis Irradiation on the Production of Microalgae and Macroalgae: New Alternatives to Produce Photobioprotectors and Biomedical Compounds. In *Molecules* (Vol. 27, Number 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules27165334>
- Baihaqi, R. A., & Diski Pratama, W. (2023). Feasibility study of utilization of palm oil mill effluent (POME) as a source for microalgae nutrients. In *J. Emerg. Sci. Eng* (Vol. 2023, Number 1). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Barta, D. G., Coman, V., & Vodnar, D. C. (2021). Microalgae as sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids: Biotechnological aspects. *Algal Research*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102410>
- Borges Lopes, L. D., Soares, R. C., de Freitas, R. M., Amarante, D. O., de Carvalho, F. C. T., Cavalcante, K. M. dos S. P., de Sousa, O. V., & de Menezes, F. G. R. (2025). Co-culture of microalgae and bacteria for the production of bioactive compounds. In *Annals of Microbiology* (Vol. 75, Number 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13213-025-01804-y>
- Carino, J. D., & Vital, P. G. (2023). Characterization of isolated UV-C-irradiated mutants of microalga *Chlorella vulgaris* for future biofuel application. *Environment, Development and Sustainability*, 25(2), 1258–1275.

- <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02091-8>
- Chen, J., Guo, W., Xia, M., Li, W., & Yang, K. (2018). In situ measurement of seawater salinity with an optical refractometer based on total internal reflection method. *Optics Express*, 26(20), 25510. <https://doi.org/10.1364/oe.26.025510>
- Chu, B., Zhao, J., Zheng, H., Gong, J., Chen, K., Zhang, S., Xiao, G., & He, Y. (2021a). Performance of led with mixed wavelengths or two-phase culture on the growth and lipid accumulation of chlorella pyrenoidosa. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 90–96. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6098>
- Chu, B., Zhao, J., Zheng, H., Gong, J., Chen, K., Zhang, S., Xiao, G., & He, Y. (2021b). Performance of led with mixed wavelengths or two-phase culture on the growth and lipid accumulation of chlorella pyrenoidosa. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 90–96. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6098>
- Codex Alimentarius. (2024). *GUIDELINES ON NUTRITION LABELLING*.
- Damgaard, M. V., & Treebak, J. T. (2022). Protocol for qPCR analysis that corrects for cDNA amplification efficiency. *STAR Protocols*, 3(3). <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2022.101515>
- Ding, G. T., Mohd Yasin, N. H., Takriff, M. S., Kamarudin, K. F., Salihon, J., Yaakob, Z., & Mohd Hakimi, N. I. N. (2020a). Phycoremediation of palm oil mill effluent (POME) and CO₂ fixation by locally isolated microalgae: Chlorella sorokiniana UKM2, Coelastrella sp. UKM4 and Chlorella pyrenoidosa UKM7. *Journal of Water Process Engineering*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101202>
- Ding, G. T., Mohd Yasin, N. H., Takriff, M. S., Kamarudin, K. F., Salihon, J., Yaakob, Z., & Mohd Hakimi, N. I. N. (2020b). Phycoremediation of palm oil mill effluent (POME) and CO₂ fixation by locally isolated microalgae: Chlorella sorokiniana UKM2, Coelastrella sp. UKM4 and Chlorella pyrenoidosa UKM7. *Journal of Water Process Engineering*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101202>
- Djarot, I. N., Pawignya, H., Handayani, T., Widyastuti, N., Nuha, N., Arianti, F. D., Pertiwi, M. D., Rifai, A., Isharyadi, F., Wijayanti, S. P., & Nur, M. M. A. (2024). Enhancing sustainability: microalgae cultivation for biogas enrichment and phycoremediation of palm oil mill effluent - a comprehensive review. In *Environmental Pollutants and Bioavailability* (Vol. 36, Number 1). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/26395940.2024.2347314>
- Emparan, Q., Jye, Y. S., Danquah, M. K., & Harun, R. (2020a). Cultivation of Nannochloropsis sp. microalgae in palm oil mill effluent (POME) media for phycoremediation and biomass production: Effect of microalgae cells with and without beads. *Journal of Water Process Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101043>
- Emparan, Q., Jye, Y. S., Danquah, M. K., & Harun, R. (2020b). Cultivation of Nannochloropsis sp. microalgae in palm oil mill effluent (POME) media for phycoremediation and biomass production: Effect of microalgae cells with and without beads. *Journal of Water Process Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101043>

- Esteves, M. V., Marques, D. M. C., de Almeida, J. D., Faria, N. T., & Ferreira, F. C. (2025). Marine Microalgae–Microorganism Co-Cultures: An Insight into *Nannochloropsis* sp. Use and Biotechnological Applications. In *Foods* (Vol. 14, Number 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods14091522>
- European Parliament and of the Council. (2010). *of the European Parliament and of the Council with regard to the list of nutrition claims (Text with EEA relevance)*.
- Fathy, W. A., Techen, N., Elsayed, K. N. M., Essawy, E. A., Tawfik, E., Abdelhameed, M. S., Hammouda, O., & Ross, S. A. (2023). Insights into random mutagenesis techniques to enhance biomolecule production in microalgae: Implications for economically viable bioprocesses. In *International Aquatic Research* (Vol. 15, Number 2, pp. 85–102). Islamic Azad University of Tonekabon. <https://doi.org/10.22034/iar.2023.1982761.1419>
- Fernando, J. S. R., Premaratne, M., Dinalankara, D. M. S. D., Perera, G. L. N. J., & Ariyadasa, T. U. (2021). Cultivation of microalgae in palm oil mill effluent (POME) for astaxanthin production and simultaneous phycoremediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105375>
- Ferrer-Ledo, N., van Oossanen, S., Wijffels, R. H., Evers, W. A. C., Südfeld, C., Janssen, M., Teles Dominguez Cabanelas, I., & Barbosa, M. J. (2025). Effect of incident light and light gradients on eicosapentaenoic acid distribution between lipid classes in *Nannochloropsis oceanica*. *Journal of Applied Phycology*, 37(1), 163–179. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03373-0>
- Ganuza, E., Etomi, E. H., Olson, M., & Whisner, C. M. (2024). Omega-3 eicosapentaenoic polar-lipid rich extract from microalgae *Nannochloropsis* decreases plasma triglycerides and cholesterol in a real-world normolipidemic supplement consumer population. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1293909>
- Geneaid. (2020). *Genomic DNA Mini Kit (Plant) Protocol*. www.geneaid.com
- Gkioni, M. D., Andriopoulos, V., Koutra, E., Hatziantoniou, S., Kornaros, M., & Lamari, F. N. (2022). Ultrasound-Assisted Extraction of *Nannochloropsis oculata* with Ethanol and Betaine: 1,2-Propanediol Eutectic Solvent for Antioxidant Pigment-Rich Extracts Retaining Nutritious the Residual Biomass. *Antioxidants*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/antiox11061103>
- Helamieh, M., Reich, M., Bory, S., Rohne, P., Riebesell, U., Kerner, M., & Kümmerer, K. (2022). Blue-green light is required for a maximized fatty acid unsaturation and pigment concentration in the microalga *Acutodesmus obliquus*. *Lipids*, 57(4–5), 221–232. <https://doi.org/10.1002/lipd.12343>
- Ichihara, K., & Fukubayashi, Y. (2010). Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography. *Journal of Lipid Research*, 51(3), 635–640. <https://doi.org/10.1194/jlr.D001065>
- Ievina, B., & Romagnoli, F. (2025). Unveiling underlying factors for optimizing light spectrum to enhance microalgae growth. In *Bioresource Technology* (Vol. 418). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131980>
- Kanagesan, K., Chadayam, P., Paramasivam, P., Ganeson, Y., Govindan, N.,

- Ramaraj, R., & Maniam, G. P. (2025). Cultivation of *Nannochloropsis oculata* in palm oil mill effluent (POME) under different monochromatic light-emitting diode (LED) light wavelengths for biodiesel production. *Biofuels*, 16(8), 896–904. <https://doi.org/10.1080/17597269.2025.2468043>
- Kazim, A., Omar, W. S. A. W., Razak, N. H. A., Musa, N. L. W., Halim, R. Ab. H., & Mohamed, S. R. (2014). *Proceedings of the International Conference on Science, Technology and Social Sciences*. <https://doi.org/DOI10.1007/978-981-287-077-3>
- Kent, M., Welladsen, H. M., Mangott, A., & Li, Y. (2015). Nutritional evaluation of Australian microalgae as potential human health supplements. *PLoS ONE*, 10(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118985>
- Khoo, K. S., Ahmad, I., Chew, K. W., Iwamoto, K., Bhatnagar, A., & Show, P. L. (2023). Enhanced microalgal lipid production for biofuel using different strategies including genetic modification of microalgae: A review. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 96). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2023.101071>
- Kumar, P. K. P., & Krishna, A. G. G. (2015). Physicochemical characteristics of commercial coconut oils produced in India. *Grasas y Aceites*, 66(1). <https://doi.org/10.3989/gya.0228141>
- Kumaran, M., Palanisamy, K. M., Bhuyar, P., Maniam, G. P., Rahim, M. H. A., & Govindan, N. (2023a). Agriculture of microalgae *Chlorella vulgaris* for polyunsaturated fatty acids (PUFAs) production employing palm oil mill effluents (POME) for future food, wastewater, and energy nexus. *Energy Nexus*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100169>
- Kumaran, M., Palanisamy, K. M., Bhuyar, P., Maniam, G. P., Rahim, M. H. A., & Govindan, N. (2023b). Agriculture of microalgae *Chlorella vulgaris* for polyunsaturated fatty acids (PUFAs) production employing palm oil mill effluents (POME) for future food, wastewater, and energy nexus. *Energy Nexus*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100169>
- Kumsiri, B., Pekkoh, J., Pathom-aree, W., Lumyong, S., & Pumas, C. (2018a). Synergistic effect of co-culture of microalga and actinomycete in diluted chicken manure digestate for lipid production. *Algal Research*, 33, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.05.020>
- Kumsiri, B., Pekkoh, J., Pathom-aree, W., Lumyong, S., & Pumas, C. (2018b). Synergistic effect of co-culture of microalga and actinomycete in diluted chicken manure digestate for lipid production. *Algal Research*, 33, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.05.020>
- Li, S., Tao, Y., Zhan, X. M., Dao, G. H., & Hu, H. Y. (2020). UV-C irradiation for harmful algal blooms control: A literature review on effectiveness, mechanisms, influencing factors and facilities. In *Science of the Total Environment* (Vol. 723). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137986>
- Liu, B., Eltanahy, E. E., Liu, H., Chua, E. T., Thomas-Hall, S. R., Wass, T. J., Pan, K., & Schenk, P. M. (2020a). Growth-promoting bacteria double eicosapentaenoic acid yield in microalgae. *Bioresource Technology*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123916>
- Liu, B., Eltanahy, E. E., Liu, H., Chua, E. T., Thomas-Hall, S. R., Wass, T. J., Pan,

- K., & Schenk, P. M. (2020b). Growth-promoting bacteria double eicosapentaenoic acid yield in microalgae. *Bioresource Technology*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123916>
- Liufu, W., Xueyan, M., Xuxiong, H., Haibo, W., Wu, J., Wanwen, C., Yufeng, W., & Pao, X. (2025). *A nitrogen deprivation gradient triggers transcriptional reprogramming for lipid biosynthesis in Auxenochlorella pyrenoidosa*.
- Liyanaarachchi, V. C., Premaratne, M., Ariyadasa, T. U., Nimarshana, P. H. V., & Malik, A. (2021). Two-stage cultivation of microalgae for production of high-value compounds and biofuels: A review. In *Algal Research* (Vol. 57). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102353>
- Low, S. S., Bong, K. X., Mubashir, M., Cheng, C. K., Lam, M. K., Lim, J. W., Ho, Y. C., Lee, K. T., Munawaroh, H. S. H., & Show, P. L. (2021). Microalgae cultivation in palm oil mill effluent (POME) treatment and biofuel production. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Number 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su13063247>
- Ma, C., Ren, H., Xing, D., Xie, G., Ren, N., & Liu, B. (2019). Mechanistic understanding towards the effective lipid production of a microalgal mutant strain *Scenedesmus* sp. Z-4 by the whole genome bioinformation. *Journal of Hazardous Materials*, 375, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.04.079>
- Ma, X. N., Chen, T. P., Yang, B., Liu, J., & Chen, F. (2016). Lipid production from *Nannochloropsis*. *Marine Drugs*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/md14040061>
- Ma, Y., Wang, Z., Yu, C., Yin, Y., & Zhou, G. (2014). Evaluation of the potential of 9 *Nannochloropsis* strains for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 167, 503–509. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.047>
- Meng, Y., Cao, X., Yang, M., Liu, J., Yao, C., & Xue, S. (2019). Glycerolipid remodeling triggered by phosphorus deficiency enhances triacylglycerol accumulation and recovery in *Nannochloropsis oceanica*. *Algal Research*, 66, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/pcp/pcy221>
- Mitra, M., Patidar, S. K., & Mishra, S. (2015). Integrated process of two stage cultivation of *Nannochloropsis* sp. for nutraceutically valuable eicosapentaenoic acid along with biodiesel. *Bioresource Technology*, 193, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.033>
- Mohamed Sedek, S. A., Arifin, M. A., & Abdul Munaim, M. S. (2023). qPCR Analysis of Quorum Sensing Genes of *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 10(1), 43–50. <https://doi.org/10.15282/ijets.10.1.2023.1006>
- Mohd Udaiyappan, A. F., Hasan, H. A., Takriff, M. S., Sheikh Abdullah, S. R., Mohd Yasin, N. H., & Ji, B. (2021). Cultivation and application of *Scenedesmus* sp. strain UKM9 in palm oil mill effluent treatment for enhanced nutrient removal. *Journal of Cleaner Production*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126295>
- Murprayana, R., Pukan, M. S. H., Soedarmodjo, T. P., Widjaja, A., & Wirawasista, H. (2021a). The effects of UV-C and HNO₂ mutagen, pH and the use of commercial fertilizers on the growth of microalgae *Botryococcus braunii*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012095>

- Murprayana, R., Pukan, M. S. H., Soedarmodjo, T. P., Widjaja, A., & Wirawasista, H. (2021b). The effects of UV-C and HNO₂ mutagen, pH and the use of commercial fertilizers on the growth of microalgae *Botryococcus braunii*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012095>
- Murprayana, R., Pukan, M. S. H., Soedarmodjo, T. P., Widjaja, A., & Wirawasista, H. (2021c). The effects of UV-C and HNO₂ mutagen, pH and the use of commercial fertilizers on the growth of microalgae *Botryococcus braunii*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012095>
- Mursalin, Hariyadi, P., Purnomo, E. H., Anarwulan, N., & Fardiaz, D. (2016). *DETERMINATION OF APPROPRIATE TECHNIQUE ON CRYSTALLIZATION AND FRACTIONATION OF COCONUT OIL*.
- Ooi, W. C., Dominic, D., Kassim, M. A., & Baidurah, S. (2023). Biomass Fuel Production through Cultivation of Microalgae *Coccomyxa dispar* and *Scenedesmus parvus* in Palm Oil Mill Effluent and Simultaneous Phycoremediation. *Agriculture (Switzerland)*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture13020336>
- Palanisamy, K. M., Bhuyar, P., Mohd, M. H., Govindan, N., & Maniam, G. P. (2023). Cultivation of Microalgae *Spirulina platensis* Biomass Using Palm Oil Mill Effluent for Phycocyanin Productivity and Future Biomass Refinery Attributes. *International Journal of Energy Research*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2257271>
- Piyatilleke, S., Thevarajah, B., Nimarshana, P. H. V., & Ariyadasa, T. U. (2024a). Large-scale production of *Nannochloropsis*-derived EPA: Current status and perspectives via a biorefinery context. In *Food and Bioproducts Processing* (Vol. 148, pp. 255–268). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.09.002>
- Piyatilleke, S., Thevarajah, B., Nimarshana, P. H. V., & Ariyadasa, T. U. (2024b). Large-scale production of *Nannochloropsis*-derived EPA: Current status and perspectives via a biorefinery context. In *Food and Bioproducts Processing* (Vol. 148, pp. 255–268). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.09.002>
- Resdi, R., Lim, J. S., & Idris, A. (2021a). Batch kinetics of nutrients removal for palm oil mill effluent and recovery of lipid by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Water Process Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101767>
- Resdi, R., Lim, J. S., & Idris, A. (2021b). Batch kinetics of nutrients removal for palm oil mill effluent and recovery of lipid by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Water Process Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101767>
- Ryckebosch, E., Bruneel, C., Termote-Verhalle, R., Goiris, K., Muylaert, K., & Foubert, I. (2014). Nutritional evaluation of microalgae oils rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids as an alternative for fish oil. *Food Chemistry*, 160, 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.087>
- Ryu, A. J., Kang, N. K., Jeon, S., Hur, D. H., Lee, E. M., Lee, D. Y., Jeong, B. R., Chang, Y. K., & Jeong, K. J. (2020). Development and characterization of a *Nannochloropsis* mutant with simultaneously enhanced growth and lipid production. *Biotechnology for Biofuels*, 13(1).

- <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01681-4>
- Sánchez, M. D. M., Callejón, M. J. J., Medina, A. R., Moreno, P. A. G., López, E. N., Cerdán, L. E., & Grima, E. M. (2023). Obtaining EPA-rich polar lipids from microalga *Nannochloropsis* sp. by silica-gel chromatography using non-toxic solvents. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 15519–15530. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02520-2>
- Santin, A., Russo, M. T., Ferrante, M. I., Balzano, S., Orefice, I., & Sardo, A. (2021a). Highly Valuable Polyunsaturated Fatty Acids from Microalgae: Strategies to Improve Their Yields and Their Potential Exploitation in Aquaculture. In *Molecules* (Vol. 26, Number 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules26247697>
- Santin, A., Russo, M. T., Ferrante, M. I., Balzano, S., Orefice, I., & Sardo, A. (2021b). Highly Valuable Polyunsaturated Fatty Acids from Microalgae: Strategies to Improve Their Yields and Their Potential Exploitation in Aquaculture. In *Molecules* (Vol. 26, Number 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules26247697>
- Sharma, J., Sarmah, P., & Bishnoi, N. R. (2020). *Market Perspective of EPA and DHA Production from Microalgae*.
- Sharma, K., & Schenk, P. M. (2015a). Rapid induction of omega-3 fatty acids (EPA) in *Nannochloropsis* sp. by UV-C radiation. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(6), 1243–1249. <https://doi.org/10.1002/bit.25544>
- Sharma, K., & Schenk, P. M. (2015b). Rapid induction of omega-3 fatty acids (EPA) in *Nannochloropsis* sp. by UV-C radiation. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(6), 1243–1249. <https://doi.org/10.1002/bit.25544>
- Sharma, K., & Schenk, P. M. (2015c). Rapid induction of omega-3 fatty acids (EPA) in *Nannochloropsis* sp. by UV-C radiation. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(6), 1243–1249. <https://doi.org/10.1002/bit.25544>
- Sirisuk, P., Ra, C. H., Jeong, G. T., & Kim, S. K. (2018a). Effects of wavelength mixing ratio and photoperiod on microalgal biomass and lipid production in a two-phase culture system using LED illumination. *Bioresource Technology*, 253, 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.020>
- Sirisuk, P., Ra, C. H., Jeong, G. T., & Kim, S. K. (2018b). Effects of wavelength mixing ratio and photoperiod on microalgal biomass and lipid production in a two-phase culture system using LED illumination. *Bioresource Technology*, 253, 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.020>
- Soedarmodjo, T. P., Apamarta, H. W., & Widjaja, A. (2021). The Effect of Nutrients Mixture on The Biomass and Lipid Production from Microalgae *Botryococcus braunii* Mutated by UV-C Rays. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(2), 182. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.69228>
- Soedarmodjo, T. P., & Widjaja, A. (2021a). *Effect of Reducing Nitrogen Levels on Growth and Lipid Productivity of Microalgae Botryococcus braunii Exposed by UV-C Rays*.
- Soedarmodjo, T. P., & Widjaja, A. (2021b). *Effect of Reducing Nitrogen Levels on Growth and Lipid Productivity of Microalgae Botryococcus braunii Exposed by UV-C Rays*.
- Sung, M. G., Han, J. I., Lee, B., & Chang, Y. K. (2018). Wavelength shift strategy to enhance lipid productivity of *Nannochloropsis gaditana*. *Biotechnology for*

- Biofuels*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1067-2>
- Tiwari, V., Jin, B., Sun, olivia, Gonzales, E., Chen, M.-H., Wu, X., Shah, H., Zhang, A., Herman, M., Spracklen, C., Goodman, R., & Brenner, C. (2025). *Glycerol-3-phosphate activates ChREBP, FGF21 transcription and lipogenesis in citrin deficiency*.
- Tortora. (2014). Microbiology An Introduction Thirteenth Edition. In *Astrobiology: an Introduction*.
- Wan Razali, W. A., Evans, C. A., & Pandhal, J. (2022). Comparative Proteomics Reveals Evidence of Enhanced EPA Trafficking in a Mutant Strain of *Nannochloropsis oculata*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.838445>
- Wang, Y. Y., Xu, S. M., Cao, J. Y., Wu, M. N., Lin, J. H., Zhou, C. X., Zhang, L., Zhou, H. B., Li, Y. R., Xu, J. L., & Yan, X. J. (2022a). Co-cultivation of *Isochrysis galbana* and *Marinobacter* sp. can enhance algal growth and docosahexaenoic acid production. *Aquaculture*, 556. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738248>
- Wang, Y. Y., Xu, S. M., Cao, J. Y., Wu, M. N., Lin, J. H., Zhou, C. X., Zhang, L., Zhou, H. B., Li, Y. R., Xu, J. L., & Yan, X. J. (2022b). Co-cultivation of *Isochrysis galbana* and *Marinobacter* sp. can enhance algal growth and docosahexaenoic acid production. *Aquaculture*, 556. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738248>
- Wen, J., Huang, L., Wang, D., Fan, G., & Yang, X. (2025). UV Mutagenesis Enhances DHA Biosynthesis in *Schizochytrium* sp. via Metabolic Reprogramming. *Biotechnology Journal*, 20(9). <https://doi.org/10.1002/biot.70107>
- Widjaja, A., Chien, C. C., & Ju, Y. H. (2009). Study of increasing lipid production from fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 40(1), 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2008.07.007>
- Wongsansilp, T., Yokthongwattana, K., Roytrakul, S., & Juntawong, N. (2019). β -carotene production of UV-C induced *dunaliella salina* under salt stress. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(1), 193–200. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.1.20>
- Wu, D., Hou, Y., Cheng, J., Han, T., Hao, N., Zhang, B., Fan, X., Ji, X., Chen, F., Gong, D., Wang, L., McGinn, P., Zhao, L., & Chen, S. (2022a). Transcriptome analysis of lipid metabolism in response to cerium stress in the oleaginous microalga *Nannochloropsis oculata*. *Science of the Total Environment*, 838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156420>
- Wu, D., Hou, Y., Cheng, J., Han, T., Hao, N., Zhang, B., Fan, X., Ji, X., Chen, F., Gong, D., Wang, L., McGinn, P., Zhao, L., & Chen, S. (2022b). Transcriptome analysis of lipid metabolism in response to cerium stress in the oleaginous microalga *Nannochloropsis oculata*. *Science of the Total Environment*, 838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156420>
- Wu, H., Qiu, Y., Feng, X., Zhang, Y., Xue, Y., Xue, W., & Liu, C. (2024). *The expression of transcription factor WRINKLED1 of Dunaliella parva promotes the accumulation of lipids in Auxenochlorella protothecoides*.
- Ye, Y., Liu, M., Yu, L., Sun, H., & Liu, J. (2024). *Nannochloropsis as an Emerging Algal Chassis for Light-Driven Synthesis of Lipids and High-Value Products*.

- In *Marine Drugs* (Vol. 22, Number 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/md22020054>
- You, J., Mallery, K., Mashek, D. G., Sanders, M., Hong, J., & Hondzo, M. (2020). Microalgal swimming signatures and neutral lipids production across growth phases. *Biotechnology and Bioengineering*, 117(4), 970–980. <https://doi.org/10.1002/bit.27271>
- Yu, B., Qian, S., Liu, Q., Jin, C., & Zhou, X. (2022). The Response of Bio-Component Production of *Nannochloris oculata* to the Combinations of Monochromatic Light. *Journal of Ocean University of China*, 21(1), 243–251. <https://doi.org/10.1007/s11802-022-4896-3>
- Zhang An'd, K., & Kojima, E. (1998). Effect of Light Intensity on Colony Size of Microalga *Botryococcus braunii* in Bubble Column Photobioreactors. In *JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING* (Vol. 86, Number 6).
- Ziaei, S. M., & Szulczyk, K. R. (2022). Estimating the potential of algal biodiesel to improve the environment and mitigate palm oil mill effluents in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130583>

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN HASIL PERCOBAAN

A.1 Kebutuhan POME untuk Konsentrasi Media Kultivasi

Contih Perhitungan :

Untuk menghitung kebutuhan POME untuk konsentrasi POME 15%

$$\text{Kebutuhan POME} = \text{Jumlah Air Laut} \times \text{Dilusi POME}$$

Maka,

$$\text{Kebutuhan POME 15\%} = 500 \text{ mL} \times 15\% = 75 \text{ mL}$$

$$\text{Terdapat 18 Variabel} = 75 \text{ mL} \times 18 \text{ (Include Duplo)}$$

$$\text{Kebutuhan POME} = 1350 \text{ mL}$$

A.2 Kebutuhan NaOH untuk Membuat Larutan NaOH 1 N

Mr NaOH = 40 g/mol

Untuk menghitung kebutuha NaOH untuk membuat larutan NaOH

$$N = \frac{\text{Massa} \times n}{\text{Mr NaOH} \times \text{Volume Air (dalam L)}}$$

Maka

$$1 = \frac{\text{Massa} \times 1}{40 \times 0,2 \text{ L}}$$

Maka, massa yang dibutuhkan adalah 8 gram untuk membuat larutan NaOH 1 N sebanyak 200 mL

A.3 Perhitungan Jumlah Sel dengan Analisis Counting Chamber dan Hasil Pengukuran pH

Contoh Perhitungan :

Tabel A.2 Perhitungan Jumlah Sel

Tabel A.2 Data Rata-Rata Pertumbuhan Mikroalga *N. oculata* WT Cahaya Putih Pada Pertumbuhan Hari Ke-2

A	B	C	D	E	Total	jumlah sel rata rata per kotak
27	55	36	28	33	27	35,8
27	30	32	30	26	27	29

Faktor Pengenceran = 2

Tebal Hemasitometer = 0,1 mm

jumlah sel/kotak Duplo 1 = 35,8

jumlah sel/kotak Duplo 2 = 29

$$\text{jumlah sel/mm}^3 \text{ Duplo 1} = 35,8 \frac{\text{sel}}{\text{kotak}} \times \frac{1 \text{ kotak}}{0,04 \text{ mm}^2} \times \frac{1}{0,1 \text{ mm}} \times 2 = 17.900 \text{ sel/mm}^3$$

$$\text{jumlah sel/mm}^3 \text{ Duplo 2} = 29 \frac{\text{sel}}{\text{kotak}} \times \frac{1 \text{ kotak}}{0,04 \text{ mm}^2} \times \frac{1}{0,1 \text{ mm}} \times 2 = 14.500 \text{ sel/mm}^3$$

$$\text{jumlah sel/mL Duplo 1} = 17.900 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^3} \times 1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{mL}} = 17.900.000 \text{ sel/mL}$$

$$\text{jumlah sel/mL Duplo 2} = 14.500 \frac{\text{sel}}{\text{mm}^3} \times 1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{mL}} = 14.500.000 \text{ sel/mL}$$

$$\text{Rata - rata} = 16.200.000$$

Tabel A.3 Data Rata-rata Pertumbuhan Mikroalga *N. oculata* Pada Cahaya Putih (n=2)

Jumlah Sel (10^6 sel/mL)				
Day	Control		<i>White</i>	
			WT	Mutated
	WT	Mutated	1:3	1:3
0	15	15	15	15
1	5	0.80	16.20	8.15
2	12.10	2.50	18.00	5.35
3	13.2	5.30	18.40	5.65
4	19.70	8.60	21.15	6.45
5	21.30	7.00	21.75	7.90
6	22.20	5.40	22.28	7.95
7	28.65	3.15	36.00	5.18

Tabel A.4 Data Rata-rata Pertumbuhan Mikroalga *N. oculata* Pada Cahaya Merah (n=2)

Jumlah Sel (10^6 sel/mL)				
Day	Control		<i>Merah</i>	
			WT	Mutated
	WT	Mutated	1:3	1:3
0	15	15	15	15
1	8	1.20	17.00	3.85
2	17.7	1.60	22.40	4.55
3	18.20	2.10	26.40	6.20
4	18.70	6.60	24.70	9.10
5	22.30	4.70	31.73	9.40
6	27	2.85	36.75	9.90
7	25.95	2.10	55.20	13.95

Tabel A.5 Data Rata-rata Pertumbuhan Mikroalga *N. oculata* Pada Cahaya Biru-Hijau (n=2)

Jumlah Sel (10^6 sel/mL)				
Day	Control		<i>Biru-hijau</i>	
			WT	Mutated
	WT	Mutated	1:3	1:3
0	15	15	15	15
1	12.3	1.80	16.70	3.45
2	14	2.50	19.95	3.95
3	18.60	7.70	20.05	11.80
4	16.40	8.20	18.95	8.40
5	20.50	5.80	22.65	8.00
6	24.60	1.80	25.20	7.73
7	25.35	4.20	39.75	7.65

A.4 Perhitungan Produktivitas Biomassa

Produksi biomassa dapat diukur berdasarkan berat kering yang diperoleh untuk setiap variabel. Produksi biomassa dihitung dalam g/L. Untuk produktivitas biomassa dihitung dengan g.L. Pada variabelnya dengan perusahaan sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas Biomassa} = \frac{N_y - N_x}{t_y - t_x}$$

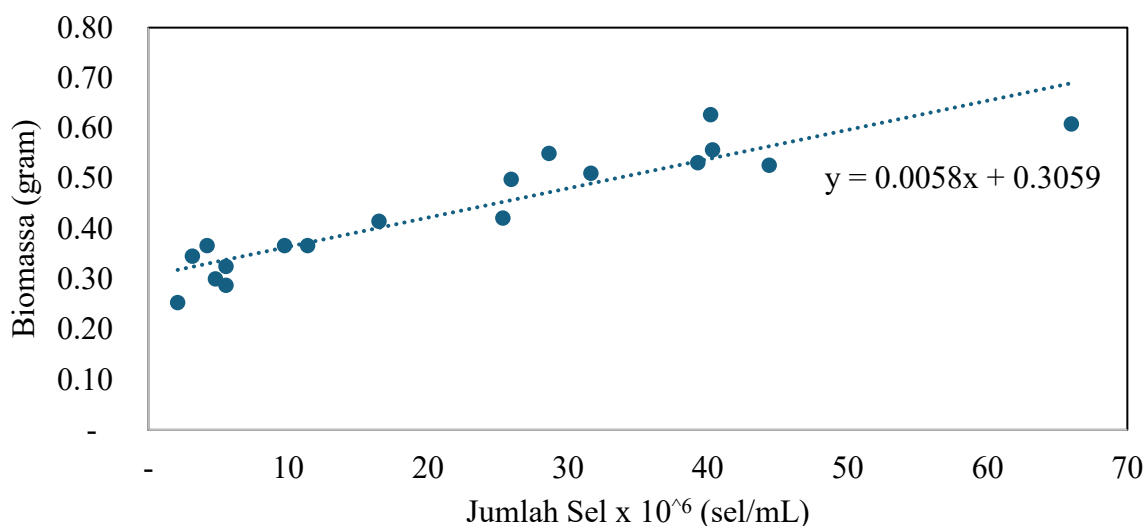
Keterangan

N = Produksi biomassa (g/L)

T = Waktu (hari)

Untuk itu, berikut adalah perhitungan produktivitas biomassa menggunakan data Cahaya putih :

Sebelum menghitung produktivitas biomassa, dibuat grafik mengenai jumlah sel akhir sebagai sumbu y dan dry weight akhir kultur sebagai sumbu x.



Gambar A.1 Kurva Biomassa vs Jumlah Sel Akhir Kultivasi

Dari Persamaan pada grafik, berikut merupakan data yang didapatkan :

a = slope	6E-09
b = intercept	0.3059

Selanjutnya, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Dry weight awal} = (a * \text{jumlah sel awal}) + b$$

$$\begin{aligned} \text{Dry weight awal} &= (0.000000006 * 15000000) + 0.3059 \\ \text{Dry weight awal} &= 0.4 \text{ gr} \end{aligned}$$

Selanjutnya, menghitung selisih konsentrasi biomassa sebagai berikut :

$$\text{Selisih konsentrasi biomassa} = \text{dry weight akhir} - \text{awal}$$

$$\text{selisih konsentrasi biomassa} = 1,0214 - 0,4 = 0,63 \text{ gr}$$

Selanjutnya, Menghitung Produktivitas biomassa sebagai berikut :

$$\text{Produktivitas biomassa} = \frac{\text{selisih konsentrasi biomassa}}{\text{Waktu Kultivasi} \times \text{besar kultur (dalam L)}}$$

$$\text{Produktivitas biomassa} = \frac{0,63 \text{ g}}{7 \text{ hari} \times 0,5 \text{ L}} = 0,18 \frac{\text{g}}{\text{L hari}}$$

Dengan Perhitungan yang sama, didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel A.6 Hasi Perhitungan Produktivitas Biomassa Pada Berbagai Variabel

Variabel	Jumlah Sel Akhir	DW Awal	Tipe Liar						
			Biomassa + Kertas	Kertas Kosong	Biomass (DW Akhir)	Average	SD	produktivitas biomassa (g/L hari)	produktivitas biomassa (g/L hari)
Putih 1	31,650,000.00	0.40	1.381	0.8703	1.0214	1.0678	1.07 ± 0.07	0.18	0.19 ± 0.02
Putih 2	40,350,000.00	0.40	1.425	0.8679	1.1142			0.21	
Control Putih	28,650,000.00	0.40	1.419	0.869	1.1			0.20	
Merah 1	66,000,000.00	0.40	1.471	0.8623	1.2174	1.135	1.14 ± 0.12	0.23	0.21 ± 0.03
Merah 2	44,400,000.00	0.40	1.377	0.8507	1.0526			0.19	
Control Merah	25,950,000.00	0.40	1.375	0.8766	0.9968			0.17	
Biru Hijau 1	40,200,000.00	0.40	1.49	0.863	1.254	1.1585	1.16 ± 0.14	0.25	0.22 ± 0.04
Biru Hijau 2	39,300,000.00	0.40	1.4035	0.872	1.063			0.19	
Control Biru Hijau	25,350,000.00	0.40	1.305	0.8835	0.843			0.13	
Mutated									
Putih 1	4,800,000.00	0.40	1.1564	0.8558	0.6012	0.626	0.63 ± 0.04	0.06	0.07 ± 0.010
Putih 2	5,550,000.00	0.40	1.184	0.8586	0.6508			0.07	
Control Putih	3,150,000.00	0.40	1.207	0.861	0.692			0.08	
Merah 1	11,400,000.00	0.40	1.23	0.863	0.734	0.782	0.78 ± 0.07	0.10	0.11 ± 0.02
Merah 2	16,500,000.00	0.40	1.293	0.878	0.83			0.12	
Control Merah	2,100,000.00	0.40	1.107	0.8536	0.5068			0.03	
Biru Hijau	5,550,000.00	0.40	1.163	0.8753	0.5754	0.6544	0.65 ± 0.11	0.05	0.07 ± 0.032

1									
Biru Hijau 2	9,750,000.00	0.40	1.2427	0.876	0.7334			0.10	
Control Biru Hijau	4,200,000.00	0.40	1.238	0.8714	0.7332			0.10	

A.5 Perhitungan Kadar Lipid

Untuk menghitung kadar lipid digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Kadar\ Lipid\ (\%) = \frac{Berat\ Crude\ Lipid\ (gram)}{Berat\ Biomassa\ Mikroalga\ (gram)} \times 100\%$$

Contoh perhitungan dengan menggunakan data lampu putih perulangan 1 pada strain tipe liar

$$Kadar\ Lipid\ (\%) = \frac{0,196}{1.0214} \times 100\% = 19\%$$

A.6 Perhitungan Produktivitas Lipid

Untuk menghitung produktivitas lipid, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Produktivitas\ Lipid = Produktivitas\ biomassa\ harian \times Kadar\ Lipid$$

Menggunakan data kontrol, berikut adalah contoh perhitungan produktivitas lipid:

$$Produktivitas\ Lipid = 0,18 \times 19\% = 0,03 \frac{g}{L\ hari}$$

Dengan perhitungan yang sama, berikut merupakan hasil perhitungan produktivitas lipid:

Tabel A.7 Hasil Perhitungan Produktivitas Lipid

Variabel	Tipe Liar					
	Biomass (DW Akhir)	Lipid	Yield	SD	produktivitas Lipid (g/L hari)	produktivitas Lipid (g/L hari)
Putih 1	1.0214	0.196	19%	0.34 ± 0.21	0.03	0.07 ± 0.05
Putih 2	1.1142	0.5478	49%		0.10	
Control Putih	1.1	1.0628	97%		0.19	
Merah 1	1.2174	0.3572	29%	0.47 ± 0.25	0.07	0.09 ± 0.04
Merah 2	1.0526	0.6738	64%		0.12	
Control Merah	0.9968	0.7876	79%		0.14	
Biru Hijau 1	1.254	0.5076	40%	0.32 ± 0.11	0.10	0.07 ± 0.04
Biru Hijau 2	1.063	0.259	24%		0.05	
Control Biru Hijau	0.843	0.683	81%		0.10	
Mutated						
Putih 1	0.6012	0.2174	36%	0.32 ± 0.06	0.02	0.02 ± 0.001
Putih 2	0.6508	0.1808	28%		0.02	
Control Putih	0.692	0.6572	95%		0.08	
Merah 1	0.734	0.515	70%	0.79 ± 0.12	0.07	0.09 ± 0.03
Merah 2	0.83	0.7218	87%		0.11	

Control Merah	0.5068	0.1866	37%		0.01	
Biru Hijau 1	0.5754	0.556	97%	0.72 ± 0.34	0.05	0.05 ± 0.002
Biru Hijau 2	0.7334	0.3518	48%		0.05	
Control Biru Hijau	0.7332	0.6206	85%		0.08	

A.8 Perhitungan Dosis Mutasi dengan UV-C dan Persen Kematian Mikroalga

Intensitas cahaya UV-C yang digunakan : 226,3 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

$$\text{Dosis UV} = \text{intensitas} \left(\frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2} \right) \times \text{waktu (s)}$$

$$\text{Dosis UV} = 226,3 \left(\frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2} \right) \times 300 \text{ (s)}$$

$$\text{Dosis UV} = 67890 \frac{\mu\text{J}}{\text{cm}^2} = 67,9 \frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2}$$

Adapun rumus persen kematian jumlah sel mikroalga setelah disinari UV-C, yaitu sebagai berikut :

$$\% \text{kematian} = \frac{\text{sebelum disinari UV C} - \text{setelah disinari UV C}}{\text{sebelum disinari UV C}} \times 100 \quad (3)$$

Contoh perhitungan :

jumlah sel sebelum disinari UV-C = 118.650.000 sel/mL (jumlah sel hari ke-7 dari data pre-kultur

jumlah sel setelah disinari UV-C = 79.800.000 sel/mL

$$\% \text{kematian} = \frac{118.650.000 - 79.800.000}{118.650.000} \times 100$$

$$\% \text{kematian} = 33\%$$

Tabel A.20 Data Fatality Rate Mutasi UV-C

Jumlah Sel Awal	Jumlah Sel Setelah Radiasi	Fatality Rate	Fatality Rate
118,650,000.00	79,800,000.00	33%	33% ± 0.03
	73,500,000.00	38%	
	78,000,000.00	34%	
	81,600,000.00	31%	
	83,400,000.00	30%	

A.9 Hasil Analisis ANOVA & Fit Statics Pengaruh Spektrum Cahaya, Ko-kultur, dan Strain terhadap Kadar EPA *Nannochloropsis oculata*

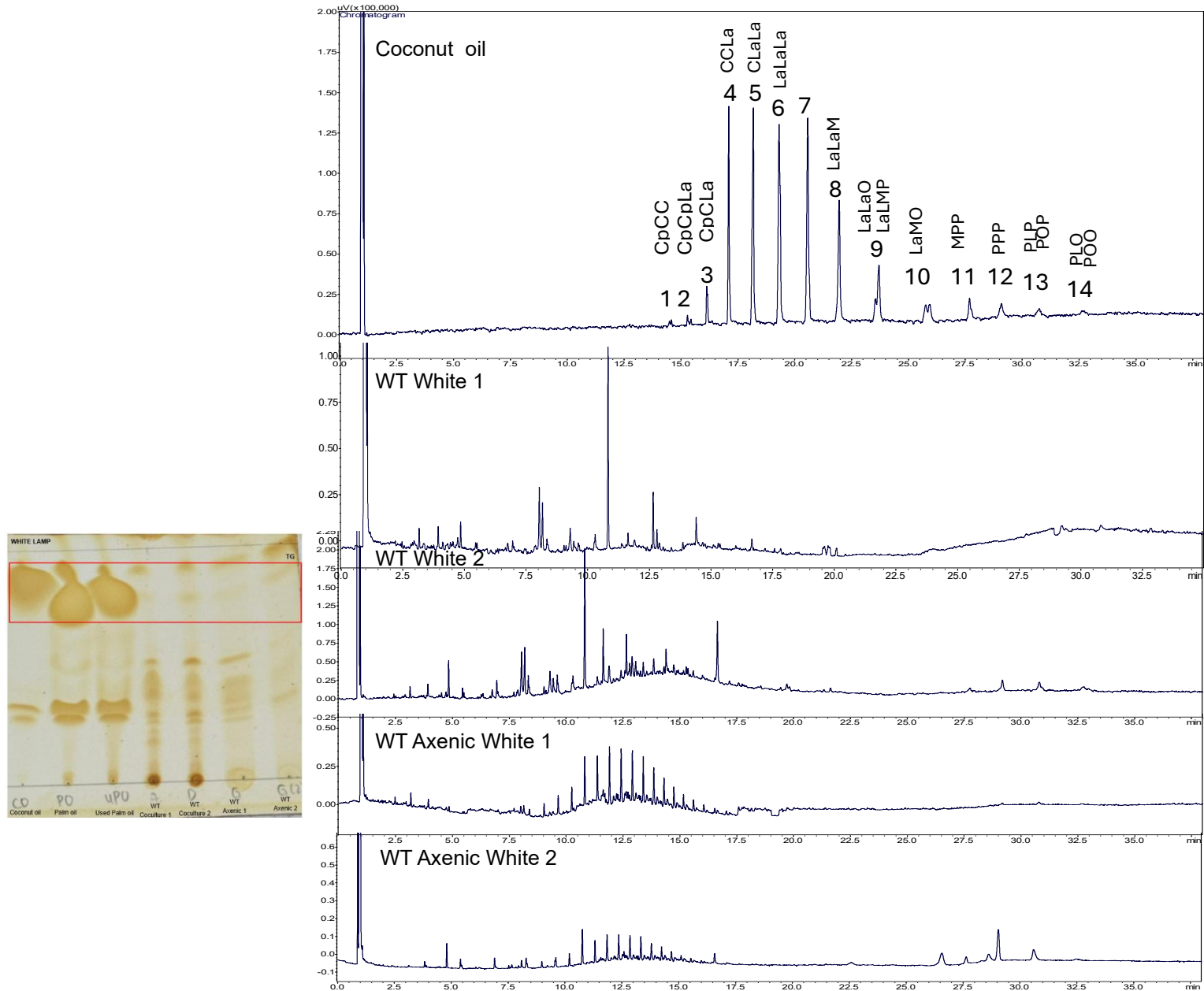
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Keterangan
Model	0.0030	11	0.0003	1.17	0.3944	not significant
A-Lamp	0.0000	2	0.0000	0.0986	0.9068	
B-Coculture	0.0001	1	0.0001	0.4314	0.5237	
C-C	0.0001	1	0.0001	0.2736	0.6105	
AB	0.0013	2	0.0007	2.82	0.0993	
AC	0.0004	2	0.0002	0.8584	0.4483	

BC	0.0004	1	0.0004	1.53	0.2396
ABC	0.0007	2	0.0004	1.54	0.2543
Pure Error	0.0028	12	0.0002		
Cor Total	0.0058	23			

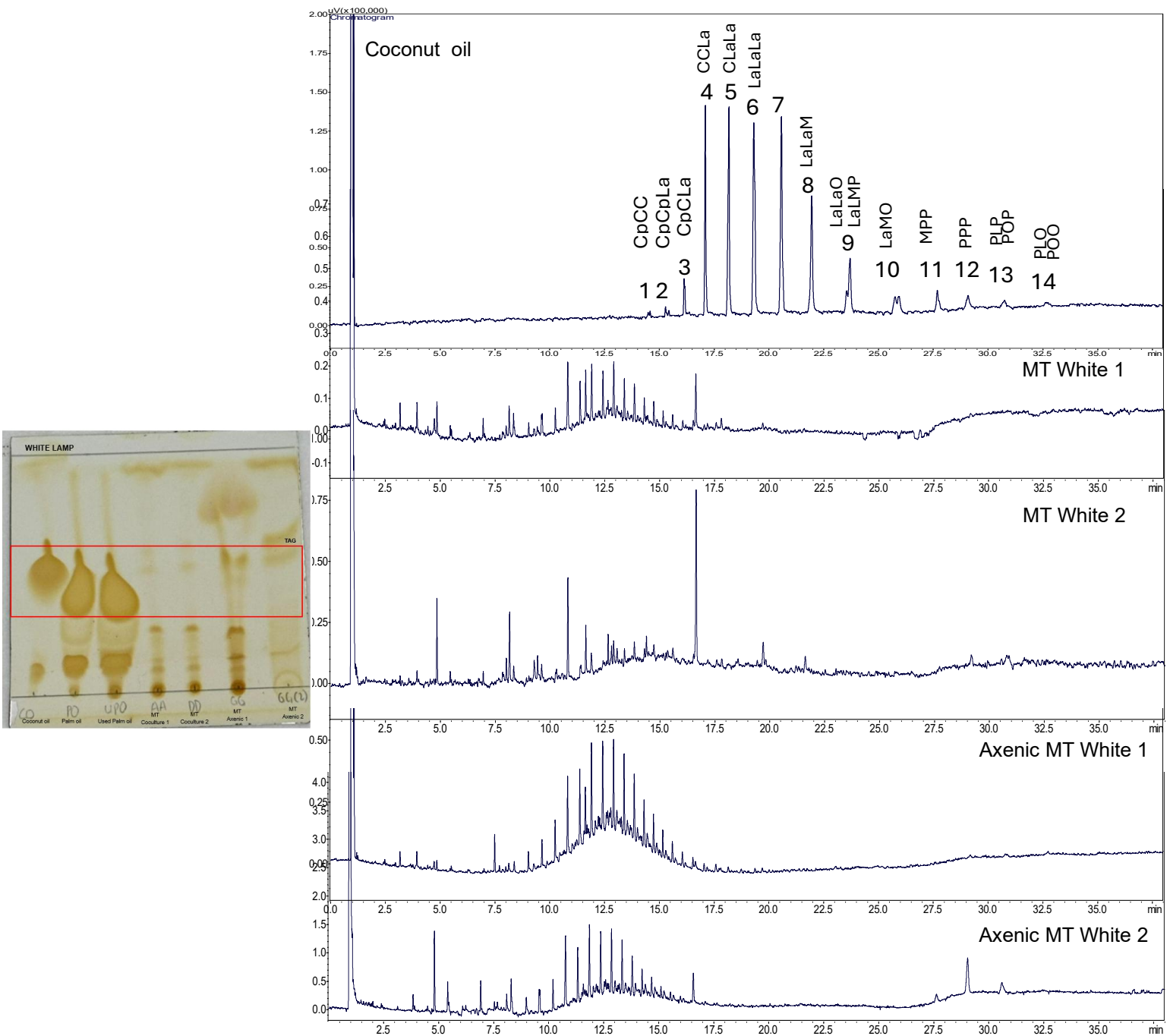
Parameter	Nilai
Std. Dev.	0.0153
Mean	0.0184
C.V. %	82.88
R²	0.5173
Adjusted R²	0.0749
Predicted R²	-0.9307
Adeq Precision	3.0259

LAMPIRAN B

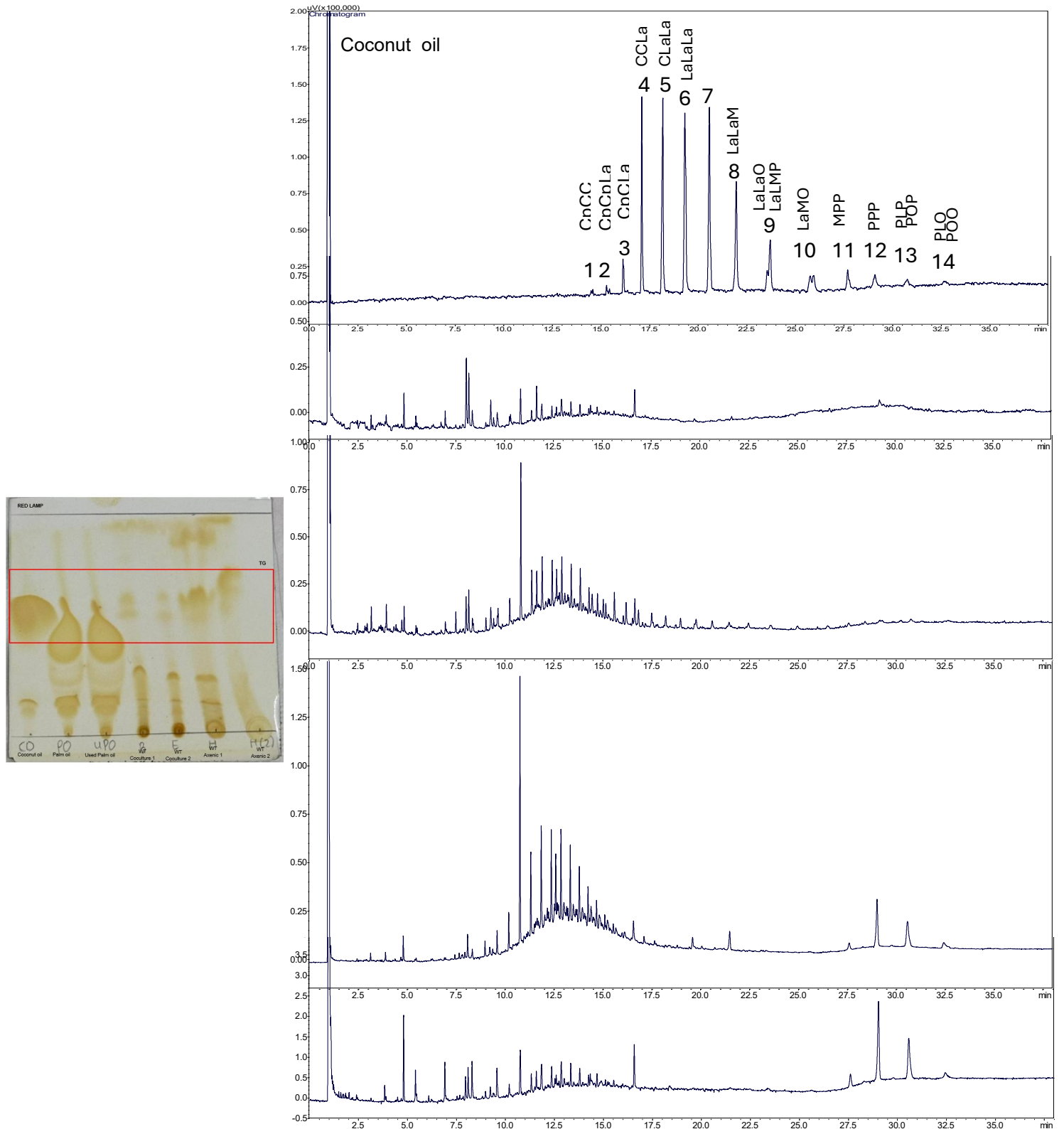
DATA GC FID CRUDE LIPID



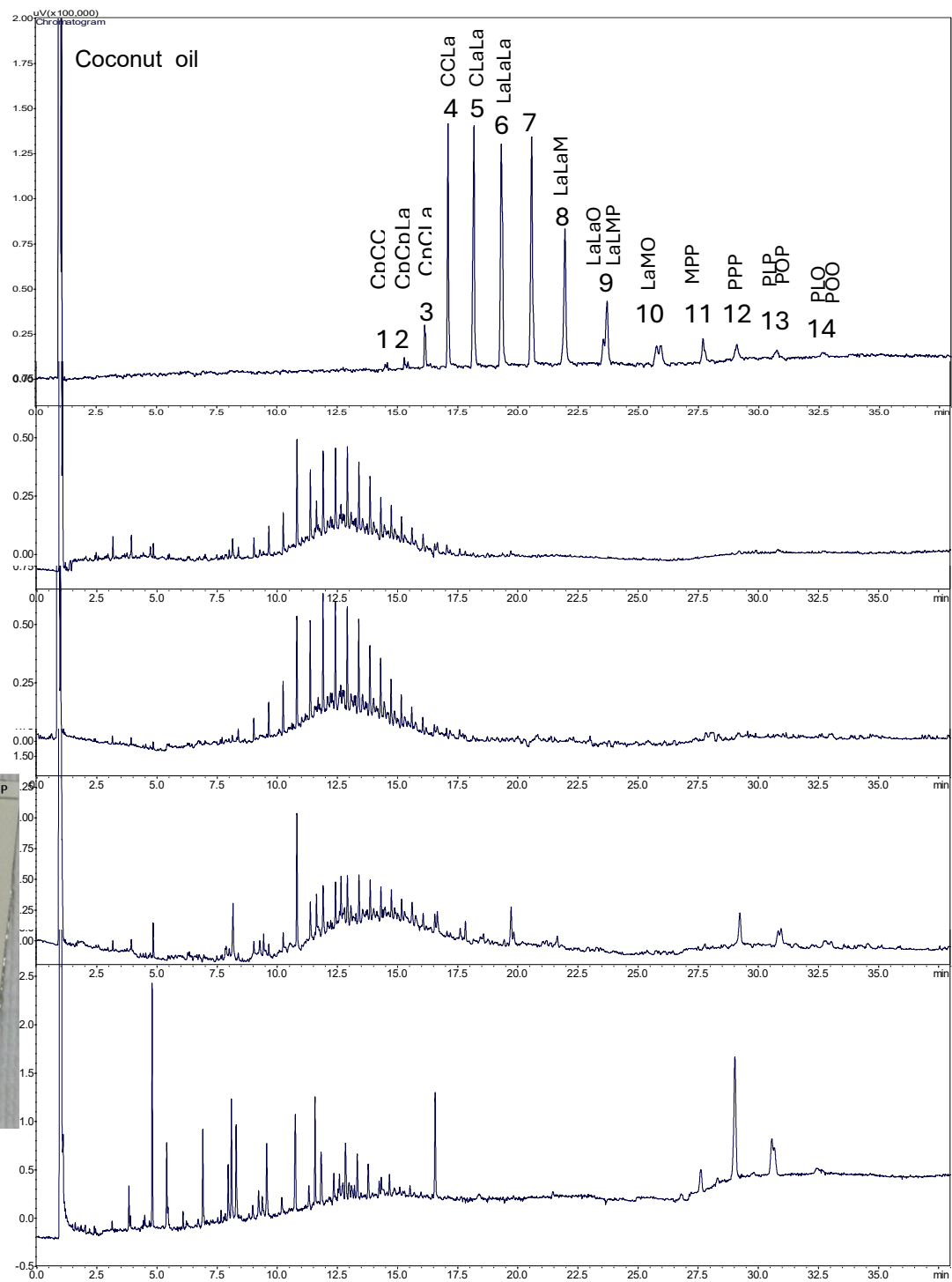
Gambar B.1 TLC& Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture WT White (A), Sampel Co-culture WT White duplo (D), Sampel axenic WT White (G), Sampel axenic WT White duplo (G dup).



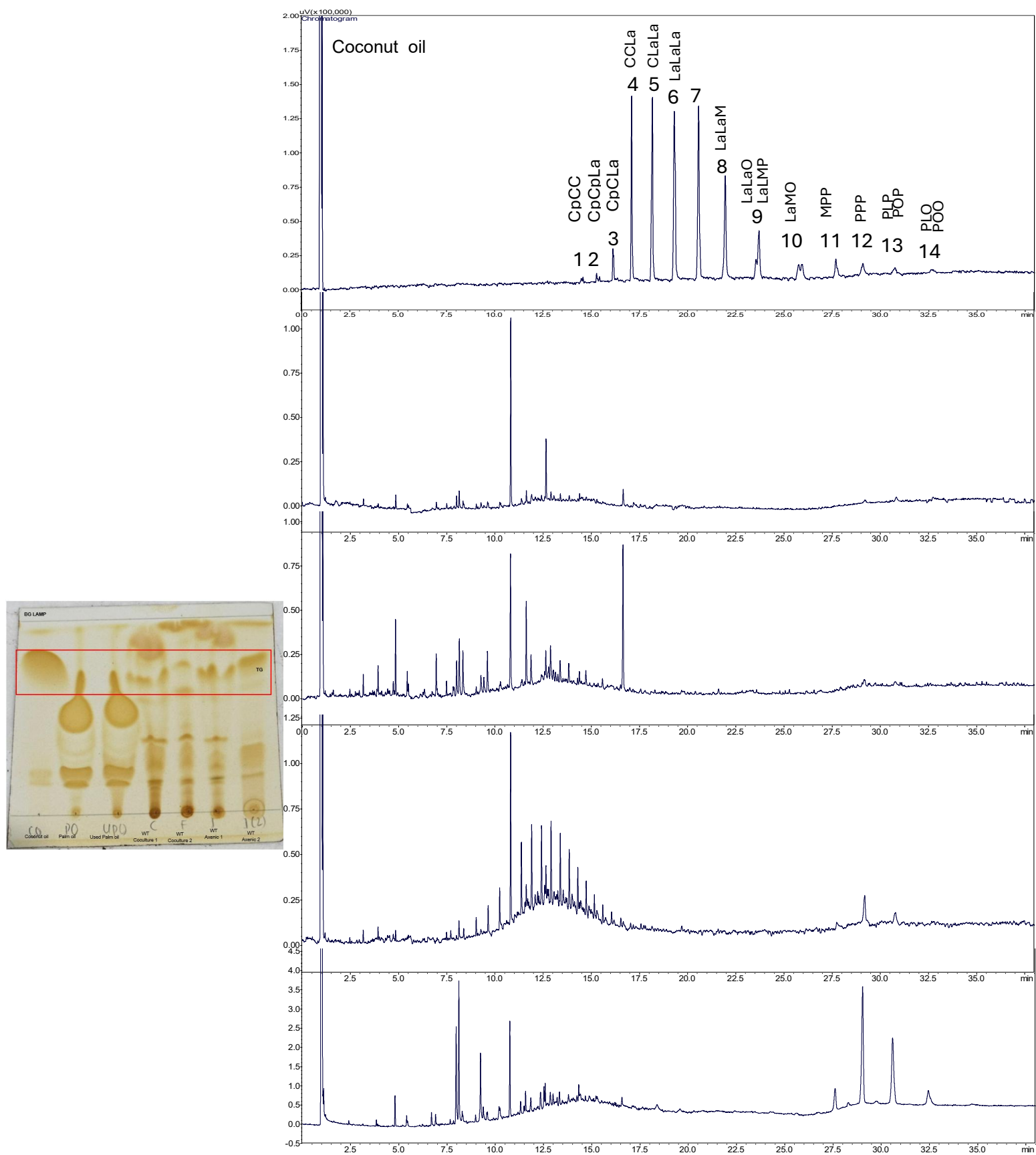
Gambar B.2 TLC & Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture MT White (AA), Sampel Co-culture MT White duplo (DD), Sampel axenic MT White (GG), Sampel axenic MT White duplo (GG dup).



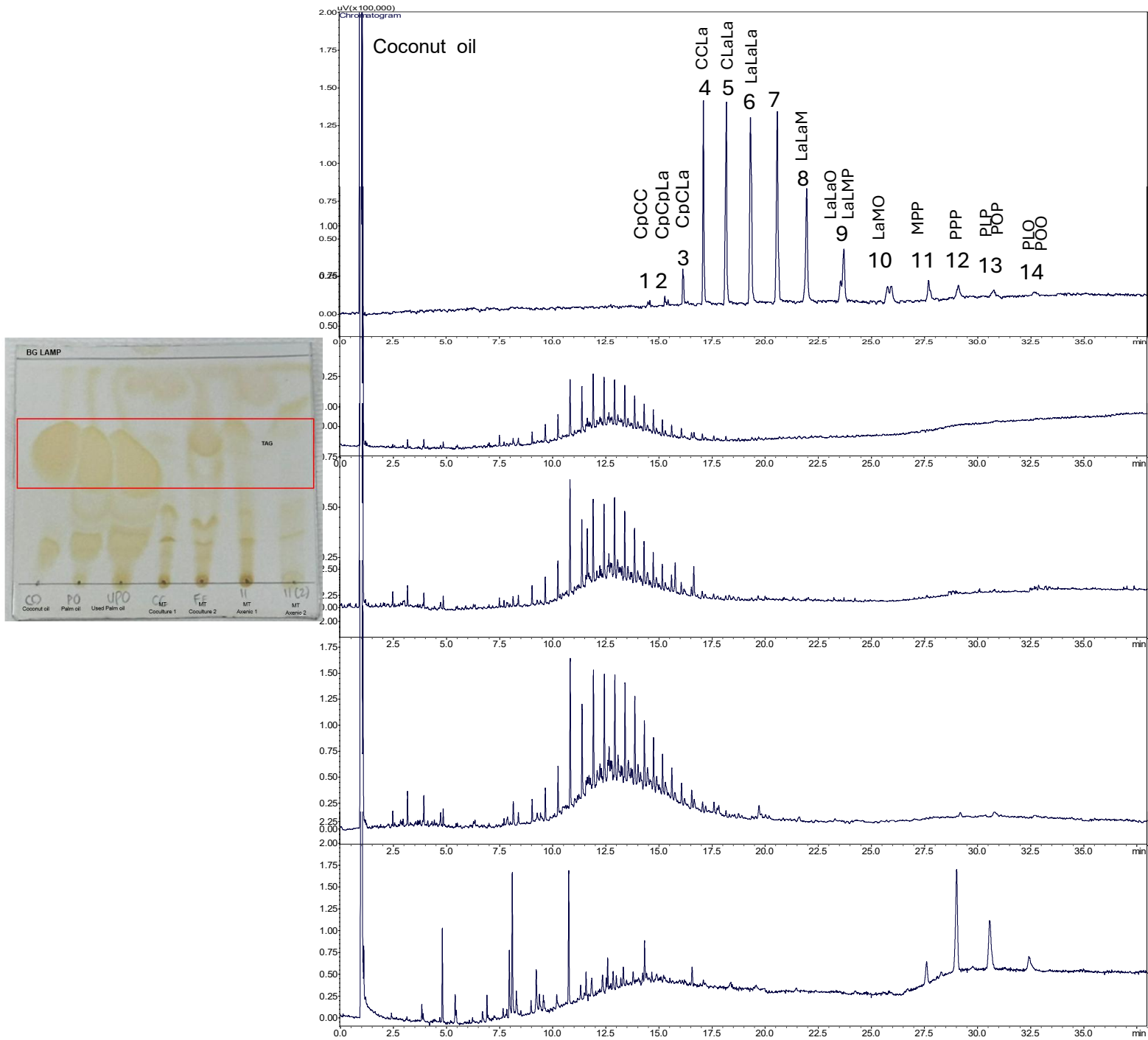
Gambar B.3 TLC & Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture WT Red (B), Sampel Co-culture WT Red duplo (E), Sampel axenic WT Red(H), Sampel axenic WT Red duplo (H dup).



Gambar B.4 TLC & Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture MT Red (BB), Sampel Co-culture MT Red duplo (EE), Sampel axenic MT Red (HH), Sampel axenic MT Red duplo (HH dup).



Gambar B.5 TLC & Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture WT BG (C), Sampel Co-culture WT BG duplo (F), Sampel axenic WT BG (I), Sampel axenic WT BG duplo (I dup).



Gambar B.6 TLC & Kromatogram GC-FID Coconut oil as reference, Sampel Co-culture MT BG (CC), Sampel Co-culture MT BG duplo (FF), Sampel axenic MT BG (II), Sampel axenic MT BG duplo (II dup).

Tabel B.1 Data Hasil Analisis GC FID Coconut Oil

Peak#	Area	Ret.Time	Area%	New Area %	Compound Name	Height
15	12032.6	5.124	0.0031	0.002696		1698
16	1879.1	5.269	0.0005	0.000421		1027.8
17	4407.4	5.306	0.0012	0.000987		1335.2
18	2410.7	5.561	0.0006	0.00054		765.9
19	4197.1	5.99	0.0011	0.00094		1693
20	4082.7	6.317	0.0011	0.000915		898.9
21	2806.8	6.645	0.0007	0.000629		1203.1
22	13283.7	6.927	0.0035	0.002976		1864.4
23	1238.4	7.542	0.0003	0.000277		483.8
24	5971	7.593	0.0016	0.001338		1185.9
25	7278.1	7.863	0.0019	0.001631		950.5
26	1164.5	7.948	0.0003	0.000261		857.2
27	5131.6	8.359	0.0013	0.00115		874.5
28	1929.2	8.553	0.0005	0.000432		696.5
29	4452.3	8.987	0.0012	0.000998		1166.6
30	2434.1	9.451	0.0006	0.000545		867
31	5030.8	10.169	0.0013	0.001127		1368.4
32	2788	10.247	0.0007	0.000625		1310.6
33	5920.3	10.508	0.0015	0.001326		1274.8
34	9555.2	11.623	0.0025	0.002141		1042
35	6477.8	11.905	0.0017	0.001451		1269.5
36	5157.2	12.485	0.0013	0.001155		1445.3
37	2126.7	12.746	0.0006	0.000476		1352.6
38	5869.4	13.165	0.0015	0.001315		1343.5
39	7224.7	13.312	0.0019	0.001619		1319.6
40	9026.7	13.436	0.0024	0.002022		1253.4
41	4058.4	13.597	0.0011	0.000909		1320.3
42	2240	13.693	0.0006	0.000502		1118.4
43	6361.2	13.941	0.0017	0.001425		1037
44	3541	14.136	0.0009	0.000793		1425.8
45	12467	14.226	0.0033	0.002793		1591.9
46	18911.6	14.491	0.0049	0.004237	CpCC	3704.3
47	11508.2	14.578	0.003	0.002578		4409.9
48	1541.1	15.186	0.0004	0.000345		812.4
49	20759.9	15.284	0.0054	0.004651	CpCpLa	6687.1
50	6369.4	15.349	0.0017	0.001427		2503.4
51	11952.8	15.437	0.0031	0.002678		3792.1
52	7180.6	15.956	0.0019	0.001609		756.5
53	104264.2	16.13	0.0273	0.02336	CpCLa	24056.4
54	6354.2	16.261	0.0017	0.001424		2034.5
55	10918.4	16.366	0.0029	0.002446		2380.4

56	4338.4	16.618	0.0011	0.000972		1064.4
57	454334.6	17.099	0.1187	0.101791	CCLa	133177.2
58	650582.1	18.178	0.17	0.145759	CLaLa	133881
59	15528.2	18.365	0.0041	0.003479		2330.3
60	9126	18.508	0.0024	0.002045		1557.4
61	2111	18.643	0.0006	0.000473		1146.5
62	7096.9	19.162	0.0019	0.00159		1416.4
63	790429.7	19.311	0.2066	0.177091	LaLaLa	123076.9
64	1446	19.558	0.0004	0.000324		666.8
65	4020.1	20.417	0.0011	0.000901		1422.2
66	727085.6	20.572	0.19	0.162899		126504.7
67	2512.2	20.786	0.0007	0.000563		820.9
68	4840.6	21.358	0.0013	0.001085		1490.3
69	466722.1	21.953	0.122	0.104566	LaLaM	74467.6
70	17222.3	22.51	0.0045	0.003859		1862
71	8458.8	22.731	0.0022	0.001895		1682.1
72	3696.3	22.844	0.001	0.000828		1028
73	3778.9	23.364	0.001	0.000847		1443
74	92984.2	23.542	0.0243	0.020833	LaLaO	14520.4
75	248043.7	23.704	0.0648	0.055573	LaMP	35366.7
76	7900.8	23.931	0.0021	0.00177		1574.2
77	4993.5	24.087	0.0013	0.001119		1014.6
78	5395	24.275	0.0014	0.001209		1246.9
79	1188.2	24.54	0.0003	0.000266		776.8
80	2062.9	24.596	0.0005	0.000462		1291.5
81	1801.9	24.646	0.0005	0.000404		984.6
82	10120.8	24.957	0.0026	0.002268		1885.8
83	15712	25.078	0.0041	0.00352		2037.7
84	1893.1	25.56	0.0005	0.000424		685.7
85	101410.9	25.757	0.0265	0.02272	LaMO	10827.8
86	89259.1	25.921	0.0233	0.019998		10593.9
87	2123.2	26.227	0.0006	0.000476		599.8
88	79351.2	27.685	0.0207	0.017778	MPP	13074.2
89	18709.2	27.772	0.0049	0.004192		5617.9
90	13271.3	28.024	0.0035	0.002973		1332.1
91	3199.9	28.215	0.0008	0.000717		658.3
92	1022.6	28.63	0.0003	0.000229		710.9
93	75549.5	29.086	0.0197	0.016926	PPP	7933
94	6485.4	29.474	0.0017	0.001453		1163.5
95	4044	30.562	0.0011	0.000906		1387.4
96	19977.1	30.67	0.0052	0.004476	PLP	3075.7
97	16793.6	30.749	0.0044	0.003762	POP	4389.5
98	5835.5	30.824	0.0015	0.001307		2465.4
99	6327.3	31.178	0.0017	0.001418		1258.7
100	7090.8	31.638	0.0019	0.001589		996

101	13636.3	32.671	0.0036	0.003055	PLO	1826.8
102	4013	32.746	0.001	0.000899	POO	1412.2
103	3783.8	34.099	0.001	0.000848		1631.9
104	1958.9	34.142	0.0005	0.000439		1141.3
105	14737.9	34.269	0.0039	0.003302		1712.2
106	2077.9	34.488	0.0005	0.000466		955.8
107	1218.6	36.064	0.0003	0.000273		771.9
108	7751.2	36.12	0.002	0.001737		1407.5
109	3372	36.274	0.0009	0.000755		666
110	1725.3	36.405	0.0005	0.000387		753.4
111	5484.1	36.942	0.0014	0.001229		1275
112	6095.8	37.049	0.0016	0.001366		1326.7
113	3489.6	37.198	0.0009	0.000782		819.9
114	1989	37.321	0.0005	0.000446		976.2
115	12255.8	37.504	0.0032	0.002746		1176.8
116	1647.2	37.695	0.0004	0.000369		947.1
	4463417			1		

Tabel B.2 Sampel Co-culture WT White (A)

Peak#	Area	Ret. Time	Area%	New Area %	Compound Name	Height
34	1381	5.049	0.0005	0.10%		854.4
35	8404.9	5.455	0.0031	0.62%		3795.2
36	7331.9	5.511	0.0027	0.54%		3717
37	4969	6.074	0.0018	0.37%		1757.9
38	2007.7	6.132	0.0007	0.15%		952.1
39	4735	6.28	0.0017	0.35%		1986.5
40	5879	6.351	0.0021	0.44%		2471.4
41	2912.1	6.418	0.0011	0.22%		1419.2
42	3891.9	6.664	0.0014	0.29%		1573.9
43	14099	6.753	0.0051	1.05%		4345.3
44	15216.3	6.96	0.0055	1.13%		6122.9
45	6058	7.014	0.0022	0.45%		2906.1
46	3659.6	7.061	0.0013	0.27%		1390.2
47	6769.4	7.199	0.0025	0.50%		1592.7
48	5253.4	7.294	0.0019	0.39%		1248.3
49	15741.1	7.499	0.0057	1.17%		2726.9
50	3352.3	7.577	0.0012	0.25%		1351.6
51	6954.8	7.717	0.0025	0.52%		2012.7
52	14924.4	7.845	0.0054	1.11%		4052.7
53	14192.4	7.885	0.0052	1.05%		4427.3
54	111754.7	8.038	0.0407	8.30%		35631.9
55	75576.6	8.168	0.0275	5.61%		27333.1
56	26378.3	8.348	0.0096	1.96%		7598.5

57	14555.5	8.391	0.0053	1.08%		4556.7
58	1730.6	8.512	0.0006	0.13%		754.3
59	2223.3	8.727	0.0008	0.17%		710.6
60	5928.1	8.788	0.0022	0.44%		1750.6
61	2991.9	8.876	0.0011	0.22%		874.3
62	12975	9.039	0.0047	0.96%		3926.3
63	12038.2	9.122	0.0044	0.89%		3738.1
64	4437.3	9.198	0.0016	0.33%		1659.5
65	49375.5	9.29	0.018	3.67%		13133.8
66	22022.6	9.436	0.008	1.64%		5893.3
67	9071.4	9.511	0.0033	0.67%		2803.4
68	11332.8	9.621	0.0041	0.84%		5096.6
69	8185.9	9.66	0.003	0.61%		3780.2
70	5263.9	9.763	0.0019	0.39%		1191.6
71	8949	9.819	0.0033	0.66%		611
72	8908.1	9.967	0.0032	0.66%		2420.5
73	8172	10.094	0.003	0.61%		1539.6
74	3120.5	10.183	0.0011	0.23%		982.6
75	32107.3	10.305	0.0117	2.39%		8497.8
76	3495.7	10.383	0.0013	0.26%		1376.9
77	239684.2	10.826	0.0874	17.80%		108417.6
78	4862.2	11.377	0.0018	0.36%		2368
79	2791.9	11.424	0.001	0.21%		1284.6
80	3708.6	11.555	0.0014	0.28%		1515.2
81	15518	11.636	0.0057	1.15%		7111.2
82	15294.1	11.904	0.0056	1.14%		3894.9
83	3576.4	12.082	0.0013	0.27%		978.1
84	5858.4	12.242	0.0021	0.44%		1569.1
85	4942.7	12.348	0.0018	0.37%		1239.9
86	6303.8	12.417	0.0023	0.47%		2124.8
87	6205.1	12.591	0.0023	0.46%		2718.7
88	70998.2	12.656	0.0259	5.27%		31021
89	29282.7	12.809	0.0107	2.18%		11378.1
90	14204.8	12.906	0.0052	1.06%		4030.1
91	4714.1	13.062	0.0017	0.35%		1958.7
92	1949.4	13.147	0.0007	0.14%		941.4
93	6025.7	13.394	0.0022	0.45%		2152.2
94	9348.9	13.86	0.0034	0.69%		4034.3
95	3593.1	13.953	0.0013	0.27%		1159.3
96	4150.6	14.046	0.0015	0.31%		1062
97	2659	14.314	0.001	0.20%		1027
98	39750	14.4	0.0145	2.95%		15165.9
99	4637	14.504	0.0017	0.34%	CpCC	1767.4
100	5186.8	14.666	0.0019	0.39%		1938.2
101	5100.5	14.759	0.0019	0.38%		1725.2

102	6105.4	15.1	0.0022	0.45%		2048.5
103	4374.1	15.176	0.0016	0.32%		1232
104	7701.5	15.293	0.0028	0.57%	CpCpLa	2972.2
105	7414	15.363	0.0027	0.55%		2741.4
106	3423.6	16.007	0.0012	0.25%	CpCLa	1630.9
107	20164.1	16.659	0.0073	1.50%		6396.3
108	1002.2	16.73	0.0004	0.07%		1118.7
109	4540.4	17.192	0.0017	0.34%	CCLa	1658.5
110	3603.4	17.582	0.0013	0.27%		2202.2
111	6357.3	17.827	0.0023	0.47%	CLaLa	2214.5
112	11746.6	19.535	0.0043	0.87%	LaLaLa	3495.9
113	18557.5	19.603	0.0068	1.38%		4583.4
114	22420.4	19.75	0.0082	1.67%		5137.6
115	15503	19.829	0.0057	1.15%		4546.1
116	15662.2	20.095	0.0057	1.16%	CLaM	4191.2
117	3981.9	23.683	0.0015	0.30%	LaLaO/LaMP	743.5
118	31108	29.239	0.0113	2.31%	PPP	3966.7
119	11283.2	29.384	0.0041	0.84%		2019.4
120	2014.1	31.384	0.0007	0.15%		1111.2
121	3396.5	32.233	0.0012	0.25%		1021
122	1989.9	32.349	0.0007	0.15%		963.4
123	11852.8	32.861	0.0043	0.88%	PLO/POO	2043
124	4503.2	33.166	0.0016	0.33%		685
125	5059.8	33.306	0.0018	0.38%		1524.9
126	1562.8	34.315	0.0006	0.12%		1028.8
127	1482.6	34.427	0.0005	0.11%		811.2
128	6755.5	35.079	0.0025	0.50%		1238.2
129	4821.7	36.016	0.0018	0.36%		1043.2
130	7372.2	36.673	0.0027	0.55%		1411.9
131	1778.6	36.892	0.0006	0.13%		960.7
	1346212		0.4904			

Tabel B.3 Sampel Co-culture WT White duplo (D)

Peak#	Area	Ret.Time	Area%	New Area%	Compound Name	Height
46	12743.4	5.04	0.0041	0.135%		2924.8
47	2929.2	5.124	0.0009	0.031%		1574.6
48	7268.5	5.391	0.0023	0.077%		2485.2
49	29852	5.444	0.0096	0.316%		14824.8
50	21923.3	5.503	0.0071	0.232%		8467.3
51	4505.6	5.587	0.0015	0.048%		1705.2
52	2904.2	5.689	0.0009	0.031%		874.1
53	6025.6	5.779	0.0019	0.064%		1741.8

54	4991.7	6.103	0.0016	0.053%		2093.8
55	5620.5	6.174	0.0018	0.060%		2228.3
56	14889.7	6.268	0.0048	0.158%		5818
57	20197.5	6.343	0.0065	0.214%		7047.4
58	2853.7	6.408	0.0009	0.030%		1454.5
59	2645	6.459	0.0009	0.028%		978.7
60	1942.6	6.524	0.0006	0.021%		589.7
61	11621.1	6.662	0.0038	0.123%		3202
62	43916.5	6.748	0.0142	0.465%		11863.2
63	54804.2	6.95	0.0177	0.580%		24160.4
64	20204.2	7	0.0065	0.214%		9124.6
65	10183	7.071	0.0033	0.108%		3224.8
66	11022.2	7.186	0.0036	0.117%		3021.2
67	10281.2	7.286	0.0033	0.109%		1860.5
68	5083.2	7.444	0.0016	0.054%		1926.2
69	6352.8	7.489	0.0021	0.067%		2482.2
70	5821.7	7.57	0.0019	0.062%		2417.4
71	8604.8	7.654	0.0028	0.091%		2817.9
72	18926	7.704	0.0061	0.200%		7518.1
73	22265	7.832	0.0072	0.236%		7247.2
74	26645.8	7.878	0.0086	0.282%		9706.2
75	205378.7	8.042	0.0664	2.175%		59911.7
76	212221.5	8.181	0.0686	2.248%		65607.1
77	105598.2	8.338	0.0341	1.118%		28314.4
78	14046.4	8.438	0.0045	0.149%		4403.6
79	3729.2	8.503	0.0012	0.039%		2027
80	4247.6	8.548	0.0014	0.045%		2144.7
81	11826.2	8.643	0.0038	0.125%		2031.7
82	11511.7	8.775	0.0037	0.122%		2413
83	11889.1	8.921	0.0038	0.126%		2771
84	34759.2	9.027	0.0112	0.368%		11884.5
85	20882.4	9.111	0.0067	0.221%		6877.2
86	153835.8	9.291	0.0497	1.629%		31971.3
87	92997.7	9.436	0.03	0.985%		22274.2
88	91204.3	9.611	0.0295	0.966%		26246.4
89	11671.2	9.703	0.0038	0.124%		4967.4
90	6526.9	9.763	0.0021	0.069%		2035.5
91	6662	9.873	0.0022	0.071%		2235.2
92	18643.3	9.979	0.006	0.197%		4429.6
93	19280.1	10.074	0.0062	0.204%		3710
94	12417.1	10.137	0.004	0.132%		2908.5
95	44532.3	10.249	0.0144	0.472%		14528.9
96	95912.5	10.302	0.031	1.016%		23639.8
97	53251.3	10.459	0.0172	0.564%		8265.1
98	38242.9	10.544	0.0124	0.405%		8850.2

99	39482.6	10.666	0.0128	0.418%		7817.7
100	686784.5	10.819	0.2219	7.274%		191754.6
101	12144.3	11.019	0.0039	0.129%		3297.6
102	3809.3	11.163	0.0012	0.040%		705.7
103	9388.1	11.247	0.003	0.099%		2562.7
104	102686.2	11.371	0.0332	1.088%		20643
105	92507.3	11.554	0.0299	0.980%		14711.1
106	262829.2	11.631	0.0849	2.784%		83489.5
107	64113.3	11.793	0.0207	0.679%		12423.4
108	205829.3	11.884	0.0665	2.180%		33405.3
109	33145.3	12.027	0.0107	0.351%		11122.7
110	78042.7	12.082	0.0252	0.827%		16276.9
111	99301.1	12.213	0.0321	1.052%		16399.5
112	48748.4	12.276	0.0157	0.516%		15392
113	158268.1	12.416	0.0511	1.676%		26659.7
114	55924.7	12.488	0.0181	0.592%		17340
115	120323.7	12.586	0.0389	1.274%		26151.4
116	223336.1	12.651	0.0722	2.365%		74123.4
117	211373.3	12.799	0.0683	2.239%		35229.5
118	242040.4	12.901	0.0782	2.563%		43787.2
119	190217.7	13.058	0.0615	2.015%		37283.1
120	144042.4	13.152	0.0465	1.526%		24424.2
121	95373.2	13.272	0.0308	1.010%		23718.8
122	183796	13.391	0.0594	1.947%		35412.7
123	176246.7	13.541	0.0569	1.867%		23170.3
124	116808.9	13.665	0.0377	1.237%		19818.9
125	107412.2	13.738	0.0347	1.138%		21974.4
126	191363.3	13.852	0.0618	2.027%		38995.6
127	58808.5	13.947	0.019	0.623%		19759.1
128	127359.1	14.031	0.0411	1.349%		22244
129	112566.8	14.129	0.0364	1.192%		22723.5
130	100703.6	14.209	0.0325	1.067%		20140
131	143322.6	14.302	0.0463	1.518%		27716
132	214113.3	14.393	0.0692	2.268%		50583.2
133	126997	14.491	0.041	1.345%	CpCC	24555.7
134	56037.9	14.593	0.0181	0.593%		20568.1
135	102319.5	14.641	0.0331	1.084%		21147.9
136	171112.1	14.731	0.0553	1.812%		29281.2
137	90043.3	14.868	0.0291	0.954%		21042.8
138	90403.8	14.931	0.0292	0.957%		21691.4
139	74178	15.008	0.024	0.786%		17659.6
140	60809.3	15.088	0.0196	0.644%		18016.8
141	98616.8	15.163	0.0319	1.044%		20718.2
142	125169.8	15.284	0.0404	1.326%	CpCpLa	24943.2
143	100155.2	15.356	0.0324	1.061%		22804

144	76441.9	15.451	0.0247	0.810%		14808.7
145	106462.8	15.588	0.0344	1.128%		19442.3
146	104969.3	15.739	0.0339	1.112%		11367.3
147	51906.6	15.877	0.0168	0.550%		8812.6
148	22989.3	15.947	0.0074	0.243%		8814.4
149	44028.8	15.996	0.0142	0.466%		12453.1
150	43710.1	16.054	0.0141	0.463%		9949.1
151	50525.5	16.164	0.0163	0.535%	CpCLa	7896
152	22732	16.284	0.0073	0.241%		5948.5
153	18689.6	16.357	0.006	0.198%		4349
154	20502.8	16.422	0.0066	0.217%		3955.8
155	27115.3	16.546	0.0088	0.287%		7779.3
156	272114.5	16.653	0.0879	2.882%		83080.2
157	7411.7	17.028	0.0024	0.078%		1615.1
158	2163.1	17.108	0.0007	0.023%	CCLa	770.5
159	17283.6	17.181	0.0056	0.183%		5263.6
160	2187.2	17.294	0.0007	0.023%		1025
161	1339.4	17.515	0.0004	0.014%		847.4
162	18281.8	17.582	0.0059	0.194%		4674.6
163	1981.5	17.673	0.0006	0.021%		1080.3
164	9884.5	17.739	0.0032	0.105%		3813.4
165	10775.9	17.81	0.0035	0.114%		3233.1
166	11435.2	17.93	0.0037	0.121%		2426
167	2765.2	18.075	0.0009	0.029%		883.4
168	3521.5	18.166	0.0011	0.037%	CLaLa	1065.6
169	6447.9	18.347	0.0021	0.068%		1719.5
170	21405.2	18.41	0.0069	0.227%		2646.6
171	13233.7	18.555	0.0043	0.140%		4097.3
172	4474.8	19.32	0.0014	0.047%	LaLaLa	1126.2
173	15587.5	19.434	0.005	0.165%		4023.4
174	6611.6	19.587	0.0021	0.070%		1410.6
175	45693.3	19.709	0.0148	0.484%		9258.7
176	26172.1	19.823	0.0085	0.277%		5691.9
177	6216.6	20.218	0.002	0.066%		1801.9
178	4188.5	20.779	0.0014	0.044%	CLaM	1026.1
179	12250.1	21.335	0.004	0.130%		3046.8
180	23087.5	21.629	0.0075	0.245%		5477.9
181	6177.5	21.836	0.002	0.065%		1421.9
182	3349.7	21.92	0.0011	0.035%	LaLaM	844.2
183	9828.7	22.077	0.0032	0.104%		1348.4
184	5565.4	22.787	0.0018	0.059%		1111.6
185	6046.7	22.962	0.002	0.064%		1794.1
186	16268.2	23.015	0.0053	0.172%		2139.2
187	2948.3	23.217	0.001	0.031%		1174.4
188	8247	23.29	0.0027	0.087%		1228.8

189	3311.6	23.628	0.0011	0.035%	LaLaO/LaMP	1374
190	3540.7	23.717	0.0011	0.037%		1042.3
191	14624.9	23.842	0.0047	0.155%		2191
192	2065.4	23.983	0.0007	0.022%		1011.1
193	1220.9	24.241	0.0004	0.013%		819.9
194	9148.3	24.651	0.003	0.097%		1907.3
195	4157.1	24.715	0.0013	0.044%		1483.9
196	3306.2	24.808	0.0011	0.035%		1100.4
197	1889.2	24.918	0.0006	0.020%		884.9
198	2647.9	25.247	0.0009	0.028%		1240.3
199	13514.1	25.452	0.0044	0.143%	LaMO	1622.7
200	2193.8	26.583	0.0007	0.023%		933.4
201	4871.6	26.843	0.0016	0.052%		775.2
202	3024.8	26.964	0.001	0.032%		1329.4
203	10003.6	27.467	0.0032	0.106%		1641.4
204	10735.1	27.618	0.0035	0.114%	MPP	2040.7
205	43927.8	27.765	0.0142	0.465%		6067.6
206	4914	27.846	0.0016	0.052%		2347.4
207	18607.8	27.907	0.006	0.197%		2822.7
208	2679.9	28.061	0.0009	0.028%		943
209	2558	28.142	0.0008	0.027%		1341.5
210	4522	28.434	0.0015	0.048%		1439.9
211	2541.2	28.655	0.0008	0.027%		1437.2
212	7662.2	28.806	0.0025	0.081%		1451.3
213	3850.4	28.953	0.0012	0.041%		1039.7
214	109508.6	29.189	0.0354	1.160%	PPP	14793.5
215	7226	30.069	0.0023	0.077%		1427.9
216	5815.5	30.284	0.0019	0.062%		1957.4
217	6763.4	30.356	0.0022	0.072%		1732.7
218	19958.4	30.539	0.0064	0.211%		2132.9
219	97382.1	30.812	0.0315	1.031%	PLP/POP	12272.7
220	16520.2	30.917	0.0053	0.175%		5577.8
221	20511.2	30.95	0.0066	0.217%		4633.1
222	2106.9	31.108	0.0007	0.022%		993.3
223	4789.8	31.196	0.0015	0.051%		1747.5
224	4670.6	31.259	0.0015	0.049%		2054.2
225	2888.9	31.322	0.0009	0.031%		1200.6
226	2470.8	32.006	0.0008	0.026%		1334.5
227	2615.9	32.348	0.0008	0.028%		1141.4
228	1953.7	32.415	0.0006	0.021%		725.8
229	2691.1	32.518	0.0009	0.029%		1317.4
230	52506.8	32.781	0.017	0.556%	PLO/POO	5534.8
231	10795	32.835	0.0035	0.114%		3668.6
232	36195.1	32.99	0.0117	0.383%		3661

233	3844.5	33.115	0.0012	0.041%		1674
234	7926.7	33.232	0.0026	0.084%		1953.1
235	3243.5	33.601	0.001	0.034%		1385.1
236	5562.6	33.689	0.0018	0.059%		834.5
237	3770.9	33.852	0.0012	0.040%		1377.9
238	12953.1	34.148	0.0042	0.137%		1875.4
239	8160	34.237	0.0026	0.086%		2015.4
240	6523.4	34.352	0.0021	0.069%		1328.9
241	15608.4	34.434	0.005	0.165%		2538.1
242	10628.1	34.57	0.0034	0.113%		2243.9
243	3298.4	34.655	0.0011	0.035%		1626.9
244	2190.3	34.743	0.0007	0.023%		1312.2
245	4804.8	34.97	0.0016	0.051%		1219.2
246	3416.5	35.213	0.0011	0.036%		1801.2
247	7839.1	35.297	0.0025	0.083%		2051.8
248	6334.9	35.733	0.002	0.067%		1228.4
249	2618.6	35.849	0.0008	0.028%		1358.4
250	2136	36.079	0.0007	0.023%		1144.5
251	4032.4	36.816	0.0013	0.043%		1494.6
252	3183.4	36.937	0.001	0.034%		797.2
253	2924.2	37.097	0.0009	0.031%		1716.3
254	3279.4	37.152	0.0011	0.035%		1592.6
255	11375.6	37.259	0.0037	0.120%		1628.8
256	5839.9	37.39	0.0019	0.062%		1937.7
257	1587.3	37.493	0.0005	0.017%		709.6
258	7637.2	37.579	0.0025	0.081%		1871.1
259	12668.9	37.644	0.0041	0.134%		2321
260	6114.9	37.818	0.002	0.065%		1508.1
261	2220.7	37.898	0.0007	0.024%		1031.3
	9441978		3.0502	100.000%		

Tabel B. 4 Sampel Co-culture MT White duplo (AA)

Peak#	Area	Ret.Time	Area%	New Area %	Compound Name	Height
25	5757.6	5.061	0.0019	0.487%		885.1
26	4379.8	5.292	0.0014	0.370%		957.5
27	7710.4	5.455	0.0025	0.652%		4041.5
28	5607.9	5.511	0.0018	0.474%		2883.1
29	3793.8	6.273	0.0012	0.321%		1082.5
30	3936.8	6.351	0.0013	0.333%		1960.2
31	1976.2	6.658	0.0006	0.167%		843.7
32	4725.3	6.769	0.0015	0.400%		1222.5
33	1462.6	6.823	0.0005	0.124%		755.9
34	18175.9	6.956	0.006	1.537%		6993.6

35	4637.4	7.011	0.0015	0.392%		2245.5
36	3436.5	7.061	0.0011	0.291%		1455.7
37	1878	7.495	0.0006	0.159%		983
38	4644.1	7.561	0.0015	0.393%		572.6
39	3166.8	7.713	0.001	0.268%		1597.7
40	6360.8	7.841	0.0021	0.538%		2374.9
41	6097	7.887	0.002	0.516%		2004.9
42	11670.4	8.005	0.0038	0.987%		3969.8
43	28736.2	8.142	0.0094	2.431%		9874.5
44	23254	8.343	0.0076	1.967%		7264
45	9681.4	9.033	0.0032	0.819%		4410.2
46	8091.8	9.27	0.0027	0.684%		2165.5
47	8132.6	9.426	0.0027	0.688%		2964.8
48	3317.3	9.479	0.0011	0.281%		1662.4
49	2346.7	9.525	0.0008	0.199%		1046.6
50	15897	9.617	0.0052	1.345%		6699.7
51	13656.7	9.651	0.0045	1.155%		7049
52	1982.9	9.707	0.0007	0.168%		1141.3
53	2558.5	9.764	0.0008	0.216%		1042.1
54	15296.1	10.248	0.005	1.294%		7330.8
55	58903.5	10.816	0.0193	4.983%		20593
56	1806.1	10.953	0.0006	0.153%		579.9
57	7526.8	11.027	0.0025	0.637%		1970.5
58	2774.3	11.25	0.0009	0.235%		1012.6
59	31733.1	11.374	0.0104	2.684%		13206.8
60	4902.5	11.56	0.0016	0.415%		1747.7
61	39532.5	11.63	0.013	3.344%		16414.5
62	9761.4	11.702	0.0032	0.826%		3236.7
63	9700.1	11.764	0.0032	0.821%		2794
64	58338	11.904	0.0191	4.935%		18251.1
65	15206.1	12.084	0.005	1.286%		3280.2
66	21936.7	12.223	0.0072	1.856%		4062.4
67	10761	12.281	0.0035	0.910%		3884
68	5782.6	12.339	0.0019	0.489%		2417
69	51963.8	12.417	0.017	4.396%		16211.5
70	22705.1	12.587	0.0074	1.921%		5095.3
71	21987.7	12.647	0.0072	1.860%		7271.6
72	15971.2	12.722	0.0052	1.351%		4295.8
73	18186.2	12.788	0.006	1.538%		5132.1
74	68115.2	12.911	0.0223	5.762%		19194.3
75	32340.7	13.061	0.0106	2.736%		5710.3
76	10475.6	13.151	0.0034	0.886%		3766.5
77	10970.8	13.212	0.0036	0.928%		3391.8
78	13511.7	13.267	0.0044	1.143%		4250.8
79	40535.8	13.392	0.0133	3.429%		13960.2

80	23804	13.541	0.0078	2.014%		4086.1
81	11455.8	13.683	0.0038	0.969%		2697.2
82	9584.6	13.73	0.0031	0.811%		2904.6
83	38328.6	13.854	0.0126	3.242%		12432.8
84	13890.5	14.002	0.0046	1.175%		2766.6
85	9795.9	14.116	0.0032	0.829%		2010.9
86	3152.7	14.225	0.001	0.267%		727.2
87	22501.6	14.302	0.0074	1.903%		8164.5
88	4914.2	14.391	0.0016	0.416%		2285.8
89	9602.8	14.455	0.0031	0.812%	CpCC	2550
90	21541.7	14.735	0.0071	1.822%		7529.6
91	5820.6	14.879	0.0019	0.492%		2174.1
92	3022	14.934	0.001	0.256%		1493.8
93	13425.1	15.16	0.0044	1.136%		5138.9
94	5724.8	15.293	0.0019	0.484%	CpCpLa	1778.1
95	1558.3	15.368	0.0005	0.132%		770.2
96	10982	15.597	0.0036	0.929%		3993.4
97	7947.3	15.76	0.0026	0.672%		1217
98	6379.5	16.058	0.0021	0.540%	CpCLa	2465.2
99	9106.2	16.538	0.003	0.770%		2778.2
100	49544.5	16.653	0.0162	4.191%		16822.7
101	5811.7	17.043	0.0019	0.492%	CCLa	1631.3
102	7983.8	17.182	0.0026	0.675%		1886.9
103	6863.2	17.584	0.0023	0.581%		1813.7
104	9664.5	17.813	0.0032	0.818%		3101.6
105	1935.5	18.561	0.0006	0.164%		1006
106	5865.4	19.703	0.0019	0.496%	LaLaLa	1828.3
107	7999.6	25.777	0.0026	0.677%	LaMO	1223.9
108	1353.7	25.989	0.0004	0.115%		497.3
109	13783.3	26.879	0.0045	1.166%		2490.3
110	5743.3	27.151	0.0019	0.486%		1133.8
111	5321.9	27.315	0.0017	0.450%		1117.5
112	1922.3	27.455	0.0006	0.163%	MPP	1098.1
113	1995.8	31.244	0.0007	0.169%		524.9
114	1503.1	34.821	0.0005	0.127%		857.8
115	3153.6	36.023	0.001	0.267%		877.8
116	1393.3	36.317	0.0005	0.118%		670.7
	1182174					

Tabel B. 5 Sampel Co-culture MT White duplo (DD)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
36	2959	5.047	0.123%		1327.8
37	5413.6	5.288	0.225%		1203.8

38	3217	5.386	0.134%		1224.6
39	13789.6	5.449	0.574%		5688
40	4665.6	5.504	0.194%		2588.7
41	4902.7	5.619	0.204%		1666.2
42	5670.8	5.673	0.236%		2381.7
43	7840.1	5.793	0.326%		1676
44	8165	5.891	0.340%		1561.2
45	4098.6	6.035	0.171%		927
46	2449.2	6.115	0.102%		1267
47	3925.7	6.274	0.163%		1968.5
48	4235.5	6.345	0.176%		2255.8
49	2528.5	6.406	0.105%		1484.6
50	4039.2	6.473	0.168%		1060.5
51	7960.1	6.562	0.331%		1849.1
52	5424.1	6.658	0.226%		2272.4
53	16196.3	6.736	0.674%		3500
54	10319.3	6.865	0.429%		2245.9
55	15531.9	6.951	0.646%		6496.2
56	3418.5	7.005	0.142%		1685.9
57	4366.2	7.08	0.182%		1199.7
58	1516.5	7.127	0.063%		712.9
59	1821.8	7.169	0.076%		689.5
60	6013.6	7.299	0.250%		1581.8
61	5217.8	7.347	0.217%		2370.3
62	3781.2	7.407	0.157%		1383.7
63	8174.1	7.484	0.340%		1976.9
64	12433.1	7.561	0.517%		2185.8
65	8665	7.654	0.361%		3004.8
66	5154	7.705	0.214%		2239.7
67	15572.7	7.833	0.648%		4749.8
68	14654.8	7.877	0.610%		3790.4
69	26698.3	8.005	1.111%		10075.6
70	68513.9	8.151	2.851%		28197.9
71	17608.7	8.338	0.733%		6286.9
72	3410.2	8.419	0.142%		1376.8
73	1870.8	8.475	0.078%		756.1
74	3016.9	8.853	0.126%		991.1
75	9821.9	8.919	0.409%		3690.4
76	20673.7	9.03	0.860%		4179.9
77	11198.6	9.115	0.466%		3287
78	58479	9.273	2.433%		10290.6
79	43467.7	9.425	1.809%		11948.9
80	11041.3	9.521	0.459%		3928.4
81	30040.1	9.61	1.250%		8094.6
82	10036.7	9.698	0.418%		2784.6

83	4595.3	9.787	0.191%		1828.4
84	6341.5	9.861	0.264%		1788.2
85	15155.3	9.908	0.631%		1914.5
86	8343.8	10.065	0.347%		2715.7
87	7930	10.16	0.330%		1701.7
88	9715.9	10.249	0.404%		4051.6
89	14836.6	10.288	0.617%		5314.7
90	10298.4	10.393	0.429%		2455.3
91	19464.5	10.538	0.810%		2863.4
92	6806	10.653	0.283%		1790.6
93	95451.4	10.806	3.972%		40731.7
94	1564	11.098	0.065%		991.7
95	1962.5	11.238	0.082%		515
96	17019.9	11.401	0.708%		4139.1
97	44727.5	11.622	1.861%		19404
98	4958.7	11.775	0.206%		1130
99	32107.6	11.873	1.336%		8475.6
100	3002.6	12.017	0.125%		923.3
101	6573.8	12.084	0.274%		1777
102	8771.1	12.199	0.365%		1856.7
103	5548.3	12.279	0.231%		2117.1
104	23973.7	12.409	0.998%		4671.9
105	9944.2	12.481	0.414%		3923.2
106	16055.2	12.575	0.668%		4006.2
107	38668.3	12.64	1.609%		14739.9
108	39582.5	12.793	1.647%		9590.6
109	44793.7	12.888	1.864%		11511.3
110	36339.8	13.048	1.512%		8129.3
111	12249.8	13.147	0.510%		3299.1
112	15032.4	13.264	0.626%		3279.5
113	23800.1	13.383	0.990%		7059.4
114	12396.4	13.538	0.516%		2832.9
115	15227.7	13.604	0.634%		2726.2
116	18293.8	13.721	0.761%		3423.1
117	27233.7	13.833	1.133%		8798.1
118	3777.5	13.907	0.157%		1979.5
119	11599.5	13.968	0.483%		2062.7
120	3995.4	14.081	0.166%		1808.9
121	2421.1	14.131	0.101%		1107.5
122	1062	14.206	0.044%		821.4
123	12698.9	14.294	0.528%		4484.4
124	23539.1	14.383	0.980%		8923
125	4559.6	14.486	0.190%	CpCC	1829.1
126	3586.9	14.652	0.149%		1495.7
127	11957.7	14.721	0.498%		4637.9

128	3612.7	14.827	0.150%		879.8
129	10932.2	14.925	0.455%		2533.4
130	8716.6	14.99	0.363%		1805.2
131	7670.2	15.08	0.319%		2332.4
132	10536.8	15.157	0.438%		2828.4
133	6549.6	15.275	0.273%	CpCpLa	2650.9
134	9841.4	15.348	0.410%		3060.9
135	16482.6	15.587	0.686%		4520.9
136	6188.7	15.759	0.258%		1672.3
137	15752	16.046	0.655%		2537.8
138	5746.6	16.101	0.239%	CpCLa	2133.6
139	2979.7	16.175	0.124%		1186.1
140	5197.4	16.305	0.216%		1330.1
141	10984.8	16.53	0.457%		3839.6
142	213127.7	16.648	8.869%		70935.7
143	5564.4	16.997	0.232%		871.6
144	6231.1	17.179	0.259%	CCLa	1934.3
145	11139.6	17.589	0.464%		2833
146	4306	17.687	0.179%		1334.9
147	17078.2	17.812	0.711%		3800.7
148	1064.1	17.893	0.044%		603.2
149	4139.9	18.275	0.172%	CLaLa	1072.7
150	4572.6	18.355	0.190%		768.5
151	6103.9	18.464	0.254%		2414.2
152	13169.3	18.557	0.548%		3019.8
153	2372.2	19.129	0.099%		751.9
154	1818.7	19.209	0.076%		897.2
155	5147.8	19.269	0.214%	LaLaLa	595.7
156	8807.5	19.432	0.366%		2724
157	4448.8	19.573	0.185%		1140.8
158	41472.2	19.701	1.726%		9975.2
159	11283.8	19.817	0.470%		2968.9
160	7085.2	20.191	0.295%		1838.9
161	9214.2	20.311	0.383%		1518.3
162	2090.4	20.627	0.087%	CLaM	975.6
163	5008.2	20.677	0.208%		1644.3
164	1536.6	20.79	0.064%		939.5
165	7583.7	20.968	0.316%		1532.5
166	13924.3	21.193	0.579%		2965.2
167	10598.5	21.317	0.441%		2601.8
168	2912.2	21.379	0.121%		1571.3
169	7897.3	21.491	0.329%		1635.2
170	23346.3	21.616	0.971%		5986
171	2060.7	21.777	0.086%		1174.7
172	1443.3	21.822	0.060%		959

173	2218.9	22.003	0.092%	LaLaM	1218.1
174	2192.6	22.405	0.091%		935.8
175	5939.4	22.524	0.247%		2010.1
176	1221.2	22.904	0.051%		801.6
177	6214.7	23.017	0.259%		2487.4
178	8139.6	23.091	0.339%		1458.5
179	8145.6	23.234	0.339%		1641.1
180	4737	23.35	0.197%		1633.1
181	7478.8	23.827	0.311%	LaLaO/LaMP	1052
182	6982.3	24.185	0.291%		1513.4
183	4582.4	24.513	0.191%		1385.4
184	7047.3	24.838	0.293%		1836.8
185	2498.4	24.893	0.104%		1583
186	2664.5	25.224	0.111%		1298.8
187	6087	25.299	0.253%		1538.9
188	5787.9	25.419	0.241%	LaMO	1820.6
189	1697.1	26.803	0.071%		894.4
190	4835.1	26.867	0.201%		1002.6
191	1587.6	27.501	0.066%		696.5
192	3624.3	27.623	0.151%		1152.6
193	11571.6	27.733	0.482%	MPP	2214.8
194	5599.1	27.875	0.233%		1117.3
195	3449.3	28.539	0.144%		1340.2
196	1987.4	28.621	0.083%		764.1
197	1821	28.887	0.076%		1208.4
198	5060.3	28.934	0.211%		1792.1
199	8026.3	29.065	0.334%	PPP	1550.5
200	29468.9	29.178	1.226%		4806.4
201	3405.9	29.719	0.142%		1121.5
202	6450.8	29.814	0.268%		2062.9
203	8154.3	29.921	0.339%		2981.6
204	5771.8	29.975	0.240%		1928
205	11677.1	30.556	0.486%		2434.7
206	7391	30.698	0.308%	PLP/POP	2146.6
207	34466.3	30.795	1.434%		4789.6
208	33644.7	30.891	1.400%		5062.4
209	2508.4	31.473	0.104%		1018.5
210	5837.6	31.529	0.243%		1983.7
211	9917.9	31.595	0.413%		3196
212	9460	31.692	0.394%		2076
213	5119.7	31.756	0.213%		1846
214	3999	31.824	0.166%		1304.6
215	10905.2	31.966	0.454%		1496.4
216	9437.7	32.216	0.393%		2028.2

217	11048.4	32.408	0.460%		2254
218	3506.1	32.522	0.146%		1599.1
219	4366.6	32.598	0.182%		2179.3
220	6339.2	32.667	0.264%		1841.6
221	1270.1	32.741	0.053%	PLO/POO	1031.5
222	8200.5	32.977	0.341%		1535.4
223	2521.2	33.078	0.105%		1159.2
224	4884.3	33.463	0.203%		1123.2
225	2747.3	33.586	0.114%		1154.6
226	6249.8	33.656	0.260%		1852
227	2768.5	33.741	0.115%		970.7
228	6486.8	33.867	0.270%		1420.3
229	2419.1	34.003	0.101%		1174.3
230	2304.8	34.136	0.096%		1232.1
231	1131.2	34.375	0.047%		677.8
232	3969.5	34.446	0.165%		1715.1
233	10104.3	35.046	0.420%		2055.4
234	20047.8	35.246	0.834%		2669.1
235	10778.8	35.434	0.449%		1868.6
236	4793.7	35.5	0.199%		1778.4
237	5210.7	35.579	0.217%		1321.6
238	11155.5	35.697	0.464%		2806.2
239	12234.3	35.978	0.509%		2746.4
240	4367	36.149	0.182%		1059.1
241	10800.6	36.272	0.449%		2960.9
242	11404.2	36.359	0.475%		2623.3
243	12504.9	36.465	0.520%		2326
244	6647.9	36.598	0.277%		1756.7
245	8486.4	36.731	0.353%		1599.8
246	6327.4	36.933	0.263%		1606.5
247	5737.6	37.034	0.239%		1460.9
248	7817.8	37.446	0.325%		2028.7
	2403148				

Tabel B. 6 Sampel Co-culture WT Red (B)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
35	1747.2	5.229	0.172%		949.4
36	1344.8	5.289	0.132%		789.5
37	6184.4	5.362	0.607%		1589.8
38	17319.3	5.453	1.701%		7253
39	8398.4	5.512	0.825%		3380
40	5697.5	5.619	0.560%		1074.1
41	2481	5.703	0.244%		968.1
42	3373.9	6.277	0.331%		1118.6

43	4055.9	6.349	0.398%		1690.5
44	7685.8	6.742	0.755%		2892.8
45	1454.9	6.846	0.143%		842
46	20631.9	6.958	2.026%		9585.8
47	4744.4	7.009	0.466%		2184.4
48	2046.1	7.065	0.201%		1047.8
49	1083.3	7.191	0.106%		767
50	3807.5	7.497	0.374%		1650.6
51	3648.9	7.709	0.358%		1515.1
52	11637.1	7.843	1.143%		2203.6
53	110233.5	8.039	10.827%		38379.2
54	82038.3	8.169	8.058%		30187.4
55	34907.7	8.346	3.429%		9698.3
56	6386.2	9.037	0.627%		2700.8
57	5951.3	9.119	0.585%		1163.6
58	48361	9.291	4.750%		15008.4
59	1591.3	9.38	0.156%		930.2
60	15915.1	9.436	1.563%		5242.8
61	29692.8	9.621	2.916%		7974.7
62	1926.6	10.033	0.189%		771.3
63	7904.8	10.08	0.776%		1246.5
64	12475.8	10.253	1.225%		5021.7
65	15651.2	10.303	1.537%		6099.9
66	2688.3	10.379	0.264%		1141.6
67	4151.1	10.496	0.408%		948.1
68	53002.1	10.818	5.206%		19290.6
69	13330.2	11.379	1.309%		5755.5
70	2282.6	11.559	0.224%		900
71	39622.3	11.638	3.892%		18611.7
72	1221	11.709	0.120%		854.9
73	32738.4	11.908	3.216%		9272.1
74	2375.6	12.031	0.233%		819.5
75	5207.8	12.087	0.512%		1370.5
76	3714.2	12.225	0.365%		1524.2
77	4216.1	12.287	0.414%		1352.7
78	15465.6	12.422	1.519%		6495.2
79	5872.2	12.594	0.577%		2377.1
80	14309.2	12.655	1.405%		5880.9
81	13589.2	12.796	1.335%		2978.6
82	39148.3	12.913	3.845%		10081.9
83	15938.8	13.073	1.565%		3336.7
84	7933.8	13.156	0.779%		2696.7
85	12549.8	13.275	1.233%		2632.7
86	24148.4	13.397	2.372%		8532.7
87	4975.5	13.543	0.489%		997.1

88	2589.7	13.683	0.254%		898.4
89	3258.8	13.739	0.320%		1382.4
90	20362.2	13.861	2.000%		6724.7
91	4946.6	14.046	0.486%		1022.8
92	11037.5	14.309	1.084%		3917.2
93	13803.2	14.398	1.356%		5499.2
94	8654.9	14.495	0.850%	CpCC	1894.4
95	12781	14.739	1.255%		4058.4
96	6528.3	14.886	0.641%		1434.2
97	1653.7	15.09	0.162%		941.8
98	6060	15.167	0.595%		2311
99	4815.2	15.294	0.473%	CpCpLa	1679.6
100	5232.2	15.367	0.514%		1768.4
101	7351.9	15.604	0.722%		2417
102	2998.6	16.064	0.295%		1330.5
103	3623.1	16.175	0.356%	CpCLa	1125.8
104	1944	16.291	0.191%		671.9
105	2079.4	16.439	0.204%		959.6
106	3545.2	16.549	0.348%		1457.6
107	46466.2	16.663	4.564%		15124.9
108	2648.3	17.198	0.260%	CCLa	1193.1
109	5149.7	19.716	0.506%	LaLaLa	1308.4
110	3164.5	21.629	0.311%	LaLaM	1272.4
111	2082.8	24.934	0.205%		793.7
112	5466.4	26.636	0.537%		1389.6
113	19072	29.199	1.873%		3295.1
114	5045.6	31.589	0.496%		1161.9
115	1100.2	32.5	0.108%		761
116	1318.4	34.683	0.129%		840.5
117	2092.5	34.832	0.206%		722.5
118	2407.1	36.223	0.236%		932.1
	1018138				

Tabel B. 7 Sampel Co-culture WT Red duplo (E)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
34	7343.5	5.096	0.226%		1315.3
35	4945.7	5.228	0.152%		1766.9
36	2426	5.278	0.075%		1317.7
37	11021.5	5.448	0.340%		4809.5
38	8293.2	5.506	0.255%		3804.2
39	2660.4	5.624	0.082%		564.2
40	1406.2	6.165	0.043%		676.1
41	3118	6.27	0.096%		1581

42	4817.2	6.343	0.148%		1597
43	8876.9	6.648	0.273%		1324.2
44	10962.9	6.733	0.338%		2623.4
45	15441.7	6.95	0.476%		6632.2
46	5914.7	7.001	0.182%		2793.7
47	3764.4	7.075	0.116%		1036.2
48	3606.3	7.184	0.111%		1289.3
49	21551.8	7.485	0.664%		11011.2
50	1519.6	7.649	0.047%		796.2
51	2887.4	7.704	0.089%		1654.3
52	10229.8	7.879	0.315%		2441.8
53	51120.7	8.011	1.575%		19505.4
54	57735.6	8.147	1.779%		22757.7
55	16314.1	8.335	0.503%		7101.2
56	8038.2	8.382	0.248%		4298.8
57	1529.2	8.844	0.047%		632.4
58	15450.6	9.025	0.476%		7055.3
59	1747.3	9.124	0.054%		742
60	37935.4	9.273	1.169%		11727.2
61	11046.8	9.421	0.340%		5333.4
62	3364.8	9.483	0.104%		1375.8
63	4766.7	9.534	0.147%		1176.5
64	30610.6	9.643	0.943%		9573.1
65	4495.9	9.867	0.139%		1782.9
66	2623.1	10.076	0.081%		916.5
67	35327	10.242	1.088%		13968.7
68	4520.9	10.351	0.139%		1668.2
69	3210.5	10.661	0.099%		1311.3
70	193938.6	10.81	5.974%		83017
71	3058.6	10.948	0.094%		1032
72	15752.7	11.022	0.485%		3411
73	12451.8	11.162	0.384%		3347.5
74	25107.8	11.219	0.773%		4182.2
75	85874.6	11.367	2.645%		26577.1
76	14902.6	11.494	0.459%		5578.3
77	31423.7	11.551	0.968%		8080.7
78	68586.4	11.623	2.113%		26130.9
79	30676.3	11.702	0.945%		8800
80	21058.5	11.752	0.649%		8121.2
81	18941.7	11.802	0.584%		7262.5
82	130386.1	11.899	4.017%		33714.2
83	82669.2	12.08	2.547%		10226.9
84	49788.4	12.216	1.534%		11815.7
85	35359.3	12.274	1.089%		11333.9
86	20997.3	12.328	0.647%		8636.7

87	126833.8	12.411	3.907%		31975.6
88	25668.5	12.53	0.791%		9840.6
89	38795.5	12.582	1.195%		12301.7
90	84714.5	12.641	2.610%		27088
91	43956.6	12.718	1.354%		13060.5
92	69057.5	12.783	2.127%		14895.3
93	134640.6	12.906	4.148%		33882.2
94	93847.7	13.058	2.891%		14596.1
95	31002.4	13.137	0.955%		10187.9
96	49583.5	13.21	1.527%		13837.4
97	44132.1	13.259	1.360%		12362.6
98	109411.9	13.384	3.371%		29896.2
99	22725.5	13.473	0.700%		7656.8
100	71375.7	13.545	2.199%		11615.9
101	36945.9	13.676	1.138%		9014.7
102	31704.7	13.729	0.977%		9187.6
103	110677.9	13.85	3.410%		27802
104	62374.4	13.989	1.922%		9230.8
105	30854.2	14.127	0.950%		7474.4
106	24041.8	14.187	0.741%		6340.1
107	61659.5	14.295	1.899%		17315.7
108	14760.5	14.383	0.455%		5831.1
109	63631	14.456	1.960%	CpCC	14169.1
110	38361	14.616	1.182%		5523.5
111	53247.4	14.728	1.640%		14359.7
112	31335.4	14.869	0.965%		5553
113	37770.6	15.025	1.164%		11438.1
114	32014.7	15.154	0.986%		9117.4
115	18869.9	15.291	0.581%	CpCpLa	3436.7
116	5687.4	15.427	0.175%		1272.4
117	41602.6	15.591	1.282%		15264.7
118	7935.3	15.737	0.244%		2051.7
119	1160.9	15.816	0.036%		707.9
120	11907.8	16.045	0.367%		4294
121	38462.9	16.191	1.185%	CpCLa	11663.4
122	12241.4	16.526	0.377%		4028.3
123	47335.3	16.638	1.458%		14276.8
124	31494.2	16.823	0.970%		8506.1
125	6202.2	17.036	0.191%	CCLa	2049.6
126	6158.6	17.179	0.190%		1734.8
127	25184	17.498	0.776%		7486.2
128	8890.3	17.575	0.274%		2570.7
129	3685.8	17.806	0.114%		1282.1
130	2684.7	18.121	0.083%		832.4
131	19629.9	18.215	0.605%	CLaLa	5809.6

132	6717.2	18.739	0.207%		1655
133	18558.5	18.972	0.572%	LaLaLa	5054.6
134	10237.8	19.684	0.315%		2478.5
135	21366.3	19.769	0.658%		4994.6
136	19715.5	20.594	0.607%	CLaM	4036.8
137	2146.1	21.346	0.066%		689.2
138	11727.6	21.456	0.361%		2581.3
139	1646.6	21.959	0.051%	LaLaM	960.2
140	9339.8	22.445	0.288%		2274.8
141	13986.4	23.587	0.431%	LaLaO/LaMP	1853.5
142	3315.6	25.982	0.102%	LaMO	1251.2
143	1511.7	27.402	0.047%	MPP	831.9
	3246125				

Tabel B. 8 Sampel Co-culture MT Red (BB)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
30	3229.7	5.454	0.444%		1746.1
31	5008.2	5.509	0.448%		2475.1
32	4154	6.278	0.511%		1550.2
33	4353.1	6.347	0.516%		1501.6
34	4161	6.763	0.550%		1341.5
35	3575.1	6.953	0.566%		1504.3
36	5997.9	7.003	0.570%		2676.7
37	2480	7.075	0.576%		686.2
38	3055.8	7.489	0.609%		1653.5
39	2492.2	7.582	0.617%		1033
40	3781.4	7.657	0.623%		1455.9
41	3555	7.71	0.627%		1791.5
42	14470.1	7.881	0.641%		2255.1
43	9532.9	8.002	0.651%		4153.1
44	28015.4	8.14	0.662%		8519.9
45	2277	8.339	0.679%		1213
46	9796.6	8.383	0.682%		4686.7
47	18738.3	9.03	0.735%		8528
48	3160.2	9.117	0.742%		1210.4
49	11118.3	9.273	0.755%		2974.6
50	2717.5	9.425	0.767%		1374.3
51	28765.8	9.65	0.785%		12515.5
52	3567.5	9.877	0.804%		1385.1
53	38658.7	10.248	0.834%		17157
54	1298.7	10.332	0.841%		983.6
55	6307.1	10.471	0.852%		2034.9
56	106680.5	10.819	0.880%		45725.3

57	5774	10.934	0.890%		1864.9
58	13074.5	11.02	0.897%		4058.4
59	23565.5	11.17	0.909%		4261.4
60	24085.1	11.254	0.916%		4367.1
61	92781.7	11.374	0.925%		32602.7
62	15543.4	11.48	0.934%		4353.2
63	29374	11.562	0.941%		7881.7
64	54960.7	11.63	0.946%		19157
65	31452.8	11.705	0.952%		9185.1
66	37477.8	11.762	0.957%		7605.2
67	137013.7	11.907	0.969%		40479.6
68	16315.4	12.017	0.978%		5899.7
69	52273.5	12.089	0.984%		10720.1
70	68046	12.223	0.995%		12549.5
71	34843.1	12.283	0.999%		11257.1
72	20117.3	12.339	1.004%		8620.1
73	141810.7	12.421	1.011%		41630.5
74	68248.7	12.589	1.024%		13348
75	58809.9	12.648	1.029%		17512.7
76	46060.8	12.726	1.035%		13473.7
77	50948.9	12.785	1.040%		13239.3
78	154202	12.914	1.051%		41830.3
79	78087	13.068	1.063%		14058.2
80	31698.8	13.149	1.070%		10227.4
81	38480.2	13.213	1.075%		11094.7
82	34137.9	13.27	1.080%		11514.9
83	127051.2	13.395	1.090%		35167.9
84	84395.5	13.544	1.102%		11210.5
85	24237.9	13.68	1.113%		7671.3
86	30189	13.737	1.118%		8809.3
87	108654.4	13.856	1.127%		28811.1
88	58082	14.005	1.140%		9393.6
89	25242.6	14.135	1.150%		6317.6
90	14769.9	14.196	1.155%		4375.7
91	62271	14.304	1.164%		19747.8
92	8021.1	14.392	1.171%		4050.7
93	44255.5	14.45	1.176%	CpCC	8094.4
94	19848.7	14.578	1.186%		5361
95	18371.6	14.63	1.190%		5226.9
96	54110.4	14.739	1.199%		16121.7
97	35206.2	14.883	1.211%		6231.9
98	8224.8	15.001	1.221%		3345.4
99	9512.4	15.049	1.224%		3053.4
100	29873.4	15.164	1.234%		11176
101	17252.3	15.294	1.244%	CpCpLa	3486.1

102	1566.9	15.447	1.257%		608.1
103	19023.4	15.6	1.269%		7138.6
104	1145.4	15.685	1.276%		661.5
105	10453.4	15.745	1.281%		2422.8
106	22098	16.059	1.307%	CpCLa	6853.3
107	18141.3	16.545	1.346%		5539.7
108	25529.6	16.654	1.355%		5281.6
109	2929.8	16.875	1.373%		611.4
110	14030.1	17.048	1.387%	CCLa	3899.1
111	7291.1	17.19	1.399%		1939.9
112	10733	17.589	1.431%		3055.7
113	4972.5	17.815	1.450%		1873.5
114	3072.5	18.147	1.477%	CLaLa	1231.7
115	9423.1	18.739	1.525%		1963.5
116	1987.6	19.362	1.575%	LaLaLa	1078.9
117	6269.7	19.711	1.604%		1952.9
118	6623.5	20.618	1.678%	CLaM	857.6
119	4990.5	29.888	2.432%		1200.9
120	2336.7	30.156	2.454%		863.4
121	2269	32.24	2.623%		1002.9
122	1048.9	32.508	2.645%		582.7
		1228.992			

Tabel B. 9 Sampel Co-culture MT Red duplo (EE)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
18	8923.6	5.439	0.205%		2036.3
19	3513.7	5.503	0.081%		1663.4
20	2861.5	6.27	0.066%		1241.6
21	2585.6	6.342	0.059%		1333.9
22	1937.4	6.45	0.045%		1030.6
23	8570.9	6.599	0.197%		1125
24	12164	6.745	0.280%		2431.3
25	5692	6.809	0.131%		1882.8
26	2653.9	7	0.061%		1504.4
27	4831.2	7.634	0.111%		2040.3
28	6242.3	7.703	0.144%		3008
29	9084	7.874	0.209%		1701.9
30	6728.8	7.992	0.155%		1760.7
31	7272	8.128	0.167%		2892.7
32	5810.2	8.327	0.134%		2151.7
33	13516.4	8.376	0.311%		5751
34	5836.7	8.647	0.134%		1711.8
35	20850.3	9.024	0.479%		9883.8

36	3672.7	9.14	0.084%		1025.8
37	3798.4	9.563	0.087%		1536.7
38	30612.6	9.645	0.704%		14835
39	2151.3	9.749	0.049%		676.4
40	2774.6	9.876	0.064%		973.1
41	2991.3	10.024	0.069%		1344.5
42	8705	10.08	0.200%		2558.8
43	3247.1	10.146	0.075%		1753
44	47221.6	10.242	1.086%		22258.3
45	8434.2	10.458	0.194%		2331.6
46	7004.1	10.535	0.161%		2402.1
47	11574.4	10.607	0.266%		4032.9
48	9614.6	10.662	0.221%		3586.7
49	6146.3	10.72	0.141%		2434.3
50	126538	10.814	2.910%		49293.6
51	16255.2	10.926	0.374%		4040.6
52	34337.3	11.017	0.790%		6745.1
53	37519.7	11.163	0.863%		8238.8
54	36574.1	11.219	0.841%		7589.3
55	152236.9	11.368	3.501%		47382.9
56	73969.9	11.557	1.701%		11388.6
57	41092.8	11.616	0.945%		11253.7
58	55433.7	11.698	1.275%		15205.6
59	35100.1	11.757	0.807%		12460.8
60	27073.6	11.802	0.623%		10590.3
61	193384.4	11.902	4.447%		59119.4
62	36374.1	12.017	0.836%		10564.4
63	102223.8	12.081	2.351%		15630.7
64	66864.7	12.217	1.538%		17225.1
65	46479.4	12.276	1.069%		17084
66	42431.5	12.32	0.976%		13912.8
67	194664.9	12.415	4.476%		55645.7
68	96423	12.585	2.217%		17956.8
69	71181.8	12.64	1.637%		20593
70	68999.8	12.722	1.587%		18364.8
71	63207.2	12.777	1.453%		18270.3
72	27947.4	12.843	0.643%		11876.7
73	171431.7	12.909	3.942%		53452.4
74	141225.4	13.064	3.248%		16943.3
75	55423.5	13.202	1.275%		16079.9
76	55451.6	13.26	1.275%		16236.7
77	172337.1	13.387	3.963%		48732
78	110779.4	13.542	2.547%		16791.8
79	68498.1	13.675	1.575%		13492.9
80	46986.8	13.729	1.080%		12879

81	155238.5	13.85	3.570%		37463.3
82	93145.6	14.007	2.142%		15149.5
83	50039.5	14.124	1.151%		11712.8
84	45687.7	14.184	1.051%		10785.4
85	114504.9	14.296	2.633%		32192.3
86	95163.6	14.446	2.188%	CpCC	13808.6
87	35297.6	14.568	0.812%		9237.8
88	32035.5	14.624	0.737%		9038.5
89	82963.7	14.731	1.908%		23211.4
90	58970.1	14.873	1.356%		9778.8
91	19101.8	14.992	0.439%		6687.1
92	22954.9	15.041	0.528%		6082.7
93	49805	15.156	1.145%		16835.4
94	8449.1	15.228	0.194%		4085.1
95	49068.8	15.292	1.128%	CpCpLa	7452.8
96	14967.7	15.432	0.344%		5405.7
97	13314.6	15.475	0.306%		4743.2
98	46333.6	15.591	1.065%		11493
99	9628.5	15.666	0.221%		3275.1
100	30706.7	15.747	0.706%		5024.4
101	12955.3	15.928	0.298%		1678.6
102	20538.8	16.049	0.472%		7164.4
103	8529.9	16.187	0.196%	CpCLa	2465.5
104	2602.1	16.415	0.060%		1247.9
105	13264.3	16.531	0.305%		4710.1
106	18762	16.65	0.431%		3665.9
107	7853.8	17.036	0.181%	CCLa	3402.1
108	12856.3	17.178	0.296%		3017.6
109	15199.9	17.577	0.350%		4010.6
110	14658.3	17.718	0.337%		2779.9
111	10452.6	17.804	0.240%		2414.4
112	6991.3	18.139	0.161%	CLaLa	2181.6
113	3438.6	18.224	0.079%		837.1
114	3026.1	18.297	0.070%		1212.7
115	5986.3	18.736	0.138%		1910.3
116	3618.9	18.938	0.083%		880.7
117	6497.8	19.149	0.149%		1680
118	2558.9	19.204	0.059%		1029.3
119	6188.6	19.359	0.142%	LaLaLa	1590.8
120	4328.2	19.446	0.100%		1175.3
121	11713.7	19.529	0.269%		1963.7
122	20260.3	19.782	0.466%		2096
123	11337.7	19.927	0.261%		2250.5
124	13182.1	20.001	0.303%		3217.1
125	6739.6	20.109	0.155%		1406.2

126	2446.8	20.151	0.056%		785.2
127	19917	20.251	0.458%		2522.1
128	7131.7	20.753	0.164%	CLaM	1677.1
129	8795.5	20.83	0.202%		2513.2
130	3033	20.94	0.070%		641.5
131	5825.6	21.292	0.134%		1788.8
132	10619.5	21.38	0.244%		2592.9
133	3439.8	21.526	0.079%		1914.8
134	3899.7	21.616	0.090%		689.8
135	1219.8	22.028	0.028%	LaLaM	840.2
136	4953.9	22.313	0.114%		1592.4
137	7168.6	22.722	0.165%		988.2
138	9373.2	22.914	0.216%		1715
139	13604.3	23.001	0.313%		4044.5
140	5569.9	23.063	0.128%		2198.8
141	2443.9	23.168	0.056%		1240.6
142	4524.9	23.24	0.104%		1280.6
143	9823	23.564	0.226%	LaLaO/LaMP	1140.6
144	15450.1	23.79	0.355%		2549.3
145	13317.6	24.047	0.306%		2147.6
146	6722.2	24.175	0.155%		1561
147	4638.5	24.456	0.107%		1344.7
148	1900.7	25.326	0.044%		816.1
149	7415.1	26.096	0.171%	LaMO	1925.7
150	4135.3	26.162	0.095%		1438.4
151	11015.6	26.519	0.253%		2055.4
152	3511.4	26.728	0.081%		1031.9
153	15525	27.811	0.357%	MPP	2615
154	9312.3	28.313	0.214%		2682.5
155	8650.3	28.367	0.199%		2940.3
156	4694.9	28.458	0.108%		1288.7
157	3400.6	28.637	0.078%		1155.3
158	1841.4	28.889	0.042%		982.6
159	9447.8	29.206	0.217%	PPP	1496.1
160	4953.7	29.554	0.114%		2166
161	2490.7	29.674	0.057%		878.9
162	3075.7	29.887	0.071%		1680.5
163	2160.3	30.634	0.050%	PLP/POP	1205.5
164	6769.6	31.033	0.156%		1574
165	6074.5	31.152	0.140%		2157.4
166	1676.6	31.45	0.039%		1077.3
167	2198.7	31.671	0.051%		1215.8
168	4347.2	32.555	0.100%		1125.4
169	5123.2	32.641	0.118%	PLO/POO	1575.4

170	3531.7	33.85	0.081%		1347.1
171	3805.5	33.932	0.088%		1115.9
172	3867.4	34.011	0.089%		1469.4
173	6248.6	34.268	0.144%		1161.1
174	3604.1	34.651	0.083%		1578.6
175	3597.2	36.816	0.083%		1512.3
176	4195.9	36.942	0.096%		1382
177	8635.1	37.089	0.199%		1612.7
178	1576.3	37.25	0.036%		648.5
179	2744.6	37.435	0.063%		1225.5
180	6796.2	37.889	0.156%		1467.2
	4348630				

Tabel B. 10 Sampel Co-culture WT BG (C)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
21	8727	5.457	1.023%		3507.3
22	10359.5	5.516	1.215%		3174
23	8872.4	5.624	1.040%		2490.5
24	8794.3	6.96	1.031%		4269.6
25	2799.3	7.01	0.328%		1390.4
26	3107.1	7.085	0.364%		1218.3
27	6922.2	7.498	0.812%		3057.8
28	2550.8	7.63	0.299%		798.4
29	3148.7	7.714	0.369%		1496.9
30	2693.7	7.84	0.316%		845.3
31	3620.5	7.887	0.424%		1614.6
32	18945.4	8.01	2.221%		7500.6
33	28817.5	8.145	3.378%		10108.4
34	11973.1	8.345	1.404%		4495.4
35	7104.9	8.391	0.833%		2679.9
36	6696.6	9.035	0.785%		2980.3
37	2380.5	9.118	0.279%		1126.8
38	12419	9.276	1.456%		3303.6
39	2656.9	9.427	0.311%		1268.8
40	8593	9.619	1.007%		3403.3
41	4399	9.656	0.516%		2721.3
42	7777.3	10.251	0.912%		3429.4
43	7730.9	10.3	0.906%		2705.9
44	1961.6	10.374	0.230%		861.5
45	1473.3	10.728	0.173%		1022.6
46	227227.4	10.82	26.639%		105276.8
47	4361.6	11.056	0.511%		1055.4
48	9916	11.376	1.163%		3060
49	4290.2	11.555	0.503%		1187.9

50	20095.5	11.632	2.356%		7598
51	3983.1	11.779	0.467%		1069
52	24972.5	11.906	2.928%		4842.7
53	17122.5	12.097	2.007%		3075.7
54	4595.8	12.157	0.539%		1651.3
55	8286.6	12.232	0.971%		2312.8
56	4757.2	12.297	0.558%		1740.8
57	2381.3	12.339	0.279%		1255.6
58	10395	12.418	1.219%		3372.2
59	4950.3	12.591	0.580%		2146.6
60	72884.6	12.653	8.545%		33934.7
61	13701.5	12.908	1.606%		4742.2
62	9716.7	13.06	1.139%		2690.7
63	2861.5	13.161	0.335%		671.8
64	2335.2	13.277	0.274%		1211.5
65	9668.4	13.395	1.133%		3976.8
66	3505.9	13.534	0.411%		802.8
67	4075.7	13.688	0.478%		995.6
68	10108.4	13.857	1.185%		3047
69	3867	14.306	0.453%		1451.8
70	8714.4	14.394	1.022%		4160
71	14117.7	14.493	1.655%	CpCC	2056.8
72	5955.6	14.736	0.698%		1866.2
73	11743.1	15.13	1.377%		2048.5
74	4500.6	15.181	0.528%		1535.2
75	4754.9	15.294	0.557%	CpCpLa	1838.2
76	25538.1	16.655	2.994%	CCLa	9057.1
77	5802.7	17.555	0.680%		1794.7
78	6589.3	17.748	0.773%		1185.2
79	3334.4	18.04	0.391%	CLaLa	1093.1
80	2028.3	18.849	0.238%		985.9
81	6753.5	19.389	0.792%	LaLaLa	1525.3
82	2737.8	19.507	0.321%		855.6
83	3157.9	20.102	0.370%	CLaM	1056.9
84	2141.3	21.656	0.251%	LaLaM	1130.7
85	3913.1	29.199	0.459%	PPP	980.6
86	10458.3	30.837	1.226%	PLP/POP	1831.6
87	1856.3	31.554	0.218%		731.9
88	1521.2	33.291	0.178%		875.1
89	3244.2	33.797	0.380%		592.5
90	8488.3	35.357	0.995%		850.3
91	2350.6	35.536	0.276%		1500.1
92	17760.4	35.7	2.082%		2113.7
93	3701	36.385	0.434%		1511
94	3440.8	37.133	0.403%		896.3

95	10156.2	37.479	1.191%		2208.2
96	13632.2	37.895	1.598%		1925
	852976.6				

Tabel B. 11 Sampel Co-culture WT BG duplo (F)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
40	6834	5.102	0.301%		1312.6
41	6340.7	5.229	0.280%		1724.2
42	3926.9	5.282	0.173%		1519.7
43	28690.6	5.449	1.265%		14064.3
44	14208.7	5.506	0.626%		6906.3
45	2028.5	5.68	0.089%		1017.1
46	11613.7	6.122	0.512%		2072.6
47	7709.7	6.269	0.340%		3139.5
48	17194	6.345	0.758%		4964.8
49	2498	6.412	0.110%		1187.8
50	1817.5	6.463	0.080%		880
51	3241.6	6.637	0.143%		957.5
52	6747.9	6.739	0.298%		2546.9
53	50375.7	6.952	2.221%		23818.6
54	7023.6	7.005	0.310%		4443.2
55	4061.1	7.056	0.179%		1777.5
56	1791.4	7.127	0.079%		911.1
57	2564.1	7.177	0.113%		1383.7
58	14656.7	7.486	0.646%		7921.7
59	3185	7.555	0.140%		801.6
60	4971	7.653	0.219%		1536.8
61	4517.6	7.708	0.199%		1958.4
62	1316.8	7.779	0.058%		654.3
63	12197.9	7.835	0.538%		5479.5
64	12393.9	7.881	0.546%		5133.1
65	52411.7	8.012	2.311%		19556.7
66	89314.2	8.152	3.938%		31588.5
67	70003.2	8.337	3.087%		24781.1
68	8753.6	8.787	0.386%		1122.3
69	4191.8	8.924	0.185%		1526.4
70	13674.8	9.03	0.603%		4860.3
71	6563.3	9.111	0.289%		1898.9
72	46510.1	9.273	2.051%		10728.4
73	31769.8	9.424	1.401%		9225.8
74	62506.7	9.61	2.756%		23331.4
75	2617	9.702	0.115%		1499.3
76	6772.4	9.772	0.299%		1730
77	7893	9.876	0.348%		1749.4

78	3518	10.091	0.155%		1378.7
79	2901.5	10.169	0.128%		1133.5
80	7656.7	10.243	0.338%		3502.8
81	22484.1	10.286	0.991%		5394.8
82	6927.9	10.449	0.305%		2103
83	12261.2	10.545	0.541%		2621.5
84	14210.5	10.654	0.627%		3583.4
85	6022.2	10.705	0.266%		2657.6
86	203802.6	10.807	8.986%		76499.3
87	2170.1	10.939	0.096%		972.3
88	19149.2	11.403	0.844%		4108.6
89	10601	11.539	0.467%		2762.6
90	111431.4	11.624	4.913%		47320.4
91	8102.8	11.76	0.357%		2245.2
92	2867.6	11.802	0.126%		1950.3
93	52956.3	11.872	2.335%		17009.2
94	5797.8	12.194	0.256%		1263.4
95	4648.1	12.278	0.205%		1858.7
96	42857.9	12.415	1.890%		5147.9
97	21310.8	12.578	0.940%		7095.4
98	56132.1	12.64	2.475%		18936.6
99	48712.2	12.787	2.148%		9709.7
100	83251	12.884	3.671%		21611.5
101	37567.4	13.031	1.656%		8123.8
102	26871.8	13.144	1.185%		6780.6
103	19245.9	13.266	0.849%		5722.9
104	46296.1	13.38	2.041%		13320.4
105	14116.1	13.532	0.622%		3490.7
106	14158.8	13.636	0.624%		3204.3
107	13258.1	13.705	0.585%		3071.1
108	39086.1	13.83	1.723%		12069.9
109	9233.9	13.943	0.407%		2271.5
110	12827.8	14.094	0.566%		2333.8
111	3860.2	14.205	0.170%		777.1
112	10065.2	14.289	0.444%		3854.8
113	21311.1	14.382	0.940%		7639.1
114	7318.4	14.479	0.323%	CpCC	2245.2
115	8602.7	14.646	0.379%		1464.7
116	23345.2	14.717	1.029%		8458.6
117	3909	14.92	0.172%		1567.6
118	2269.5	15.073	0.100%		605
119	7662.6	15.142	0.338%		2116.2
120	3771.8	15.273	0.166%	CpCpLa	1267.8
121	6726.6	15.35	0.297%		2270.6
122	15091.4	15.581	0.665%		5151.5

123	1964	15.75	0.087%		564.2
124	3849.3	15.84	0.170%		1403.7
125	2052.1	16.327	0.090%	CpCLa	908.5
126	11277.7	16.521	0.497%		3273.4
127	234080.6	16.645	10.321%		81906
128	2672.3	16.87	0.118%		756.7
129	9447.2	17.007	0.417%		2222.4
130	5689.2	17.162	0.251%	CCLa	1698.8
131	1957.2	17.5	0.086%		1010.1
132	8031.5	17.563	0.354%		2411.9
133	3417.3	17.796	0.151%		1103.7
134	5668.5	18.293	0.250%	CLaLa	1853.8
135	2130.9	18.656	0.094%		1157
136	1396.2	19.208	0.062%	LaLaLa	869.9
137	1697.7	19.516	0.075%		428.6
138	4862.8	19.688	0.214%		1482.1
139	4090.7	19.992	0.180%		900.4
140	4805.6	20.149	0.212%		1008.1
141	4361.9	20.398	0.192%	CLaM	1404
142	9520.5	21.602	0.420%		2515.8
143	1527.3	21.748	0.067%	LaLaM	915.9
144	1752.9	22.835	0.077%		1062.4
145	1205.5	23.039	0.053%		795.1
146	3437.8	23.575	0.152%	LaLaO/LaMP	1656.9
147	2605.4	24.782	0.115%		1474
148	2189.1	24.946	0.097%		1191.1
149	3523	25.067	0.155%		1790.3
150	6277.2	25.285	0.277%		2321.3
151	2985.3	26.564	0.132%		1560
152	1921.8	27.524	0.085%	MPP	879.7
153	6383.6	27.933	0.281%		1546.9
154	1378.1	28.019	0.061%		615.7
155	4513.4	28.219	0.199%		1327.9
156	8440.4	28.315	0.372%		1806
157	2603.1	28.406	0.115%		1242.2
158	8941.9	28.478	0.394%		1514.5
159	5572.4	28.595	0.246%		1770.3
160	6362.4	29.059	0.281%	PPP	2141.8
161	27367.8	29.167	1.207%		3776.7
162	3086.7	29.382	0.136%		1361
163	3544.2	29.456	0.156%		1014.5
164	7014.3	29.755	0.309%		1510.7
165	1282.2	30.021	0.057%		850.7
166	1956.9	30.108	0.086%		1213.2

167	13825.6	30.767	0.610%	PLP/POP	1900.3
168	6460.4	31.025	0.285%		1867.1
169	4247.3	31.112	0.187%		1964.9
170	2292.7	31.873	0.101%		1282.7
171	1439	31.951	0.063%		823.5
172	6918.8	32.615	0.305%	PLO/POO	1450.9
173	2383.1	33.458	0.105%		1126.7
174	5629.9	33.668	0.248%		1788.1
175	2131.8	33.777	0.094%		928
176	1571.5	33.872	0.069%		890.8
177	2523.7	34.085	0.111%		1195.2
178	7270.8	34.142	0.321%		1710.3
179	7605.5	34.409	0.335%		1573
180	2195.4	34.604	0.097%		1086.4
181	6368	34.989	0.281%		1703.9
182	4109	35.277	0.181%		1955.3
183	4161.3	35.511	0.183%		1794.7
184	5494.7	36.532	0.242%		1792.1
185	5226.6	36.945	0.230%		1264.3
186	2301.1	37.33	0.101%		1282.6
187	1633	37.403	0.072%		774.1
188	2143	37.458	0.094%		1124.7
	2268035				

Tabel B. 12 Sampel Co-culture MT BG duplo (CC)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
18	2943.1	5.446	0.1824%		1234.3
19	5044.7	5.507	0.3127%		1902.9
20	1024.9	5.558	0.0635%		764.7
21	2948.8	6.268	0.1828%		1078
22	3355.5	6.343	0.2080%		1059.7
23	5392.3	6.794	0.3342%		1068.3
24	2963.7	6.95	0.1837%		1379.4
25	4481.6	7.007	0.2778%		2081.7
26	3101.4	7.07	0.1922%		874.8
27	10806.7	7.489	0.6699%		5353.2
28	4032.3	7.707	0.2499%		1923.9
29	6479	7.828	0.4016%		1278.2
30	8909.6	7.99	0.5523%		1396.7
31	12136.9	8.133	0.7523%		3744.9
32	10932.8	8.38	0.6777%		3542.8
33	11519.2	9.03	0.7140%		5841.1
34	2153.9	9.118	0.1335%		907.1

35	18057.7	9.65	1.1193%		8321
36	2041.9	10.08	0.1266%		1039.5
37	24019.3	10.245	1.4889%		12123.5
38	2699.5	10.665	0.1673%		1350.5
39	71234.1	10.816	4.4155%		28514.2
40	1999.8	10.939	0.1240%		899.3
41	3819.7	11.023	0.2368%		1952.8
42	4121.3	11.168	0.2555%		1573.9
43	9450.8	11.261	0.5858%		1651.6
44	59811.9	11.372	3.7075%		23340.5
45	19251.8	11.562	1.1933%		4816.2
46	23350.3	11.626	1.4474%		7727.1
47	21121.7	11.703	1.3092%		6001.3
48	23963.7	11.762	1.4854%		5492.2
49	89924.9	11.904	5.5741%		29692
50	43624.4	12.081	2.7041%		6781
51	44974.1	12.224	2.7878%		8478.3
52	23108.3	12.275	1.4324%		7561.5
53	14241.7	12.334	0.8828%		5779.5
54	92734.8	12.416	5.7482%		28164.9
55	40805.8	12.588	2.5294%		8414.5
56	36023.4	12.644	2.2329%		10673.6
57	28229.6	12.725	1.7498%		8040.8
58	31165.1	12.783	1.9318%		8475.9
59	103532.1	12.91	6.4175%		26886.5
60	52945	13.065	3.2818%		9502
61	41721.2	13.206	2.5861%		7585
62	23694.6	13.263	1.4687%		6946.5
63	84757	13.39	5.2537%		24176
64	46785.6	13.539	2.9000%		7808.3
65	28420.7	13.677	1.7617%		5623.3
66	18054.1	13.729	1.1191%		5324.2
67	62993.3	13.854	3.9047%		19000.2
68	36853.2	14.005	2.2844%		6172.1
69	18161.5	14.134	1.1258%		4161.7
70	12894.6	14.192	0.7993%		3482.5
71	44928.9	14.302	2.7850%		14981
72	27299.5	14.453	1.6922%	CpCC	4579.3
73	8643.1	14.567	0.5357%		2363.3
74	4917	14.654	0.3048%		1154
75	31031.5	14.736	1.9235%		12180.1
76	11458.9	14.875	0.7103%		2908.9
77	20180.2	15.16	1.2509%		8133.4
78	9563.5	15.297	0.5928%	CpCpLa	2701.4
79	1283.8	15.363	0.0796%		980

80	16300.2	15.597	1.0104%		6179.3
81	11949.2	16.055	0.7407%	CpCLa	4649.2
82	9446.8	16.536	0.5856%		3293
83	10178.6	16.65	0.6309%		3027.1
84	7950.7	17.043	0.4928%	CCLa	3048.9
85	6480.4	17.18	0.4017%		1296.8
86	7626.8	17.581	0.4728%		2385.7
87	4660.5	17.731	0.2889%		1153
88	3317.6	17.827	0.2056%		897.1
89	5409.5	18.154	0.3353%	CLaLa	2024.8
90	5307.5	18.747	0.3290%		1458.6
91	1906.9	19.373	0.1182%	LaLaLa	881.1
92	1095.6	19.638	0.0679%		442.4
93	1968	23.372	0.1220%		857.1
94	1553.6	23.868	0.0963%	LaLaO/LaMP	795.3
	1613273				

Tabel B. 13 Sampel Co-culture MT BG duplo (FF)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
34	3205.8	5.449	0.085%		1669.4
35	4300.7	5.508	0.114%		1947.6
36	1892.1	5.741	0.050%		751.5
37	5407.9	5.902	0.144%		1902.3
38	5680.9	6.267	0.151%		2214
39	5892.4	6.347	0.157%		2051.3
40	3283.9	6.76	0.087%		947.7
41	1639	6.949	0.044%		887.4
42	3261.1	7.001	0.087%		1864
43	1664.2	7.17	0.044%		1064.7
44	8894.9	7.486	0.236%		4533.3
45	3509.2	7.565	0.093%		846.4
46	7673.5	7.704	0.204%		3587.2
47	11123.6	7.834	0.296%		2386.2
48	3788.8	7.988	0.101%		1501.3
49	12711.4	8.129	0.338%		4937.8
50	2061.3	8.331	0.055%		1029.9
51	10234	8.38	0.272%		5167.4
52	19443.8	9.026	0.517%		9315
53	6073.9	9.264	0.161%		2073.1
54	4243.1	9.417	0.113%		2002.9
55	2191.9	9.479	0.058%		795.4
56	28519.2	9.645	0.758%		13344.3
57	1490.9	10.082	0.040%		901.5

58	45814.7	10.242	1.217%		19826
59	10097.9	10.35	0.268%		3168.6
60	26028.9	10.459	0.692%		3703.5
61	11920	10.599	0.317%		4054.5
62	15365.5	10.661	0.408%		4642.9
63	8005.9	10.725	0.213%		2773.1
64	155671	10.812	4.136%		59615.2
65	16578.5	10.935	0.440%		4294.9
66	41370.4	11.018	1.099%		6552.1
67	31454.4	11.165	0.836%		7130.8
68	31702	11.221	0.842%		7504.9
69	140671.2	11.369	3.738%		39271.7
70	66621.9	11.559	1.770%		11780.8
71	97854.4	11.626	2.600%		34566.8
72	45474.1	11.699	1.208%		12904.3
73	32027.6	11.755	0.851%		11317.9
74	25102.3	11.803	0.667%		9453.9
75	168422.5	11.9	4.475%		49049.7
76	33144.5	12.013	0.881%		9299.6
77	58846.7	12.075	1.564%		13694.7
78	92512.2	12.219	2.458%		16137
79	42120.5	12.274	1.119%		14366.1
80	34706.5	12.331	0.922%		12028.7
81	178410.2	12.415	4.740%		46173.1
82	77950	12.582	2.071%		15999.7
83	68133.1	12.642	1.810%		21750.2
84	68905.5	12.724	1.831%		17291.5
85	58873.1	12.776	1.564%		17002
86	190576	12.908	5.064%		49195.5
87	113411.7	13.056	3.013%		18511.7
88	45404.4	13.14	1.206%		14754.8
89	51760.3	13.203	1.375%		14599.8
90	50499	13.265	1.342%		15159.1
91	164966.6	13.388	4.383%		42446.7
92	106134.8	13.538	2.820%		14966.5
93	38202.4	13.669	1.015%		11946.4
94	39819	13.722	1.058%		11852.3
95	130723.7	13.85	3.473%		33469.3
96	85497.4	13.999	2.272%		12554.8
97	43691.6	14.129	1.161%		9857.2
98	31363.9	14.181	0.833%		8385.8
99	94375.3	14.297	2.508%		26786.3
100	82128.3	14.457	2.182%	CpCC	11433.7
101	24967.1	14.567	0.663%		7353.9
102	24533	14.621	0.652%		6145.9

103	68826.1	14.73	1.829%		21077.4
104	56000.3	14.873	1.488%		8680.3
105	16928.3	14.993	0.450%		5497
106	18006.1	15.046	0.478%		4498.9
107	48235.5	15.155	1.282%		14857.5
108	33399.2	15.293	0.887%	CpCpLa	5789
109	18543.3	15.455	0.493%		3403.2
110	29336.6	15.592	0.779%		9356.4
111	48289.8	15.763	1.283%		15221.1
112	16410.9	16.048	0.436%		6019.5
113	9745.4	16.177	0.259%	CpCLa	2788
114	4833.5	16.241	0.128%		1732.9
115	11309.7	16.528	0.301%		4479.1
116	43276.6	16.64	1.150%		14773.5
117	13503.5	17.037	0.359%	CCLa	3645.8
118	8444.6	17.184	0.224%		2001.2
119	7835.5	17.574	0.208%		2419.2
120	5971.1	17.777	0.159%		1466
121	1647.1	17.908	0.044%		888.1
122	6893.3	18.144	0.183%	CLaLa	1923.7
123	11477.8	18.302	0.305%		2272
124	5839	18.499	0.155%		1270
125	7879.4	18.745	0.209%		1617
126	4387.8	19.378	0.117%	LaLaLa	1188.6
127	6458.7	19.658	0.172%		1894.1
128	5752	19.994	0.153%		1854.4
129	2116.1	20.077	0.056%		1189.9
130	1878.9	20.841	0.050%	CLaM	1029.6
131	2649.4	20.892	0.070%		1271.5
132	2417.2	21.312	0.064%		1245.6
133	1934.8	21.94	0.051%	LaLaM	1035.9
134	5309.4	22.039	0.141%		1231.7
135	2536.4	23.233	0.067%		1251.7
136	3118.5	23.711	0.083%	LaLaO/LaMP	1726.4
137	2857.5	24.229	0.076%		1419.7
138	3070.5	24.708	0.082%		886.4
139	3047.8	27.619	0.081%	MPP	1076.5
140	12064.3	28.645	0.321%		1844.1
141	11850.5	28.835	0.315%		1810.7
142	2743.2	28.977	0.073%	PPP	1384.9
143	3044	30.054	0.081%		1276
144	2663.8	30.101	0.071%		1741.6
145	5557.7	32.477	0.148%		1451.5
146	7703	32.868	0.205%	PLO/POO	2324.3

147	8950.1	33.224	0.238%		1917.4
148	1445.4	33.784	0.038%		899.2
149	1697.5	36.879	0.045%		1269.1
150	2560.2	37.032	0.068%		1612.4
151	3142	37.37	0.083%		1623.2
	3763617				

Tabel B. 14 Sampel Axenic WT White (G)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
31	2035.7	5.452	0.125%		1049.3
32	2536.5	5.512	0.156%		1311.8
33	9792.3	5.694	0.601%		1843.6
34	3379	5.781	0.207%		1661.8
35	2269	6.67	0.139%		969.8
36	4699.4	7.008	0.288%		1651.7
37	3163.1	7.493	0.194%		1302.6
38	10302	7.574	0.632%		1471.6
39	5719.3	7.709	0.351%		2652.8
40	12064.9	8.001	0.741%		4583.7
41	16486.8	8.134	1.012%		5563.8
42	1325.8	8.331	0.081%		632.6
43	8408.9	8.383	0.516%		4250.5
44	17815.4	9.029	1.094%		8614.1
45	9220.4	9.273	0.566%		2365.6
46	10372.5	9.425	0.637%		2272.9
47	25419.2	9.649	1.560%		11972.9
48	2921.8	9.876	0.179%		1375.3
49	3435.1	10.02	0.211%		1276.8
50	36173.9	10.245	2.220%		16131.4
51	5794.3	10.331	0.356%		2178.5
52	18146	10.477	1.114%		3186.5
53	12632	10.607	0.775%		3420.9
54	9311.5	10.663	0.572%		2829.4
55	86935.7	10.817	5.336%		32873.3
56	6091.8	10.944	0.374%		1444.9
57	10447.8	11.019	0.641%		2477.2
58	3768.5	11.169	0.231%		1520.6
59	69073.8	11.371	4.240%		29385.2
60	17227.8	11.56	1.058%		4336.6
61	23728.2	11.628	1.457%		8034.8
62	15805	11.701	0.970%		5739.4
63	4981.9	11.76	0.306%		2178.7
64	86058.7	11.904	5.283%		37331.5

65	1993.5	12.012	0.122%		872.9
66	18952.3	12.083	1.163%		5404.3
67	8442	12.148	0.518%		2900.8
68	23795.4	12.221	1.461%		7065.2
69	16143.7	12.279	0.991%		6284.4
70	7608.2	12.339	0.467%		3262.6
71	93046.6	12.417	5.712%		36078.9
72	30437	12.585	1.868%		7409.9
73	24942.3	12.64	1.531%		8331.5
74	28036	12.722	1.721%		8068.9
75	18468	12.782	1.134%		6283.5
76	96796	12.91	5.942%		34945.9
77	44617.8	13.07	2.739%		7644.7
78	26482	13.203	1.626%		6199
79	16778.4	13.264	1.030%		5642.1
80	80770.4	13.39	4.958%		30911.6
81	31211.8	13.542	1.916%		6360.6
82	17687.8	13.675	1.086%		4100.6
83	10384.1	13.729	0.637%		4177.2
84	62684.7	13.852	3.848%		24043.8
85	23422.6	14.001	1.438%		5548
86	13213.5	14.132	0.811%		3410.4
87	7422.5	14.188	0.456%		2987
88	48601.7	14.3	2.983%		18807.3
89	31855.9	14.451	1.955%	CpCC	5444
90	15889.4	14.573	0.975%		2677.3
91	37725.8	14.734	2.316%		13933.8
92	19579.7	14.875	1.202%		3923
93	5651.4	14.995	0.347%		2120.6
94	2271.8	15.046	0.139%		1225.5
95	24018.9	15.157	1.474%		9547.6
96	15412	15.29	0.946%	CpCpLa	3214.5
97	1984.9	15.421	0.122%		978.8
98	1893.9	15.485	0.116%		772.6
99	19138	15.596	1.175%		7382.2
100	4407.6	15.736	0.271%		1521
101	13757.3	16.05	0.844%		4686.8
102	4172.6	16.195	0.256%	CpCLa	1430.9
103	7500	16.532	0.460%		2977.7
104	6555.3	16.652	0.402%		1867.7
105	7646.2	17.042	0.469%	CCLa	2505.8
106	3720.6	17.195	0.228%		1284.8
107	16933.4	17.583	1.039%		4683.2
108	16347.8	17.735	1.003%		2681.6
109	10998.3	17.816	0.675%		2318.4

110	1344	18.067	0.082%		805.6
111	6564.1	18.146	0.403%	CLaLa	1991.3
112	5168.2	18.317	0.317%		1335
113	26093.4	19.5	1.602%	LaLaLa	2602.4
114	5755.8	19.544	0.353%		1151.1
115	2338.2	20.846	0.144%	CLaM	847.7
116	3173.5	21.397	0.195%		882.7
117	1720.3	37.092	0.106%		788.5
	1629101				

Tabel B. 15 Sampel Axenic WT White duplo (G dup)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
15	12032.6	5.124	0.270%		1698
16	1879.1	5.269	0.042%		1027.8
17	4407.4	5.306	0.099%		1335.2
18	2410.7	5.561	0.054%		765.9
19	4197.1	5.99	0.094%		1693
20	4082.7	6.317	0.091%		898.9
21	2806.8	6.645	0.063%		1203.1
22	13283.7	6.927	0.298%		1864.4
23	1238.4	7.542	0.028%		483.8
24	5971	7.593	0.134%		1185.9
25	7278.1	7.863	0.163%		950.5
26	1164.5	7.948	0.026%		857.2
27	5131.6	8.359	0.115%		874.5
28	1929.2	8.553	0.043%		696.5
29	4452.3	8.987	0.100%		1166.6
30	2434.1	9.451	0.055%		867
31	5030.8	10.169	0.113%		1368.4
32	2788	10.247	0.062%		1310.6
33	5920.3	10.508	0.133%		1274.8
34	9555.2	11.623	0.214%		1042
35	6477.8	11.905	0.145%		1269.5
36	5157.2	12.485	0.116%		1445.3
37	2126.7	12.746	0.048%		1352.6
38	5869.4	13.165	0.132%		1343.5
39	7224.7	13.312	0.162%		1319.6
40	9026.7	13.436	0.202%		1253.4
41	4058.4	13.597	0.091%		1320.3
42	2240	13.693	0.050%		1118.4
43	6361.2	13.941	0.143%		1037
44	3541	14.136	0.079%		1425.8
45	12467	14.226	0.279%		1591.9

46	18911.6	14.491	0.424%	CpCC	3704.3
47	11508.2	14.578	0.258%		4409.9
48	1541.1	15.186	0.035%		812.4
49	20759.9	15.284	0.465%	CpCpLa	6687.1
50	6369.4	15.349	0.143%		2503.4
51	11952.8	15.437	0.268%		3792.1
52	7180.6	15.956	0.161%		756.5
53	104264.2	16.13	2.336%	CpCLa	24056.4
54	6354.2	16.261	0.142%		2034.5
55	10918.4	16.366	0.245%		2380.4
56	4338.4	16.618	0.097%		1064.4
57	454334.6	17.099	10.179%	CCLa	133177.2
58	650582.1	18.178	14.576%	CLaLa	133881
59	15528.2	18.365	0.348%		2330.3
60	9126	18.508	0.204%		1557.4
61	2111	18.643	0.047%		1146.5
62	7096.9	19.162	0.159%		1416.4
63	790429.7	19.311	17.709%	LaLaLa	123076.9
64	1446	19.558	0.032%		666.8
65	4020.1	20.417	0.090%		1422.2
66	727085.6	20.572	16.290%	CLaM	126504.7
67	2512.2	20.786	0.056%		820.9
68	4840.6	21.358	0.108%		1490.3
69	466722.1	21.953	10.457%	LaLaM	74467.6
70	17222.3	22.51	0.386%		1862
71	8458.8	22.731	0.190%		1682.1
72	3696.3	22.844	0.083%		1028
73	3778.9	23.364	0.085%		1443
74	92984.2	23.542	2.083%		14520.4
75	248043.7	23.704	5.557%	LaLaO/LaMP	35366.7
76	7900.8	23.931	0.177%		1574.2
77	4993.5	24.087	0.112%		1014.6
78	5395	24.275	0.121%		1246.9
79	1188.2	24.54	0.027%		776.8
80	2062.9	24.596	0.046%		1291.5
81	1801.9	24.646	0.040%		984.6
82	10120.8	24.957	0.227%		1885.8
83	15712	25.078	0.352%		2037.7
84	1893.1	25.56	0.042%		685.7
85	101410.9	25.757	2.272%	LaMO	10827.8
86	89259.1	25.921	2.000%		10593.9
87	2123.2	26.227	0.048%		599.8
88	79351.2	27.685	1.778%	MPP	13074.2
89	18709.2	27.772	0.419%		5617.9

90	13271.3	28.024	0.297%		1332.1
91	3199.9	28.215	0.072%		658.3
92	1022.6	28.63	0.023%		710.9
93	75549.5	29.086	1.693%	PPP	7933
94	6485.4	29.474	0.145%		1163.5
95	4044	30.562	0.091%		1387.4
96	19977.1	30.67	0.448%	PLP/POP	3075.7
97	16793.6	30.749	0.376%		4389.5
98	5835.5	30.824	0.131%		2465.4
99	6327.3	31.178	0.142%		1258.7
100	7090.8	31.638	0.159%		996
101	13636.3	32.671	0.306%	PLO/POO	1826.8
102	4013	32.746	0.090%		1412.2
103	3783.8	34.099	0.085%		1631.9
104	1958.9	34.142	0.044%		1141.3
105	14737.9	34.269	0.330%		1712.2
106	2077.9	34.488	0.047%		955.8
107	1218.6	36.064	0.027%		771.9
108	7751.2	36.12	0.174%		1407.5
109	3372	36.274	0.076%		666
110	1725.3	36.405	0.039%		753.4
111	5484.1	36.942	0.123%		1275
112	6095.8	37.049	0.137%		1326.7
113	3489.6	37.198	0.078%		819.9
114	1989	37.321	0.045%		976.2
115	12255.8	37.504	0.275%		1176.8
116	1647.2	37.695	0.037%		947.1
	4463417				

Tabel B. 16 Sampel Axenic MT White (GG)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
19	1578.1	5.451	0.053%		900.6
20	3930.9	5.509	0.131%		2090.4
21	3645.3	6.277	0.122%		1349.5
22	3430.4	6.352	0.114%		1109.9
23	2446.3	7.003	0.082%		1439.3
24	30023.7	7.488	1.001%		15174
25	4510.5	7.706	0.150%		2354.3
26	5350.9	7.836	0.178%		1122.5
27	5101	7.996	0.170%		2172.4
28	12572.6	8.131	0.419%		3646.8
29	8590.3	8.381	0.286%		3995.7
30	1315.5	8.844	0.044%		607.2
31	15135.7	9.028	0.505%		7447

32	12334.4	9.274	0.411%		2716.9
33	2624.1	9.418	0.087%		897.9
34	3224.2	9.474	0.108%		1012
35	22743.2	9.648	0.758%		10709.2
36	9552.3	9.879	0.319%		2615.3
37	6793.6	9.982	0.227%		964.2
38	5834	10.084	0.195%		1908.7
39	49700.4	10.245	1.657%		17536.5
40	7259.6	10.356	0.242%		2220.2
41	7664.2	10.458	0.256%		2682.5
42	1963.5	10.611	0.065%		1380.8
43	3575.4	10.664	0.119%		1655.3
44	1661.1	10.718	0.055%		987.3
45	76758.8	10.816	2.559%		31061.7
46	20648.8	11.022	0.689%		3922.5
47	16079.8	11.164	0.536%		4518
48	28785.3	11.23	0.960%		5660.3
49	112536.3	11.372	3.752%		33988.7
50	41416.6	11.565	1.381%		9081.3
51	75519	11.626	2.518%		26668.7
52	41100.9	11.702	1.370%		11674.5
53	48964	11.763	1.633%		10210.9
54	163891.3	11.904	5.465%		44592.4
55	101928.2	12.08	3.399%		13441.6
56	67653.4	12.222	2.256%		15095.1
57	45966.5	12.279	1.533%		14566.4
58	27310.7	12.33	0.911%		11446.7
59	186043.7	12.417	6.204%		45341.6
60	75660.2	12.587	2.523%		16751.1
61	61858.9	12.645	2.063%		17408.5
62	63086.4	12.726	2.104%		16640.4
63	68705.6	12.786	2.291%		18684.1
64	186653.7	12.913	6.224%		45856.2
65	106246.7	13.066	3.543%		17687.5
66	39455.3	13.144	1.316%		13282.8
67	51770.6	13.208	1.726%		14334.9
68	55661.6	13.268	1.856%		14980
69	140104.5	13.392	4.672%		40353.8
70	111226.3	13.541	3.709%		13736.9
71	45122	13.678	1.505%		11632.3
72	37789.9	13.73	1.260%		10720.5
73	124948.9	13.855	4.166%		32232
74	60831.6	14.004	2.028%		10961.3
75	38393.1	14.136	1.280%		7555.5
76	23427.7	14.189	0.781%		7321.7

77	82025.8	14.302	2.735%		22154.5
78	47557	14.448	1.586%	CpCC	8628.7
79	16890.4	14.57	0.563%		4521.3
80	11802.8	14.626	0.394%		3576.3
81	44972.1	14.736	1.500%		16420.5
82	22204	14.88	0.740%		4803.2
83	4597.7	15.004	0.153%		2141.5
84	4300	15.046	0.143%		2054.4
85	26707.7	15.158	0.891%		10994.2
86	13763	15.295	0.459%	CpCpLa	3172.8
87	3070.9	15.433	0.102%		1403.3
88	1567.5	15.489	0.052%		788.6
89	22509.6	15.597	0.751%		8150.4
90	5842.1	15.731	0.195%		2168.8
91	3865.3	15.778	0.129%		1544.9
92	17435.9	16.052	0.581%		5813.8
93	5643.2	16.183	0.188%	CpCLa	1761.7
94	12602.2	16.533	0.420%		4832.5
95	14850.5	16.647	0.495%		3133.4
96	9587.1	17.042	0.320%	CCLa	3228.6
97	6028.1	17.182	0.201%		1737
98	10854.7	17.58	0.362%		2959.4
99	8421.6	17.805	0.281%		1446.5
100	6538.7	18.146	0.218%	CLaLa	1975.3
101	3276.2	18.742	0.109%		1132.3
102	5099.3	19.361	0.170%	LaLaLa	1677.5
103	5716.4	19.7	0.191%		1710.2
104	3160.5	27.384	0.105%	MPP	785
	2998998				

Tabel B. 17 Sampel Axenic MT White dup (GG dup)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
19	11511.1	5.41	1.176%		5370.7
20	5986.2	5.462	0.611%		2073.2
21	2827.3	6.088	0.289%		1098.9
22	1445.7	6.231	0.148%		842.6
23	6492.1	6.609	0.663%		815.1
24	4953	6.716	0.506%		1140.4
25	2830.4	6.833	0.289%		766
26	12853.3	6.91	1.313%		6018.3
27	2039.3	6.968	0.208%		1030.4
28	3844.7	7.533	0.393%		1664.5
29	1893.3	7.611	0.193%		785.7
30	5731.6	7.669	0.585%		1603.6

31	2715.3	7.844	0.277%		727.6
32	2144.2	7.962	0.219%		688.3
33	8849.3	8.09	0.904%		3004.3
34	17261	8.294	1.763%		5769.5
35	10094.6	8.981	1.031%		2981.1
36	2821.5	9.222	0.288%		545.6
37	3186.2	9.385	0.325%		452.8
38	9921.5	9.566	1.013%		4450.9
39	8675.7	9.599	0.886%		4364.5
40	1466.8	9.67	0.150%		634.7
41	2089.1	9.722	0.213%		711.1
42	3685.3	9.832	0.376%		602.2
43	12693.2	10.196	1.297%		5522.4
44	3633.5	10.407	0.371%		556.9
45	2255.4	10.538	0.230%		585.4
46	2633.8	10.615	0.269%		906.6
47	1774.8	10.673	0.181%		662
48	39259	10.765	4.010%		12809
49	2488	10.897	0.254%		732.6
50	8826.1	10.967	0.902%		1127.7
51	6111	11.113	0.624%		1728.5
52	6741.1	11.177	0.689%		1652.7
53	2961.1	11.243	0.302%		1300.2
54	31982.4	11.32	3.267%		10533.4
55	5435	11.453	0.555%		1524.5
56	9525.2	11.504	0.973%		2630.5
57	12663.6	11.575	1.294%		4013.5
58	10206	11.652	1.043%		3012.9
59	8164.9	11.712	0.834%		2826.8
60	5240.3	11.756	0.535%		2295.4
61	48824.3	11.85	4.987%		14262.4
62	24768.3	12.028	2.530%		3485.2
63	17860.5	12.165	1.824%		3803.6
64	9737.8	12.227	0.995%		3400.7
65	6873.1	12.283	0.702%		2683.5
66	42548	12.363	4.346%		12853.1
67	21293.1	12.534	2.175%		4167.6
68	14278.3	12.589	1.458%		4444.5
69	14705	12.673	1.502%		3801.8
70	12383.6	12.727	1.265%		3674.9
71	49468.9	12.856	5.053%		13189
72	20617.3	13.016	2.106%		4103.3
73	7873.3	13.093	0.804%		2738.2
74	11322.1	13.152	1.157%		3297.4
75	11789.2	13.21	1.204%		3515.7
76	37419	13.335	3.822%		11128.2
77	27549.3	13.49	2.814%		3541.4
78	9242	13.623	0.944%		2780.2
79	9261.9	13.675	0.946%		2593.4
80	31472.2	13.797	3.215%		8092.9

81	17930.4	13.944	1.832%		3280.7
82	11183.1	14.085	1.142%		2151.7
83	6579.6	14.134	0.672%		2076.1
84	19537.4	14.245	1.996%		5638.9
85	4059.9	14.331	0.415%		1918.8
86	16509.4	14.39	1.686%		2927.7
87	5040.3	14.516	0.515%	CpCC	1676.6
88	5334.1	14.57	0.545%		1490.5
89	16277.9	14.678	1.663%		4089.8
90	10918.6	14.823	1.115%		2281.5
91	4702.2	14.93	0.480%		1411.4
92	3963.5	15.041	0.405%		773.9
93	6463	15.102	0.660%		2289.6
94	7628.3	15.244	0.779%	CpCpLa	1471.4
95	3908.7	15.536	0.399%		1473.2
96	2833.5	15.667	0.289%		811
97	4416.4	15.987	0.451%		1114.2
98	2887.8	16.118	0.295%	CpCLa	667.7
99	1160.8	16.464	0.119%		450.6
100	16816.6	16.572	1.718%		5200.9
101	2164	17.114	0.221%	CCLa	576.8
102	1273	17.652	0.130%		413.6
103	8349.4	27.627	0.853%	MPP	1332.4
104	38453.6	29.039	3.928%	PPP	6101
105	15795.1	30.595	1.613%	PLP/POP	1851.9
106	1499	31.608	0.153%		342.7
107	3397	36.616	0.347%		677.1
108	2709.3	37.032	0.277%		608.5
	978992				

Tabel B. 18 Sampel Axenic WT Red (H)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
	1436.2	5.179	0.023%		328.4
	2415.2	5.402	0.039%		1221.7
	4445.2	5.455	0.072%		1952.6
	2560.3	5.949	0.041%		386.5
	2276.6	6.223	0.037%		1115
	3224.2	6.294	0.052%		1190.1
	1214	6.612	0.020%		572.1
	2160.9	6.709	0.035%		688.2
	3056.6	6.903	0.049%		1424.9
	2911.4	6.953	0.047%		1425.4
	1083.7	7.019	0.018%		441.8
	2624.2	7.225	0.042%		730.9
	1988.6	7.303	0.032%		696.6
	5520.3	7.436	0.089%		2479.7
	1247.1	7.589	0.020%		421.9

	6965.5	7.657	0.113%		3006.5
	5281.9	7.783	0.085%		2088.9
	6379	7.823	0.103%		2188.9
	10133.7	7.949	0.164%		3435.4
	38373.3	8.086	0.621%		12696.5
	20049.9	8.329	0.324%		5223.8
	4547.7	8.499	0.074%		818.3
	3564.6	8.596	0.058%		990.1
	2048.8	8.667	0.033%		750.9
	3857.3	8.727	0.062%		1068.1
	4894.9	8.84	0.079%		1016.2
	25210.6	8.976	0.408%		8619.2
	25279.5	9.22	0.409%		4878.5
	9066.9	9.372	0.147%		3512.2
	4277.4	9.427	0.069%		1733.7
	4069.5	9.469	0.066%		1294.6
	31304.2	9.595	0.507%		12509.8
	3283.7	9.823	0.053%		1166.6
	2628.2	9.903	0.043%		659
	1143.1	9.969	0.018%		526.1
	2183.1	10.033	0.035%		1098.1
	46355.9	10.191	0.750%		19968.1
	8846.2	10.302	0.143%		1963.3
	11043.9	10.409	0.179%		3319.3
	12122.1	10.487	0.196%		3058.6
	14199.6	10.554	0.230%		3665.9
	11878.7	10.612	0.192%		3736.7
	13854.7	10.67	0.224%		4146.9
	330891.2	10.763	5.355%		139436
	24676.6	10.877	0.399%		5269.2
	39336.2	10.971	0.637%		7384.9
	46363.6	11.112	0.750%		8517.9
	62002.3	11.172	1.003%		9422.2
	156016.1	11.318	2.525%		50081.1
	34782.3	11.423	0.563%		9137.7
	52747.4	11.508	0.854%		13430.1
	48698.3	11.572	0.788%		14553
	69318	11.647	1.122%		16328.7
	72161.9	11.707	1.168%		14849.4
	237419.9	11.851	3.842%		63475.8
	114112.2	12.032	1.847%		17731.5
	129979.9	12.168	2.103%		21301.2
	62629.3	12.224	1.013%		19327.2
	37556.8	12.279	0.608%		15433.8
	232717.5	12.366	3.766%		61495.6

	120187.1	12.53	1.945%		23235.4
	148245.3	12.593	2.399%		48941.3
	78298.5	12.67	1.267%		23853.6
	90950.7	12.729	1.472%		22949.6
	40996.3	12.792	0.663%		16945.4
	221900.3	12.859	3.591%		61504.9
	141480.6	13.011	2.289%		23849
	55315.9	13.081	0.895%		18552.7
	80941.1	13.155	1.310%		21681.3
	78254.4	13.209	1.266%		20867
	239322.1	13.336	3.873%		53292.8
	135863	13.49	2.199%		22738.7
	33068.2	13.567	0.535%		17224.1
	76061	13.621	1.231%		19959.2
	71420.4	13.677	1.156%		20024.5
	203102.8	13.798	3.287%		42013.3
	142308.5	13.953	2.303%		20862.5
	85906	14.073	1.390%		17679.8
	67395.6	14.131	1.091%		16165.3
	134250.4	14.243	2.172%		31288.1
	44196	14.328	0.715%		15245.8
	119008.1	14.397	1.926%		21120.5
	68988.9	14.52	1.116%	CpCC	15597
	57686.6	14.568	0.934%		14746
	121004.8	14.678	1.958%		24034.7
	123612	14.819	2.000%		16515.6
	35981.8	14.937	0.582%		12565.7
	57778.9	14.985	0.935%		11594.9
	61862.3	15.101	1.001%		16491.4
	31163.3	15.164	0.504%		11024.1
	96516.4	15.236	1.562%	CpCpLa	13765.9
	35442.2	15.367	0.574%		9626.2
	36007.6	15.419	0.583%		8628
	61964.7	15.534	1.003%		11619.5
	85567.3	15.666	1.385%		9539.5
	19459.9	15.816	0.315%		6016
	13644	15.863	0.221%		5766.7
	54866.8	15.987	0.888%		6923.2
	58594.8	16.11	0.948%	CpCLa	7302
	22926.6	16.292	0.371%		4045.6
	12722.1	16.357	0.206%		3426.5
	19885.3	16.458	0.322%		4046.8
	72025.9	16.566	1.166%		12670.4
	12559	16.759	0.203%		2414.2
	6442.2	16.861	0.104%		1507.3

	8952.4	16.962	0.145%		1640.5
	3109.8	17.029	0.050%		1121.4
	20669.4	17.105	0.334%	CCLa	4383.6
	4334.3	17.309	0.070%		805.2
	2309.8	17.439	0.037%		667.5
	7058.2	17.645	0.114%		2384.4
	3546.3	17.739	0.057%		1040.8
	6605.4	18.194	0.107%	CLaLa	1280.5
	8643.4	18.406	0.140%		1270.1
	2587.9	18.471	0.042%		949.6
	1778.5	18.591	0.029%		605.3
	4313.9	18.808	0.070%		1278.5
	2297.8	18.946	0.037%		678.8
	3609.4	19.419	0.058%	LaLaLa	1013.4
	24465.7	19.589	0.396%		5961.1
	3573.5	19.699	0.058%		975.6
	7130.1	20.063	0.115%		1555.7
	3358.5	20.723	0.054%	CLaM	1020.5
	2612.7	21.193	0.042%		683.3
	42723.8	21.488	0.691%		9504.5
	1432.1	21.903	0.023%	LaLaM	472.7
	1022.3	22.097	0.017%		325.3
	4108.4	22.188	0.066%		790.9
	4132.7	23.091	0.067%		767.1
	1799.5	23.208	0.029%		573.1
	3552.6	23.34	0.057%	LaLaO/LaMP	643.1
	20511.6	27.596	0.332%	MPP	3408.2
	145035.3	29.02	2.347%	PPP	24427.8
	113484.3	30.574	1.836%	PLP/POP	12938.1
	23220.9	32.435	0.376%	PLO/POO	2569.9
	6179574				

Tabel B. 19 Sampel Axenic WT Red duplo (H dup)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
20	16610.3	5.408	1.776%		7700.4
21	3689.3	5.465	0.395%		1863.7
22	3621.1	6.085	0.387%		1685.8
23	2008.9	6.229	0.215%		756.9
24	3273.2	6.562	0.350%		453
25	2064.9	6.713	0.221%		707.1
26	25302.9	6.908	2.706%		9569.3
27	2082.8	7.015	0.223%		719.3
28	1092.9	7.085	0.117%		483.3
29	2571.2	7.531	0.275%		1089.5

30	1144.7	7.614	0.122%		558.1
31	3401.4	7.67	0.364%		1347.8
32	1969.8	7.785	0.211%		461.7
33	2337.1	7.842	0.250%		1027.4
34	15290.7	7.96	1.635%		5763.5
35	21713.4	8.093	2.322%		7920.6
36	27303.7	8.293	2.920%		9286.7
37	2185.1	8.415	0.234%		671.6
38	2275.1	8.502	0.243%		668.6
39	1814.5	8.825	0.194%		637.8
40	4767	8.982	0.510%		1740.5
41	7941.3	9.226	0.849%		2734.5
42	3816.3	9.379	0.408%		1225.8
43	3012.2	9.418	0.322%		987.4
44	21889.5	9.564	2.341%		7211.9
45	2661.8	10.059	0.285%		673.1
46	10313.4	10.194	1.103%		3177.3
47	1656.8	10.314	0.177%		453.8
48	1960.5	10.407	0.210%		320.9
49	2360.1	10.51	0.252%		650.8
50	3322.1	10.602	0.355%		823.1
51	33818.6	10.758	3.617%		10957.8
52	1358.3	10.825	0.145%		705.5
53	2420.3	10.98	0.259%		587.1
54	3768.5	11.107	0.403%		1012.1
55	7613.9	11.173	0.814%		1120.7
56	16581.1	11.32	1.773%		5116.2
57	8404.6	11.498	0.899%		1827.6
58	15052	11.576	1.610%		5549
59	9743.3	11.707	1.042%		1657.6
60	33389.5	11.845	3.571%		7116.1
61	9282.7	12.034	0.993%		1691.3
62	11876.5	12.17	1.270%		2002.5
63	5191.3	12.227	0.555%		1801
64	24838.7	12.358	2.656%		6242.2
65	17081.2	12.525	1.827%		3266
66	10351.1	12.59	1.107%		4072.6
67	7864	12.676	0.841%		2040.5
68	8005.5	12.733	0.856%		2597.3
69	26983.5	12.848	2.886%		7212.2
70	17286.1	12.998	1.849%		2989.1
71	11071.5	13.144	1.184%		1941
72	5672.1	13.209	0.607%		2070.9
73	21881.5	13.332	2.340%		6547.3
74	13162.9	13.488	1.408%		1900
75	4695.1	13.599	0.502%		1139.2
76	4715.9	13.677	0.504%		1524.5
77	18511.1	13.791	1.980%		4998.8
78	6948.5	13.945	0.743%		1562
79	10714.1	14.053	1.146%		1136.7

80	10001.5	14.243	1.070%		3161.9
81	8972.4	14.328	0.960%		3436.6
82	10196.1	14.416	1.090%		1654
83	5247.2	14.544	0.561%	CpCC	1053.8
84	9166.7	14.674	0.980%		3235.5
85	3530.8	14.813	0.378%		844.5
86	6389.5	14.871	0.683%		1258.1
87	3065.2	15.102	0.328%		1361.3
88	2750.8	15.227	0.294%		1069.5
89	2862.6	15.295	0.306%	CpCpLa	859.1
90	4314.4	15.526	0.461%		1624.6
91	1378.2	15.937	0.147%		654.1
92	2853.2	15.987	0.305%		947.5
93	2042.6	16.105	0.218%	CpCLa	451.4
94	1968.8	16.348	0.211%		474
95	2767.9	16.458	0.296%		898.6
96	32324.1	16.572	3.457%		10701.6
97	1022.6	17.112	0.109%	CCLa	470.4
98	1997.5	17.467	0.214%		436.8
99	2305.2	17.653	0.247%		562.4
100	1257.5	17.855	0.134%		308.7
101	2043.9	18.205	0.219%	CLaLa	330.3
102	3639.6	18.383	0.389%		679.5
103	2954.5	20.07	0.316%		495.2
104	3500.5	20.28	0.374%		518.8
105	3384.7	20.526	0.362%	CLaM	552.9
106	5581.1	20.689	0.597%		617.5
107	1334.3	20.884	0.143%		346
108	2479	23.374	0.265%		382.7
109	2293.7	23.661	0.245%	LaLaO/LaMP	299
110	18595.8	27.604	1.989%	MPP	3025.3
111	111342.6	29.037	11.908%	PPP	19148.4
112	80500.4	30.578	8.609%	PLP/POP	9895.5
113	7255.4	32.441	0.776%	PLO/POO	1038.8
	935057.7				

Tabel B. 20 Sampel Axenic MT Red (HH)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
39	2389.8	5.045	0.020%		1345.2
40	3276.9	5.227	0.027%		1370.9
41	2219.4	5.279	0.019%		1057.1
42	8490.2	5.457	0.071%		3535.4
43	8601.7	5.505	0.072%		3355.5
44	15859.6	5.601	0.132%		3782.8
45	5930.8	5.675	0.050%		2302.7
46	19801.4	5.775	0.165%		3824.6

47	19210	5.882	0.160%		3513.2
48	14400	5.986	0.120%		3307.7
49	9745.6	6.062	0.081%		3013.2
50	3622.7	6.123	0.030%		1789.5
51	19165.3	6.278	0.160%		5671.2
52	16639.1	6.345	0.139%		6729.3
53	9617.8	6.41	0.080%		3572.3
54	6709.5	6.455	0.056%		3392.8
55	24847.4	6.587	0.207%		4150.8
56	13530.8	6.661	0.113%		5036.2
57	27708.6	6.751	0.231%		5538
58	3811.6	6.837	0.032%		2838.5
59	21166.4	6.95	0.177%		5889.5
60	10357	7.002	0.086%		4232
61	14511.3	7.08	0.121%		3651.5
62	7343.5	7.141	0.061%		2793.7
63	11324.9	7.219	0.095%		2962.1
64	14616.7	7.306	0.122%		2772.2
65	18000.9	7.486	0.150%		5050.1
66	19754.8	7.654	0.165%		5022.2
67	14956.1	7.704	0.125%		5905.3
68	34160.5	7.836	0.285%		10732.4
69	53465.5	7.874	0.446%		12716.3
70	40625.3	8.003	0.339%		10524.6
71	185677.4	8.16	1.550%		47785.4
72	1113	8.293	0.009%		1259.3
73	27551.4	8.378	0.230%		7132.9
74	2420	8.489	0.020%		1146.3
75	5799	8.553	0.048%		2845.3
76	4691.5	8.634	0.039%		971.3
77	6669.8	8.779	0.056%		2220.2
78	8131.4	8.874	0.068%		2928.9
79	80657.5	9.028	0.673%		15872.3
80	20725.1	9.119	0.173%		5898.4
81	22868.7	9.189	0.191%		6292.9
82	77529.4	9.272	0.647%		15758.9
83	75168.4	9.432	0.628%		20964.2
84	26437.4	9.521	0.221%		7604
85	44334.5	9.647	0.370%		11820.2
86	2708.7	9.77	0.023%		1552.1
87	8214.5	9.869	0.069%		2798.9
88	3609.8	9.903	0.030%		1771.8
89	6014.1	10.025	0.050%		1768.9
90	4561.3	10.089	0.038%		2241.1
91	40487.3	10.246	0.338%		16160.8

92	20373.7	10.356	0.170%		4230.6
93	51008.2	10.538	0.426%		7588.9
94	17809.6	10.608	0.149%		5888.1
95	31066.9	10.721	0.259%		5763.6
96	385959	10.816	3.223%		112275.5
97	7066.4	11.02	0.059%		3240.9
98	13247.8	11.159	0.111%		2149
99	5767.7	11.232	0.048%		2110.5
100	184612.2	11.373	1.541%		40177.3
101	30050.5	11.476	0.251%		11540.6
102	64415.3	11.565	0.538%		15424.7
103	131973.7	11.63	1.102%		45888
104	86110.2	11.709	0.719%		20411.8
105	58891.6	11.761	0.492%		17558.1
106	268125	11.905	2.239%		52676.5
107	37977.3	12.022	0.317%		15540.8
108	164439.8	12.088	1.373%		23599.4
109	104155.7	12.221	0.870%		24434.8
110	66918.6	12.286	0.559%		22448.7
111	51554.1	12.333	0.430%		18928.1
112	208583.2	12.421	1.742%		55566.8
113	83739.2	12.49	0.699%		23910.9
114	136443	12.589	1.139%		31710.5
115	202874.3	12.65	1.694%		59951
116	88561.2	12.727	0.739%		29901.8
117	165196.8	12.797	1.379%		34376.9
118	300722	12.915	2.511%		60167.2
119	196284.6	13.061	1.639%		36015.6
120	101299.1	13.153	0.846%		27199.4
121	92789.1	13.217	0.775%		26089.9
122	117923.3	13.271	0.985%		29351.6
123	300142.6	13.397	2.506%		60468.2
124	234427.9	13.546	1.957%		32541
125	52863.8	13.632	0.441%		27537.8
126	96454.2	13.684	0.805%		30622.7
127	159899.2	13.742	1.335%		31880.2
128	265098.3	13.862	2.213%		55711.2
129	261765.8	14.011	2.186%		32541.7
130	155433.6	14.14	1.298%		30323.8
131	104867.7	14.197	0.876%		27028.5
132	228202.2	14.309	1.905%		49567
133	94973.8	14.393	0.793%		31470.5
134	219015	14.481	1.829%	CpCC	33570.8
135	108755.1	14.578	0.908%		29061.2
136	152934.2	14.633	1.277%		29595.3

137	255302.6	14.744	2.132%		47459.6
138	148010.5	14.877	1.236%		32635
139	89304.4	14.943	0.746%		28182.1
140	164825.5	15.009	1.376%		27925.4
141	50121.6	15.102	0.418%		22798.1
142	222760.6	15.169	1.860%		39172.2
143	176973.3	15.291	1.478%	CpCpLa	29237.7
144	67277.4	15.382	0.562%		24811.8
145	81779.7	15.438	0.683%		23774.1
146	56875.4	15.492	0.475%		20832.5
147	260735.1	15.603	2.177%		36383
148	209917.7	15.752	1.753%		25530.7
149	47749.7	15.881	0.399%		16969
150	39464.8	15.942	0.330%		16407
151	66071.2	16.007	0.552%		17410.5
152	133084.2	16.066	1.111%		26856
153	101780.6	16.188	0.850%	CpCLa	16797.5
154	96980.4	16.283	0.810%		14763.3
155	68748.1	16.387	0.574%		15450.3
156	140583.9	16.549	1.174%		25984.8
157	161716.1	16.654	1.350%		28095.7
158	42383.1	16.759	0.354%		11753.4
159	63461.3	16.829	0.530%		10335.5
160	22214.3	16.936	0.185%		8503.4
161	68823.5	17.053	0.575%		11782.5
162	27867.8	17.122	0.233%	CCLa	8244.3
163	48806.6	17.196	0.408%		10207.5
164	40127.3	17.328	0.335%		6767.6
165	62715.3	17.449	0.524%		5828.8
166	70480.8	17.605	0.588%		13736.8
167	21928.2	17.737	0.183%		6101.6
168	78319.1	17.823	0.654%		18799.4
169	10851.2	17.971	0.091%		3150
170	17425.4	18.154	0.145%	CLaLa	4300.1
171	4446.8	18.215	0.037%		3056.3
172	6395	18.257	0.053%		2605.3
173	7679.2	18.308	0.064%		2357.7
174	21153.1	18.44	0.177%		5700.1
175	12438.3	18.485	0.104%		4808.6
176	31896.1	18.572	0.266%		7857.2
177	14113.2	18.756	0.118%		3085.6
178	10117.7	18.935	0.084%		2818.5
179	15987	19.054	0.133%		2090.2
180	3148.2	19.263	0.026%	LaLaLa	1202.9
181	22655.6	19.435	0.189%		5746.7

182	11847.6	19.562	0.099%		2866.9
183	137578.4	19.723	1.149%		32156.9
184	51109.7	19.832	0.427%		11475.4
185	5525.6	19.932	0.046%		2377.5
186	2463.1	20.007	0.021%		1252.2
187	3858.4	20.04	0.032%		1782.1
188	6992.7	20.095	0.058%		1478.5
189	16046.6	20.195	0.134%		3309.3
190	9017.2	20.329	0.075%		1556.8
191	12470.3	20.655	0.104%	CLaM	1508.9
192	5327	20.866	0.044%		1802.1
193	33455.1	21.039	0.279%		4479.4
194	33564.4	21.191	0.280%		5692
195	23248.8	21.343	0.194%		3626.3
196	9652.2	21.505	0.081%		2294.7
197	9527.2	21.575	0.080%		3930.9
198	38189.6	21.64	0.319%		9233.7
199	6786.5	21.821	0.057%	LaLaM	1532.6
200	3158.2	22.103	0.026%		944.9
201	7158.6	22.205	0.060%		1640.5
202	2286.4	22.342	0.019%		1343.9
203	8449.4	22.546	0.071%		1885.6
204	24226	22.912	0.202%		3412.7
205	10982.6	23.109	0.092%		1773.3
206	25626.7	23.263	0.214%		3595.2
207	15000.6	23.434	0.125%		3284.5
208	11628.1	23.529	0.097%		2301.9
209	3827.9	23.696	0.032%	LaLaO/LaMP	973.1
210	3856.7	23.88	0.032%		1037.1
211	12568.7	23.961	0.105%		2254.7
212	6572	24.086	0.055%		2017
213	3001.8	24.179	0.025%		682.6
214	3881.3	24.242	0.032%		1319.3
215	5392.5	24.333	0.045%		2079.7
216	8186.1	24.927	0.068%		1548.9
217	4518.1	25.078	0.038%		1745.6
218	6121.3	25.158	0.051%		2300.6
219	7011.4	25.252	0.059%		1642.8
220	15508	25.369	0.129%		3031.1
221	22383.2	25.736	0.187%		3159.2
222	10826.9	25.863	0.090%	LaMO	2785.6
223	3902.6	25.961	0.033%		1218.8
224	23219.6	26.124	0.194%		2723.4
225	13670.8	26.335	0.114%		2088.9

226	4430.8	26.391	0.037%		1842.2
227	9565.1	26.452	0.080%		2808.2
228	8798.8	26.923	0.073%		1597.2
229	3174.1	27.005	0.027%		1692.4
230	9435.2	27.499	0.079%		2827.3
231	4399.3	27.693	0.037%	MPP	1970.7
232	26427.2	27.787	0.221%		4870.8
233	4316.4	27.894	0.036%		1867.7
234	2308.4	27.935	0.019%		1252.6
235	4015.4	28.015	0.034%		1462.9
236	8061.4	28.098	0.067%		2212.5
237	7108.9	28.465	0.059%		2888.1
238	20911.2	28.572	0.175%		3003.5
239	2476.2	28.682	0.021%		1188.6
240	3219.8	28.794	0.027%		1306.5
241	20678.4	28.887	0.173%		2797
242	17698.4	29.074	0.148%	PPP	3254.4
243	188185.1	29.234	1.571%		27156.7
244	4325.5	29.412	0.036%		1562.6
245	9485	29.837	0.079%		2263.2
246	5133.5	29.933	0.043%		1139.4
247	3385.8	30.008	0.028%		1316.4
248	5235	30.612	0.044%	PLP/POP	1322.3
249	83914.3	30.827	0.701%		12207.7
250	83507.5	30.943	0.697%		13285.5
251	1630.4	31.322	0.014%		1065.7
252	25049.9	31.565	0.209%		3023.5
253	4895.7	31.659	0.041%		1560.6
254	2486.6	31.794	0.021%		1088.3
255	1548.5	31.87	0.013%		854.6
256	3892.4	32.007	0.032%		1417.6
257	4457.6	32.177	0.037%		1780.6
258	9663.3	32.228	0.081%		2884.4
259	6704.4	32.317	0.056%		1545.3
260	8450.3	32.401	0.071%		1833.3
261	49766	32.803	0.416%	PLO/POO	4967.4
262	7463.3	32.896	0.062%		3370.4
263	38443.5	33.019	0.321%		4687
264	13728.5	33.564	0.115%		3465.5
265	7858.9	33.657	0.066%		1577.9
266	6047.1	33.739	0.050%		2531.8
267	2664.9	33.787	0.022%		1350.4
268	9200.1	34.003	0.077%		2786.1
269	15844.6	34.137	0.132%		2737.3
270	23760.4	34.249	0.198%		2980

271	4773.9	34.403	0.040%		1466.8
272	42369	34.564	0.354%		4351.5
273	4394.5	34.711	0.037%		1402.7
274	3616.8	34.984	0.030%		1457.7
275	4230.7	35.135	0.035%		2074.4
276	3301	35.813	0.028%		1460.9
277	4524.5	35.863	0.038%		1793
278	4188.7	35.905	0.035%		2204.7
279	4545.3	37.545	0.038%		2150.8
280	3973.9	37.689	0.033%		1471
281	6111	37.751	0.051%		2000.9
	11976909				

Tabel B. 21 Sampel Axenic MT Red duplo (HH dup)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
16	18556	5.403	3.166%		8758
17	5015.9	5.46	0.856%		2164.5
18	1563.3	5.904	0.267%		396.8
19	3674.7	6.081	0.627%		1827.7
20	3287.3	6.71	0.561%		860.9
21	22566.5	6.904	3.851%		9924.1
22	1318.9	7.234	0.225%		400.3
23	1104.3	7.526	0.188%		568.1
24	3014	7.663	0.514%		1372.6
25	1234	7.779	0.211%		646.7
26	2646.7	7.838	0.452%		994.3
27	17016.7	7.956	2.904%		5968.1
28	32964	8.093	5.625%		12540.9
29	28680.2	8.288	4.894%		9890.8
30	2391.2	8.401	0.408%		707.4
31	2281.4	8.503	0.389%		577.7
32	1760.4	8.821	0.300%		598.5
33	4975.9	8.98	0.849%		1452.4
34	10404	9.222	1.775%		2863.8
35	8434.5	9.374	1.439%		2180.3
36	20628.1	9.559	3.520%		7558.6
37	1618.5	9.901	0.276%		333.4
38	5357	10.189	0.914%		1671.4
39	30006.1	10.75	5.120%		9831.7
40	6636.9	11.314	1.133%		2298.4
41	1041.1	11.485	0.178%		377.4
42	23589.9	11.569	4.026%		10980.8
43	17532	11.821	2.992%		5372.4

44	10074.3	12.353	1.719%		3218.4
45	2584.9	12.414	0.441%		894.4
46	1469.9	12.47	0.251%		710.6
47	3530.3	12.526	0.602%		1521.3
48	8496.1	12.584	1.450%		3011.9
49	11545	12.729	1.970%		2023.4
50	20126.2	12.835	3.434%		6021.2
51	8315	12.99	1.419%		1877.9
52	5981.8	13.088	1.021%		1511
53	3757.2	13.207	0.641%		1431.1
54	12240.9	13.326	2.089%		4609.4
55	1394	13.481	0.238%		512.4
56	10574.8	13.78	1.805%		3599.4
57	3723.5	14.238	0.635%		1502.8
58	2800.2	14.325	0.478%	CpCC	1487
59	5871	14.664	1.002%		2204.1
60	3280	14.864	0.560%		766.9
61	1795	15.093	0.306%		721.1
62	2743.8	15.291	0.468%	CpCpLa	528
63	2819.9	15.518	0.481%		1089.4
64	1393.2	15.979	0.238%	CpCLa	491.9
65	1342.5	16.446	0.229%		483.6
66	32177.2	16.565	5.491%	CCLa	10941.1
67	2137.2	17.782	0.365%		443
68	1655.6	17.897	0.283%	CLaLa	470.9
69	1969.2	18.807	0.336%	LaLaLa	509
70	2649.1	21.456	0.452%	LaLaM	598.6
71	3549.1	26.789	0.606%		527.1
72	14592.8	27.614	2.490%	MPP	2285.1
73	4367	28.314	0.745%		701.5
74	76563.3	29.027	13.065%	PPP	12445.8
75	24896.7	30.565	4.249%		3655.8
76	16295.2	30.659	2.781%	PLO/POO	2761.3
	586011.4				

Tabel B. 22 Sampel Axenic WT BG (I)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
35	7003.9	5.148	0.136%		872.2
36	2260.5	5.278	0.044%		1294.4
37	3751.4	5.358	0.073%		994.9
38	2351.9	5.448	0.046%		1361.7
39	3188.6	5.506	0.062%		1833.4
40	7042.7	5.78	0.137%		1949.6

41	2633	5.88	0.051%		1097.5
42	4132.7	6.265	0.080%		1582.9
43	5576.3	6.341	0.108%		1966.4
44	11954.4	6.523	0.232%		2426.7
45	12354.4	6.779	0.240%		2011.2
46	5686.1	6.963	0.110%		1634.1
47	6484.4	7.004	0.126%		2966.1
48	7656.8	7.071	0.149%		2028.9
49	8391.2	7.487	0.163%		4192.2
50	3391.3	7.569	0.066%		1361
51	3262.3	7.631	0.063%		1004
52	13701.6	7.708	0.266%		5356.2
53	4487.8	7.834	0.087%		1481.5
54	2159.2	7.878	0.042%		1194.9
55	5574.4	8	0.108%		2282.7
56	24254.9	8.132	0.471%		9897.5
57	9998.7	8.379	0.194%		5186.1
58	3749.1	8.544	0.073%		1082.1
59	2584.2	8.9	0.050%		679.4
60	20686.3	9.027	0.401%		10057.2
61	2948.4	9.111	0.057%		1414.7
62	11262.9	9.269	0.219%		2924.6
63	4664.7	9.417	0.090%		1653.1
64	2246.6	9.472	0.044%		1067.6
65	40081.7	9.648	0.778%		15132.3
66	12521.4	9.875	0.243%		2180.4
67	61574	10.245	1.195%		23112.5
68	7652.7	10.356	0.148%		3178.5
69	25124.8	10.463	0.487%		3355.9
70	19814.5	10.606	0.384%		5183.6
71	12872	10.669	0.250%		4242.9
72	10454.1	10.72	0.203%		3816.2
73	261595.6	10.815	5.075%		107723.7
74	23462.5	10.93	0.455%		5813.3
75	57557.9	11.024	1.117%		8250.7
76	38869.7	11.167	0.754%		9487.7
77	34188.9	11.221	0.663%		9398.8
78	181056.7	11.372	3.513%		47490.5
79	37608.7	11.471	0.730%		9382.5
80	52797.5	11.558	1.024%		14728.8
81	74421	11.625	1.444%		24233
82	64890.5	11.699	1.259%		16485.2
83	40315.2	11.757	0.782%		14644
84	29138.7	11.807	0.565%		12261.6
85	209152.9	11.905	4.058%		56671

86	122889.9	12.086	2.384%		18461.9
87	25914.7	12.153	0.503%		13476.4
88	83410.8	12.219	1.618%		20155.9
89	56601.4	12.281	1.098%		17742.2
90	34897.8	12.335	0.677%		14392.9
91	217115	12.418	4.212%		55985.8
92	113614.7	12.584	2.204%		23186.3
93	108572.4	12.646	2.106%		33950.1
94	79849.8	12.726	1.549%		21189.1
95	72872.9	12.783	1.414%		20744.7
96	31322.7	12.848	0.608%		14221.3
97	207526.8	12.912	4.026%		58268.2
98	124661.5	13.068	2.419%		19657.2
99	49485.3	13.142	0.960%		16803.2
100	69803.7	13.207	1.354%		17993.5
101	66620.6	13.265	1.292%		19765.4
102	212095.7	13.391	4.115%		51260.5
103	119347.3	13.541	2.315%		20126.8
104	82472	13.679	1.600%		15974.9
105	63208.2	13.726	1.226%		15379
106	161682.7	13.855	3.137%		41992.1
107	118793.4	14	2.305%		17576.6
108	59837.1	14.13	1.161%		13403.2
109	46057.1	14.187	0.894%		11136.4
110	111342.1	14.3	2.160%		31944.5
111	37839.1	14.385	0.734%		12911
112	84696.1	14.449	1.643%	CpCC	13770
113	32718	14.57	0.635%		10015.2
114	40436.4	14.628	0.784%		9174.1
115	91124.2	14.736	1.768%		24381.8
116	45502.1	14.881	0.883%		10579.7
117	21339.4	14.934	0.414%		8508.8
118	26919.9	14.995	0.522%		8591
119	29106.3	15.046	0.565%		7163.1
120	52753.4	15.16	1.023%		16703.3
121	10957.3	15.233	0.213%		4930.5
122	48534.4	15.29	0.942%	CpCpLa	7915.3
123	9498.5	15.433	0.184%		3056.3
124	9659.4	15.485	0.187%		2811.5
125	27421.8	15.596	0.532%		10743.9
126	24376.5	15.743	0.473%		3713.9
127	15665.9	16.053	0.304%		6517.2
128	10697.6	16.184	0.208%	CpCLa	2599.3
129	14131.4	16.533	0.274%		4872.4
130	14579.5	16.662	0.283%		3340.9

131	3991.8	16.768	0.077%		1487.4
132	10432.4	17.042	0.202%	CCLa	3273.8
133	5356.7	17.179	0.104%		2138.8
134	9142.3	17.578	0.177%		3134.3
135	8415	17.731	0.163%		2329
136	5482.9	17.809	0.106%		2058.4
137	12161.6	18.147	0.236%	CLaLa	2379
138	5583.3	18.303	0.108%		1413.4
139	6834.4	18.431	0.133%		1383.3
140	3515.2	18.736	0.068%		1121.8
141	1014.5	19.367	0.020%	LaLaLa	588.8
142	11110.1	19.696	0.216%		2923.6
143	3889.2	19.834	0.075%		1131.3
144	7595.7	20.034	0.147%		1613.5
145	10135.5	20.59	0.197%	CLaM	1839.3
146	8220.7	20.677	0.159%		2655.3
147	10664.3	20.791	0.207%		1428.6
148	2632.4	21.393	0.051%		594.1
149	8483.3	21.491	0.165%		1410.3
150	7744.6	21.59	0.150%		2772.1
151	7875	21.721	0.153%	LaLaM	1502.1
152	2547.5	22.625	0.049%		1027.7
153	7232.8	22.988	0.140%		1500.4
154	11521.1	23.148	0.224%		1904.8
155	1660.4	23.208	0.032%		1050.1
156	3057	23.261	0.059%		1535.4
157	7182.9	23.349	0.139%		1803.2
158	5955.6	23.537	0.116%	LaLaO/LaMP	1550.4
159	12798.3	24.215	0.248%		1897.3
160	7292.2	24.409	0.141%		2089.6
161	13980	24.554	0.271%		1900.9
162	6554.9	24.68	0.127%		1742.1
163	7062.3	24.821	0.137%		1567
164	3896.8	25.848	0.076%	LaMO	1118.6
165	6184	26.843	0.120%		2098.2
166	13483.4	26.969	0.262%		1972.4
167	10874.7	27.161	0.211%		1604
168	5506.2	27.336	0.107%		1777.3
169	1983.1	27.571	0.038%	MPP	711.4
170	3294.4	28.271	0.064%		1194.6
171	5047.6	28.332	0.098%		1485.3
172	2596.9	28.411	0.050%		804.9
173	1144.5	28.703	0.022%		838.5
174	89095.7	29.193	1.729%	PPP	14291.5

175	3674.8	29.345	0.071%		775.7
176	2065.1	29.731	0.040%		1081.7
177	5785.3	29.842	0.112%		1615.8
178	60086.7	30.791	1.166%	PLP/POP	6354
179	2253.2	31.426	0.044%		918.2
180	8772.8	31.623	0.170%		1391.7
181	4039	31.969	0.078%		1696.7
182	2090.7	32.611	0.041%		581.1
183	3216.6	32.667	0.062%	PLO/POO	1270.9
184	13134.8	33.482	0.255%		2204.3
185	9223.1	33.668	0.179%		1863.5
186	7233.6	33.787	0.140%		1503.3
187	3969.9	33.878	0.077%		1633.4
188	3384.2	34.773	0.066%		1161.4
189	1908.7	35.668	0.037%		834.3
190	4627.4	35.818	0.090%		1352.9
191	1299.5	36.21	0.025%		788
192	2276.4	36.275	0.044%		591.2
193	2273.7	36.58	0.044%		953.3
194	12692.5	36.927	0.246%		2077.9
195	4066.5	37.066	0.079%		1300.7
196	1194.6	37.147	0.023%		676.8
197	2501.9	37.194	0.049%		750.4
198	5117.1	37.269	0.099%		1579.5
199	18823.5	37.486	0.365%		1956.6
	5154489				

Tabel B. 23 Sampel Axenic WT BG dup (I dup)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
7	5739.9	5.407	0.573%		2768.3
8	3435.2	5.455	0.343%		1468.2
9	7731.8	6.693	0.772%		3382.5
10	6308.6	6.906	0.630%		2847.2
11	2772.1	7.665	0.277%		1291.7
12	1503.2	7.837	0.150%		775.2
13	66001.7	7.973	6.589%		25014.1
14	91878.6	8.114	9.173%		36748
15	7025.8	8.288	0.701%		2804.2
16	2856.3	8.331	0.285%		1614.1
17	3919.2	8.98	0.391%		1795.7
18	51864.8	9.234	5.178%		17489.5
19	11232	9.378	1.121%		3545.1
20	4724.3	9.558	0.472%		1921
21	4655.7	9.593	0.465%		2151

22	1365.8	9.906	0.136%		529
23	9557.5	10.196	0.954%		3293
24	10026.6	10.24	1.001%		2950.6
25	54751.7	10.755	5.466%		24717.9
26	1671.9	11.179	0.167%		594.2
27	8296.7	11.313	0.828%		3151.4
28	4128.4	11.488	0.412%		1724.2
29	10865.4	11.57	1.085%		5205.8
30	11506.9	11.842	1.149%		3626.1
31	3874.9	12.022	0.387%		810.2
32	2738.6	12.162	0.273%		840
33	2801.7	12.218	0.280%		1098.1
34	16745.8	12.346	1.672%		4543.9
35	15176.3	12.522	1.515%		5786.9
36	15775.5	12.586	1.575%		6559.2
37	9008.8	12.725	0.899%		1332.8
38	16603.4	12.852	1.658%		3990.6
39	11947.6	12.994	1.193%		3418.6
40	3945.4	13.081	0.394%		1137.4
41	4016.8	13.137	0.401%		1241.8
42	5719.8	13.203	0.571%		2273.5
43	11136	13.328	1.112%		3503
44	4602.7	13.479	0.460%		1183.8
45	1790	13.553	0.179%		495.1
46	1053.1	13.599	0.105%		503.9
47	2047.4	13.639	0.204%		597.4
48	9377.4	13.794	0.936%		2329.3
49	5611.4	13.974	0.560%		1042.7
50	4648.5	14.037	0.464%		1233.8
51	1683.6	14.122	0.168%		652.1
52	4089.1	14.235	0.408%		1524.6
53	9912.9	14.326	0.990%		4186.1
54	6751.9	14.407	0.674%	CpCC	1618.1
55	2644.9	14.67	0.264%		1240.6
56	7055.7	14.868	0.704%		1225.4
57	1016.1	15.032	0.101%		471.8
58	1890.5	15.096	0.189%		794.8
59	3646.9	15.22	0.364%		1325.3
60	4083.8	15.283	0.408%	CpCpLa	1240.2
61	1587.7	15.515	0.159%		577.2
62	1706.2	16.096	0.170%	CpCLa	643.8
63	2348.6	16.2	0.234%		1046.1
64	1381.4	16.259	0.138%		809.3
65	1570.8	16.436	0.157%		505
66	7339.3	16.565	0.733%		2306.5

67	3026.3	17.166	0.302%	CCLa	438.2
68	1064.2	17.447	0.106%		444.6
69	5427.8	18.386	0.542%	CLaLa	925.5
70	2075.4	19.571	0.207%	LaLaLa	456.4
71	35463.2	27.614	3.541%	MPP	5496.3
72	4751.7	28.297	0.474%		814.9
73	187222.6	29.038	18.692%	PPP	30258
74	137601.7	30.591	13.738%	PLP/POP	16860.7
75	33854.2	32.444	3.380%	PLO/POO	3437
	1001638				

Tabel B. 24 Sampel Axenic MT BG (II)

Peak#	Area	Ret.Time	%Area	Compound Name	Height
52	2005.5	5.05	0.015%		1296.2
53	5934.9	5.104	0.044%		2260.3
54	2292.7	5.219	0.017%		1212.4
55	3113.4	5.277	0.023%		1535.3
56	4258.8	5.358	0.032%		1019.7
57	10748.4	5.447	0.080%		4499.7
58	16894.4	5.509	0.126%		5234
59	6185.7	5.615	0.046%		1978.8
60	6111.9	5.668	0.046%		2814.6
61	5978.1	5.778	0.045%		1545.5
62	19803.4	5.892	0.148%		2515.9
63	13918.8	6.112	0.104%		3330.8
64	9030.5	6.178	0.067%		3082.9
65	20155.3	6.271	0.150%		6534.2
66	25084.6	6.342	0.187%		7862.3
67	7656.6	6.399	0.057%		2633.7
68	10496.2	6.453	0.078%		3144.7
69	3507.1	6.515	0.026%		1893.8
70	7533.8	6.571	0.056%		1524.3
71	10482.8	6.662	0.078%		3285.5
72	11768.5	6.761	0.088%		3048.4
73	3687	6.833	0.027%		1493.6
74	7342.2	6.952	0.055%		2848.7
75	9885.8	7.002	0.074%		4678.5
76	6608.5	7.075	0.049%		1798.3
77	4494.7	7.19	0.034%		1419.4
78	5437.5	7.34	0.041%		2227.1
79	10137.4	7.467	0.076%		2085.1
80	2461.7	7.556	0.018%		844.4
81	9113.5	7.64	0.068%		2918.5
82	17433.9	7.706	0.130%		7745.5

83	48694.1	7.872	0.363%		8878.8
84	11437.1	8	0.085%		3763.8
85	70534.7	8.142	0.526%		22942.6
86	29395.7	8.381	0.219%		11476.4
87	1522.4	8.551	0.011%		794
88	3950.1	8.629	0.029%		916.3
89	4702.2	8.774	0.035%		1890.2
90	45601	9.029	0.340%		21715.4
91	5889.3	9.194	0.044%		1937.7
92	33812.6	9.268	0.252%		7995.4
93	18774.5	9.425	0.140%		8058.7
94	11869.2	9.479	0.088%		4517
95	5905	9.53	0.044%		2788.9
96	69079.2	9.65	0.515%		31311.9
97	17014.2	9.878	0.127%		3860.5
98	21424.4	10.026	0.160%		4603.7
99	25775	10.083	0.192%		6458.9
100	143700	10.248	1.071%		51054.8
101	43000	10.344	0.321%		8681.7
102	72547.3	10.476	0.541%		12322
103	82304.4	10.604	0.614%		13331.1
104	40143.6	10.672	0.299%		13266
105	38277.6	10.722	0.285%		12395.2
106	416975.6	10.821	3.109%		154061.6
107	72678.5	10.939	0.542%		13483.5
108	65374.6	11.026	0.487%		19463.3
109	48549.1	11.065	0.362%		18866.1
110	112757.1	11.167	0.841%		22092.7
111	93079.9	11.23	0.694%		22888.8
112	451213.2	11.38	3.364%		108905.3
113	61999.3	11.499	0.462%		22682.9
114	128727.7	11.567	0.960%		35785
115	138012.7	11.628	1.029%		38881.5
116	172749	11.706	1.288%		40224.7
117	182515.1	11.769	1.361%		37518.2
118	531997	11.915	3.966%		140091.1
119	92868.8	12.027	0.692%		31059.3
120	318632.7	12.091	2.376%		44500.1
121	207233.8	12.224	1.545%		50763.7
122	138777.3	12.287	1.035%		46237.5
123	100693.7	12.339	0.751%		38103.9
124	554597.4	12.429	4.135%		135088.7
125	266235.3	12.597	1.985%		53608.6
126	228570.3	12.653	1.704%		66331.5
127	204009.3	12.732	1.521%		52779.8

128	185507.3	12.786	1.383%		52162.4
129	94641.8	12.858	0.706%		39071.4
130	526891.2	12.924	3.928%		134499.2
131	318834	13.074	2.377%		57828.6
132	123556.5	13.137	0.921%		41886.2
133	178046.6	13.216	1.327%		47291.8
134	172179.4	13.273	1.284%		45901.4
135	539923.9	13.402	4.025%		125990.9
136	308306.8	13.556	2.299%		51892
137	82352.7	13.632	0.614%		37620.2
138	166936.6	13.684	1.245%		44307.5
139	168071.9	13.742	1.253%		42974.7
140	434667.4	13.865	3.241%		112366.4
141	320665	14.014	2.391%		47200.7
142	192593	14.134	1.436%		39287.4
143	112655.1	14.197	0.840%		32037.6
144	352402.8	14.313	2.627%		88142.9
145	67404.8	14.393	0.503%		27392
146	271729.6	14.46	2.026%	CpCC	43377.3
147	117024.7	14.581	0.872%		31776.8
148	120777.1	14.631	0.900%		30109.8
149	320732.7	14.745	2.391%		71672
150	227833	14.893	1.699%		34351.7
151	86737.3	15.004	0.647%		26197.6
152	95526.6	15.05	0.712%		23207
153	236285	15.168	1.762%		54810.8
154	195433	15.3	1.457%	CpCpLa	27924.2
155	126821	15.441	0.945%		17762.5
156	181990.2	15.606	1.357%		40910.5
157	121245.4	15.741	0.904%		17353.7
158	31392	15.878	0.234%		9394
159	28507.9	15.942	0.213%		7828
160	110748.4	16.063	0.826%	CpCLa	25636.9
161	55486.3	16.206	0.414%		10879
162	15764.9	16.292	0.118%		5565.1
163	26803.9	16.354	0.200%		5188.1
164	54704.4	16.543	0.408%		18108.5
165	40154.7	16.657	0.299%		9141
166	4265.7	16.92	0.032%		1484.7
167	32305	17.055	0.241%	CCLa	9932.8
168	27299.7	17.199	0.204%		6598.2
169	17746.3	17.341	0.132%		2838
170	7461.2	17.473	0.056%		1642.6
171	4725.8	17.515	0.035%		1716.6
172	38486.3	17.589	0.287%		11096.1

173	21588.6	17.74	0.161%		6154.7
174	34876.2	17.816	0.260%		9113.7
175	5700.6	17.93	0.043%		1995.5
176	2270.9	18.075	0.017%		626.9
177	18260.3	18.155	0.136%	CLaLa	6053
178	8392.2	18.31	0.063%		2903.2
179	13670.8	18.453	0.102%		2561.1
180	12933	18.56	0.096%		3382.6
181	18206.4	18.743	0.136%		4413.6
182	11265.6	18.901	0.084%		2755.6
183	2011.4	19.043	0.015%		1050.3
184	8965	19.369	0.067%	LaLaLa	3149.8
185	7074.5	19.428	0.053%		2416.3
186	14148.9	19.552	0.105%		2988.4
187	66306	19.709	0.494%		13408.7
188	28620.2	19.819	0.213%		5497.6
189	6508.9	19.927	0.049%		2072
190	24239.1	20.019	0.181%		4769.4
191	18766.8	20.177	0.140%		3624.5
192	2775	20.277	0.021%		1138.6
193	12340.9	20.849	0.092%	CLaM	2819.9
194	2267.5	20.907	0.017%		1468.9
195	15946.3	20.977	0.119%		1748.2
196	13520.3	21.185	0.101%		2622.9
197	10282.1	21.323	0.077%		1943
198	10165.9	21.384	0.076%		2660.7
199	29322.7	21.609	0.219%		4450.1
200	3493.8	21.813	0.026%	LaLaM	1056
201	3998.8	22.181	0.030%		1544.6
202	11727.9	22.391	0.087%		2190.2
203	3785.2	22.485	0.028%		1085.9
204	8065.4	23.621	0.060%	LaLaO/LaMP	1172.9
205	8755.5	23.851	0.065%		2165.1
206	5562.7	23.913	0.041%		1880
207	5411.8	24.029	0.040%		1471.5
208	4693.6	24.088	0.035%		1990.4
209	7306.1	25.723	0.054%	LaMO	1746.9
210	1263.9	26.834	0.009%		493.9
211	4294.4	27.585	0.032%		1385.2
212	2519	27.757	0.019%	MPP	1170
213	6943.4	29.018	0.052%	PPP	1336.9
214	29202.5	29.192	0.218%		4544.4
215	2396.1	29.891	0.018%		1036.4
216	1028.2	29.993	0.008%		522

217	3304.7	30.577	0.025%		461.3
218	41967.1	30.804	0.313%	PLP/POP	4661.2
219	14642.6	30.927	0.109%		2681.3
220	3824.6	31.048	0.029%		1050.1
221	5106.7	31.106	0.038%		1885.1
222	3180	31.662	0.024%		983.7
223	4869.8	31.734	0.036%		931.7
224	2766.1	31.908	0.021%		1248.5
225	8994.9	32.059	0.067%		1340.4
226	3472.5	32.342	0.026%		828.2
227	1785.2	32.574	0.013%		881.6
228	16499.9	32.712	0.123%	PLO/POO	1806.8
229	8943.8	33.161	0.067%		1334.5
230	2804.8	33.4	0.021%		756.8
231	2295.7	33.491	0.017%		1085.3
232	4242.9	33.882	0.032%		1231
233	2551.3	33.993	0.019%		944.9
234	2241.5	34.072	0.017%		1040
235	4326.5	34.191	0.032%		1059.5
236	6231.4	34.439	0.046%		1535.7
237	6453.8	34.885	0.048%		1908.6
238	7749.8	35.313	0.058%		2192.1
239	4309.3	35.39	0.032%		1561.6
240	6894.9	35.514	0.051%		1772.1
241	1932.4	35.733	0.014%		962.2
242	3303	36.03	0.025%		1279.3
243	2852.8	36.513	0.021%		1130.8
244	2544.6	36.812	0.019%		907.4
245	3085.9	36.933	0.023%		781.9
246	4344	37.005	0.032%		1806.8
247	5187.9	37.057	0.039%		1851.3
248	6118.5	37.151	0.046%		1507.5
249	2348.9	37.288	0.018%		1041.8
250	6022.8	37.368	0.045%		1464.1
251	1753.1	37.465	0.013%		746.8
252	9546	37.608	0.071%		2010.5
253	6953.5	37.843	0.052%		1133.6
	13413117.1		100.000%		

Tabel B. 25 Sampel Axenic MT BG (II dup)

Peak#	Area	Ret.Time	% Area	Compound Name	Height
7	6495.1	5.405	1.416%		3159.3
8	3062.2	5.456	0.667%		1405.7

9	3840.7	6.691	0.837%		1244.5
10	5924.3	6.903	1.291%		2922.1
11	2432.7	7.662	0.530%		1058
12	1156.6	7.78	0.252%		353.3
13	1954.6	7.836	0.426%		962.6
14	20104.3	7.955	4.382%		7659.6
15	40729	8.094	8.878%		16382.2
16	9304.1	8.286	2.028%		2725.7
17	1053.1	8.497	0.230%		533.2
18	3268.8	8.977	0.713%		1471.2
19	15390.3	9.223	3.355%		4808.1
20	7617.6	9.373	1.660%		1982.4
21	4170.6	9.557	0.909%		1858.7
22	2243.2	9.595	0.489%		1218.5
23	1691.1	10.024	0.369%		452
24	2767	10.188	0.603%		1250.3
25	34805.2	10.752	7.587%		15127.9
26	2532.4	11.163	0.552%		387.1
27	6096.2	11.312	1.329%		1894.9
28	4665.1	11.485	1.017%		928
29	8025	11.567	1.749%		3297.3
30	1387.1	11.634	0.302%		651.8
31	3286.5	11.695	0.716%		712.4
32	9568.5	11.838	2.086%		2302.9
33	1741.8	12.02	0.380%		565.4
34	7782.6	12.347	1.696%		2041.4
35	3452.1	12.518	0.752%		1473.8
36	7984.5	12.585	1.740%		3745.1
37	1122.7	12.672	0.245%		524
38	2120.3	12.738	0.462%		787.9
39	6820	12.842	1.487%		2110.7
40	3505.1	12.993	0.764%		1424.5
41	2494.7	13.203	0.544%		1083.8
42	6638	13.323	1.447%		2198.5
43	1530.7	13.475	0.334%		555
44	5540.4	13.785	1.208%		1514
45	4400.2	13.884	0.959%		600
46	3365.8	14.037	0.734%		850
47	1168.3	14.126	0.255%		494.8
48	4351.7	14.236	0.949%		1269.1
49	12535.5	14.322	2.732%		4758.5
50	2749.5	14.425	0.599%	CpCC	845.6
51	3229.5	14.665	0.704%		1160.5
52	3294.2	14.892	0.718%		731.2
53	2442.4	15.22	0.532%		795.1

54	1428.2	15.288	0.311%	CpCpLa	473.1
55	1534.1	15.514	0.334%		538.6
56	6059.3	16.56	1.321%	CpCLa	2105.9
57	1633.3	17.093	0.356%	CCLa	595.1
58	1207.8	18.056	0.263%	CLaLa	330.1
59	1885.2	18.779	0.411%		384
60	1698.4	19.302	0.370%	LaLaLa	305.5
61	14037	27.603	3.060%	MPP	2405.6
62	75468.6	29.013	16.450%	PPP	11533.3
63	48503	30.563	10.573%	PLP/POP	5466.6
64	11391.4	32.409	2.483%	PLO/POO	1383.2
65	2075.5	37.459	0.452%		310.8
	458763.1				

Tabel B 26. Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total *Nannochloropsis oculata* dalam sistem ko-kultur pada berbagai spektrum cahaya. Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.

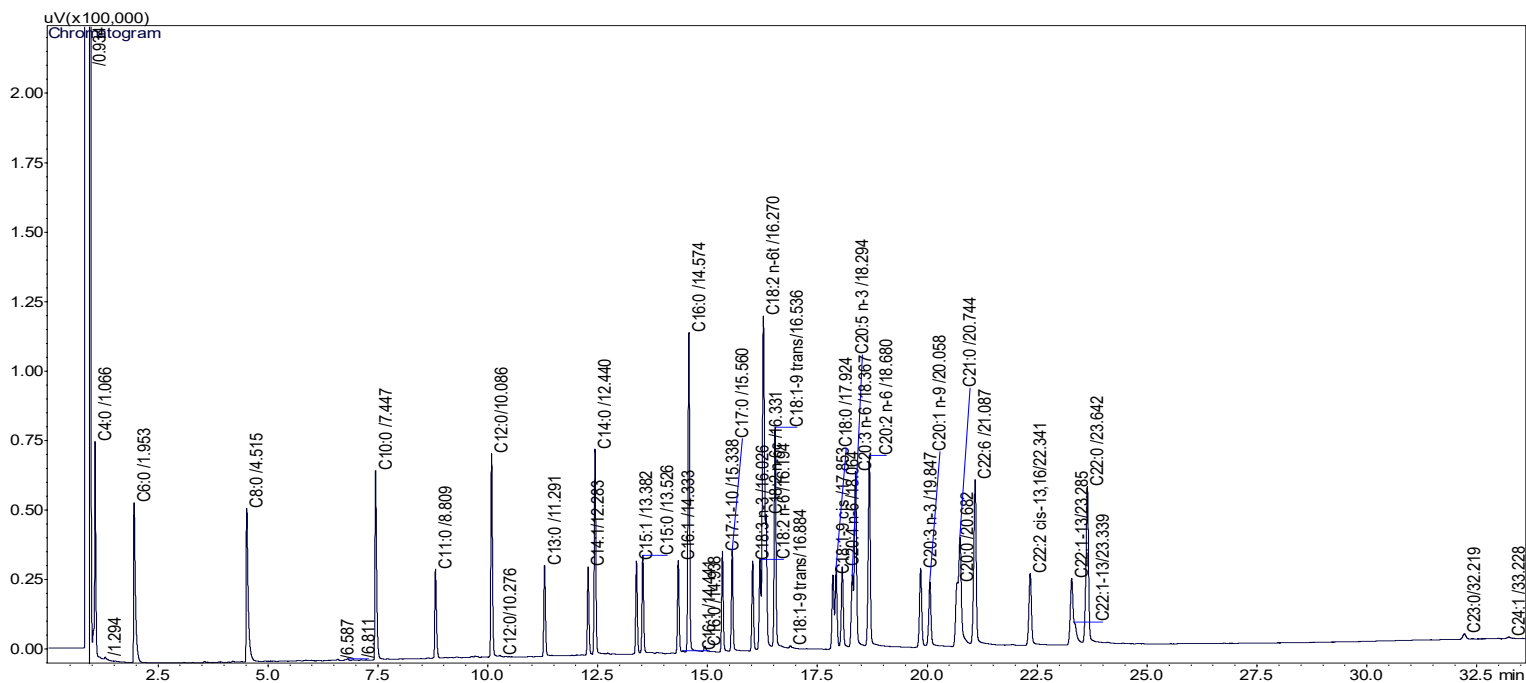
TAG Profile	WT white coculture	MT white coculture	WT red coculture	MT red coculture	WT blue-green coculture	MT blue-green coculture
CpCC	0.84% $\pm$ 0.01	0.50% $\pm$ 0.00	1.41% $\pm$ 0.01	1.68% $\pm$ 0.01	0.99% $\pm$ 0.01	1.94% $\pm$ 0.00
CpCpLa	0.95% $\pm$ 0.01	0.38% $\pm$ 0.00	0.53% $\pm$ 0.00	1.19% $\pm$ 0.00	0.36% $\pm$ 0.00	0.74% $\pm$ 0.00
CpCLa	0.39% $\pm$ 0.00	0.39% $\pm$ 0.00	0.77% $\pm$ 0.01	0.75% $\pm$ 0.01	0.05% $\pm$ 0.00	0.50% $\pm$ 0.00
CCLa	0.18% $\pm$ 0.00	0.38% $\pm$ 0.00	0.23% $\pm$ 0.00	0.78% $\pm$ 0.01	1.62% $\pm$ 0.02	0.43% $\pm$ 0.00
CLaLa	0.25% $\pm$ 0.00	0.09% $\pm$ 0.00	0.30% $\pm$ 0.00	0.82% $\pm$ 0.01	0.32% $\pm$ 0.00	0.26% $\pm$ 0.00
LaLaLa	0.46% $\pm$ 0.01	0.36% $\pm$ 0.00	0.54% $\pm$ 0.00	0.86% $\pm$ 0.01	0.43% $\pm$ 0.01	0.12% $\pm$ 0.00
CLaM	0.60% $\pm$ 0.01	0.04% $\pm$ 0.00	0.30% $\pm$ 0.00	0.92% $\pm$ 0.01	0.28% $\pm$ 0.00	0.02% $\pm$ 0.00
LaLaM	0.02% $\pm$ 0.00	0.05% $\pm$ 0.00	0.18% $\pm$ 0.00	0.01% $\pm$ 0.00	0.16% $\pm$ 0.00	0.03% $\pm$ 0.00
LaLaO / LaMP	0.17% $\pm$ 0.00	0.16% $\pm$ 0.00	0.22% $\pm$ 0.00	0.11% $\pm$ 0.00	0.08% $\pm$ 0.00	0.09% $\pm$ 0.00
LaMO	0.07% $\pm$ 0.00	0.46% $\pm$ 0.00	0.05% $\pm$ 0.00	0.09% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00
MPP	0.06% $\pm$ 0.00	0.32% $\pm$ 0.00	0.02% $\pm$ 0.00	0.18% $\pm$ 0.00	0.04% $\pm$ 0.00	0.04% $\pm$ 0.00
PPP	1.74% $\pm$ 0.01	0.17% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.11% $\pm$ 0.00	0.37% $\pm$ 0.00	0.04% $\pm$ 0.00
PLP / POP	0.52% $\pm$ 0.01	0.15% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.02% $\pm$ 0.00	0.92% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00
PLO / POO	0.72% $\pm$ 0.00	0.03% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.06% $\pm$ 0.00	0.15% $\pm$ 0.00	0.10% $\pm$ 0.00
Σ MCT	3.07%	2.10%	3.78%	6.08%	3.77%	3.99%
Σ MLCT	0.86%	0.71%	0.75%	1.13%	0.52%	0.14%
Σ LCT	3.04%	0.67%	0.02%	0.37%	1.48%	0.18%
Σ FFA	33.46% $\pm$ 0.11	25.81% $\pm$ 0.03	33.94% $\pm$ 0.21	15.99% $\pm$ 0.06	41.17% $\pm$ 0.06	14.00% $\pm$ 0.002

Tabel B 27 Komposisi triacylglycerol rantai sedang, MCT-TAG, pada lipid total *Nannochloropsis oculata* dalam sistem aksenik pada berbagai spektrum cahaya. Nilai dinyatakan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari dua ulangan.

TAG Profile	axenic WT white	axenic MT white	axenic WT red	axenic MT red	axenic WT blue-green	axenic MT blue-green
CpCC	1.19% $\pm$ 0.01	1.05% $\pm$ 0.01	0.84% $\pm$ 0.00	1.15% $\pm$ 0.01	1.16% $\pm$ 0.01	1.31% $\pm$ 0.01
CpCpLa	0.71% $\pm$ 0.00	0.62% $\pm$ 0.00	0.93% $\pm$ 0.01	0.97% $\pm$ 0.01	0.67% $\pm$ 0.00	0.88% $\pm$ 0.01
CpCLa	1.30% $\pm$ 0.01	0.24% $\pm$ 0.00	0.58% $\pm$ 0.01	0.54% $\pm$ 0.00	0.19% $\pm$ 0.00	1.07% $\pm$ 0.00
CCLa	5.32% $\pm$ 0.07	0.27% $\pm$ 0.00	0.22% $\pm$ 0.00	2.86% $\pm$ 0.04	0.25% $\pm$ 0.00	0.30% $\pm$ 0.00
CLaLa	7.49% $\pm$ 0.10	0.11% $\pm$ 0.00	0.16% $\pm$ 0.00	0.21% $\pm$ 0.00	0.39% $\pm$ 0.00	0.20% $\pm$ 0.00
LaLaLa	9.66% $\pm$ 0.11	0.09% $\pm$ 0.00	0.03% $\pm$ 0.00	0.18% $\pm$ 0.00	0.11% $\pm$ 0.00	0.22% $\pm$ 0.00
CLaM	8.22% $\pm$ 0.11	0.00% $\pm$ 0.00	0.21% $\pm$ 0.00	0.05% $\pm$ 0.00	0.10% $\pm$ 0.00	0.05% $\pm$ 0.00
LaLaM	5.23% $\pm$ 0.07	0.00% $\pm$ 0.00	0.01% $\pm$ 0.00	0.25% $\pm$ 0.00	0.08% $\pm$ 0.00	0.01% $\pm$ 0.00
LaLaO / LaMP	2.78% $\pm$ 0.04	0.00% $\pm$ 0.00	0.15% $\pm$ 0.00	0.02% $\pm$ 0.00	0.06% $\pm$ 0.00	0.03% $\pm$ 0.00
LaMO	1.14% $\pm$ 0.02	0.00% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.05% $\pm$ 0.00	0.04% $\pm$ 0.00	0.03% $\pm$ 0.00
MPP	0.89% $\pm$ 0.01	0.48% $\pm$ 0.01	1.16% $\pm$ 0.01	1.26% $\pm$ 0.02	1.79% $\pm$ 0.02	1.54% $\pm$ 0.02
PPP	0.85% $\pm$ 0.01	1.96% $\pm$ 0.03	7.13% $\pm$ 0.07	6.61% $\pm$ 0.09	10.21% $\pm$ 0.12	8.25% $\pm$ 0.12
PLP / POP	0.22% $\pm$ 0.00	0.81% $\pm$ 0.01	5.22% $\pm$ 0.05	0.02% $\pm$ 0.00	7.45% $\pm$ 0.09	5.44% $\pm$ 0.07
PLO / POO	0.15% $\pm$ 0.00	0.00% $\pm$ 0.00	0.58% $\pm$ 0.00	1.60% $\pm$ 0.02	1.72% $\pm$ 0.02	1.30% $\pm$ 0.02
Σ MCT	25.67%	2.38%	2.76%	5.91%	2.77%	3.98%
Σ MLCT	17.37%	0.00%	0.37%	0.37%	0.28%	0.12%
Σ LCT	2.11%	3.25%	14.09%	9.49%	21.17%	16.53%
Σ FFA	10.62% $\pm$ 0.13	16.46% $\pm$ 0.06	20.42% $\pm$ 0.06	24.25% $\pm$ 0.16	24.93% $\pm$ 0.14	24.95% $\pm$ 0.16

LAMPIRAN C

DATA GC FID FAME

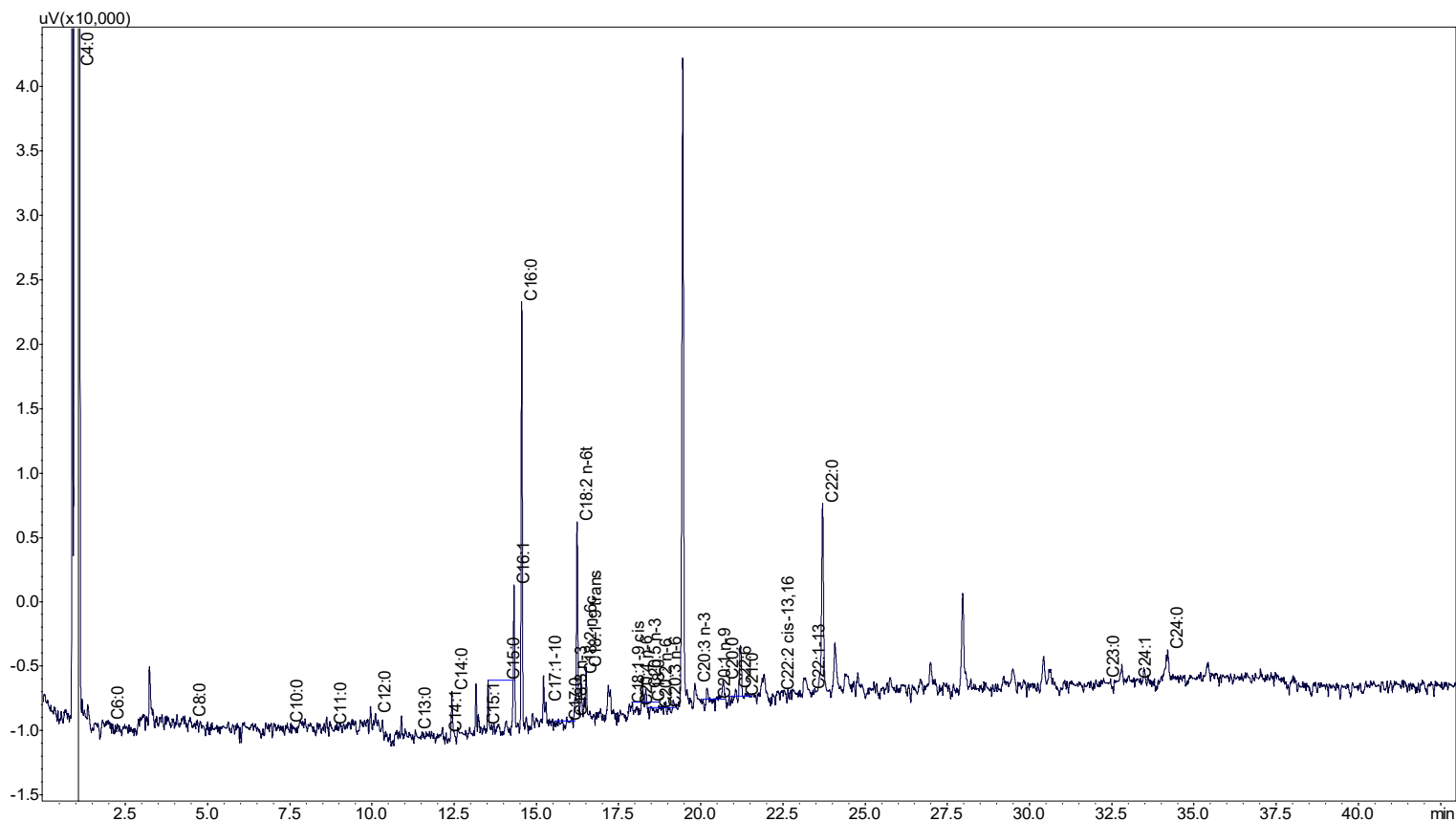


Gambar C.1 Standard FAME Mix 37

Tabel C.1 Data Analisis GC-FID Standard FAME Mix 27 Supelco

Peak#	Area	Ret.Time	Conc.	Area%	Compound ID#	Compound Name	Height
1	5009007	0.934	50.2442	50.2442			4242572
2	127554.2	1.066	1.27947	1.2795	1	C4:0	72584.6
3	2374.1	1.294	0.02381	0.0238			868.8
4	160726.6	1.953	1.61221	1.6122	2	C6:0	57013.6
5	170807.8	4.515	1.71333	1.7133	3	C8:0	55134.4
6	1091	6.587	0.01094	0.0109			416.4
7	1701.6	6.811	0.01707	0.0171			645.4
8	176503.1	7.447	1.77046	1.7705	4	C10:0	67906.5
9	82978.8	8.809	0.83234	0.8323	5	C11:0	32081.2
10	183254.3	10.086	1.83818	1.8382	6	C12:0	72252.3
11	2184.9	10.276	0.02192	0.0219	6	C12:0	587
12	82458	11.291	0.82712	0.8271	7	C13:0	32637.7
13	77794.7	12.283	0.78034	0.7803	8	C14:1	31523.5
14	185894.3	12.44	1.86466	1.8647	9	C14:0	73601.1
15	84439	13.382	0.84699	0.847	10	C15:1	33423.8
16	89348.4	13.526	0.89623	0.8962	11	C15:0	35098.1
17	85350	14.333	0.85613	0.8561	12	C16:1	33155.7
18	1506.8	14.441	0.01511	0.0151	12	C16:1	540.6

19	301213.7	14.574	3.02141	3.0214	13	C16:0	114090.1
20	5769	14.938	0.05787	0.0579	13	C16:0	1959.5
21	92146.6	15.338	0.9243	0.9243	14	C17:1-10	36155.5
22	90763.3	15.56	0.91043	0.9104	15	C17:0	35629.9
23	86642	16.026	0.86909	0.8691	16	C18:3 n-3	31800.8
24	90052.5	16.194	0.9033	0.9033	17	C18:2 n-6	32277.7
25	422852.2	16.27	4.24153	4.2415	18	C18:2 n-6t	119786.7
26	121299.6	16.331	1.21673	1.2167	19	C18:2 n-6c	48757.5
27	235453	16.536	2.36178	2.3618	20	C18:1-9 trans	79618.3
28	3128.5	16.884	0.03138	0.0314	20	C18:1-9 trans	826
29	81668.2	17.853	0.81919	0.8192	21	C18:1-9 cis	26709.5
30	89607.9	17.924	0.89884	0.8988	22	C18:0	29051.3
31	98347.1	18.064	0.9865	0.9865	23	C20:4 n-6	29333.7
32	86412.8	18.294	0.86679	0.8668	24	C20:5 n-3	26086.8
33	223383.5	18.367	2.24071	2.2407	25	C20:3 n-6	63294
34	227675.7	18.68	2.28376	2.2838	26	C20:2 n-6	68523.7
35	100033.1	19.847	1.00341	1.0034	27	C20:3 n-3	28259.5
36	82149.5	20.058	0.82402	0.824	28	C20:1 n-9	22934.8
37	80135.5	20.682	0.80382	0.8038	29	C20:0	22949.3
38	181319.1	20.744	1.81877	1.8188	30	C21:0	38785
39	233995	21.087	2.34715	2.3472	31	C22:6	59135.6
40	104156.5	22.341	1.04477	1.0448	32	C22:2 cis- 13,16	25591.7
41	99845.8	23.285	1.00153	1.0015	33	C22:1-13	23713.6
42	34688.4	23.339	0.34795	0.348	33	C22:1-13	7863.1
43	229752.1	23.642	2.30459	2.3046	34	C22:0	55576.5
44	9649.6	32.219	0.09679	0.0968	35	C23:0	1902.9
45	2621.5	33.228	0.0263	0.0263	36	C24:1	598.9
46	28385.8	34.225	0.28473	0.2847	37	C24:0	5730.1
47	1200.5	43.134	0.01204	0.012			413.5



Gambar C.2 Kromatogram Sampel Co-culture WT White (A)

Tabel C.2 Data GC FID Sampel Co-culture WT White (A)

Peak#	Area	Ret.Time	Conc.	Area%	Compound ID#	Compound Name	Units	Height
1	1603.8	0.044	0.00062	0.0006				502.2
2	2661	0.336	0.00103	0.001				607.7
3	1554.4	0.449	0.0006	0.0006				889.1
4	2496.9	0.548	0.00097	0.001				977.9
5	3388	0.663	0.00132	0.0013				1151.5
6	3770.6	0.691	0.00147	0.0015				1239.3
7	2542.8	0.762	0.00099	0.001				986.4
8	419198.7	0.875	0.16297	0.163				323232.1
9	37954110	0.949	14.75497	14.755				29558961.7
10	216810209	1.063	84.28675	84.2867	1	C4:0	ppm	111725956.8
11	1286.4	1.186	0.0005	0.0005				1082.9
12	2080.3	1.252	0.00081	0.0008				596.6
13	6193.6	1.354	0.00241	0.0024				1540
14	1208	1.494	0.00047	0.0005				378.9
15	6057.8	1.555	0.00236	0.0024				866.9
16	3080.9	1.667	0.0012	0.0012				1104.8
17	7966.6	1.809	0.0031	0.0031				1441.6
18	4829.1	1.914	0.00188	0.0019				1316.3
19	4887.9	1.982	0.0019	0.0019	2	C6:0	ppm	1368.2
20	2674.1	2.026	0.00104	0.001				1257.4
21	1990.6	2.063	0.00077	0.0008				1141.8
22	2704	2.11	0.00105	0.0011				1079.9

23	3016.1	2.194	0.00117	0.0012				975.2
24	3700.4	2.252	0.00144	0.0014				1055.5
25	2741.1	2.32	0.00107	0.0011				895.2
26	2630.8	2.432	0.00102	0.001				761.5
27	2389.6	2.481	0.00093	0.0009				958.7
28	2495.4	2.558	0.00097	0.001				642.3
29	2331.9	2.604	0.00091	0.0009				892.3
30	2764.8	2.671	0.00107	0.0011				671.9
31	2288.8	2.785	0.00089	0.0009				612.6
32	4273.1	2.901	0.00166	0.0017				1310.9
33	4016.2	2.95	0.00156	0.0016				1378.2
34	9424.4	3.04	0.00366	0.0037				1602.4
35	2956.3	3.135	0.00115	0.0011				1419.3
36	2448.1	3.169	0.00095	0.001				1308.1
37	22693.9	3.231	0.00882	0.0088				5255.5
38	5485.8	3.337	0.00213	0.0021				1938.9
39	6233.8	3.452	0.00242	0.0024				1375.1
40	4702.7	3.558	0.00183	0.0018				1280.7
41	5581.7	3.612	0.00217	0.0022				1487.3
42	3405.1	3.718	0.00132	0.0013				1310
43	2444.5	3.765	0.00095	0.001				1341.5
44	4652.9	3.813	0.00181	0.0018				1217.7
45	5767.8	3.957	0.00224	0.0022				1076.9
46	6528.2	4.069	0.00254	0.0025				1371.7
47	1949.2	4.163	0.00076	0.0008				701.4
48	1790.2	4.21	0.0007	0.0007				1052
49	3627.2	4.261	0.00141	0.0014				1175.3
50	3047.8	4.31	0.00118	0.0012				1207.9
51	1090.7	4.369	0.00042	0.0004				611.7
52	1626.7	4.429	0.00063	0.0006				796.5
53	2663	4.468	0.00104	0.001	3	C8:0	ppm	925
54	1487.8	4.689	0.00058	0.0006				813
55	3659.7	4.78	0.00142	0.0014				917.6
56	3253	4.891	0.00126	0.0013				613
57	2877.2	5.002	0.00112	0.0011				981.2
58	1488.5	5.138	0.00058	0.0006				687.7
59	1483.7	5.632	0.00058	0.0006				586
60	2515.1	5.763	0.00098	0.001				678.7
61	1508.8	5.85	0.00059	0.0006				759.9
62	2521.9	5.904	0.00098	0.001				1158
63	2194.9	5.946	0.00085	0.0009				1097.7
64	1820	5.991	0.00071	0.0007				1158.6
65	5340.5	6.118	0.00208	0.0021				770.6
66	1304.8	6.371	0.00051	0.0005				445.5
67	1637.5	6.453	0.00064	0.0006				495.7

68	1945.5	6.517	0.00076	0.0008				319.3
69	1838.3	6.686	0.00071	0.0007				724.9
70	4491.2	6.772	0.00175	0.0017				1156.7
71	3290.5	6.849	0.00128	0.0013				1088.1
72	4468.9	6.939	0.00174	0.0017				1144.6
73	2756.1	7.018	0.00107	0.0011				1132.3
74	2542.8	7.066	0.00099	0.001				1006.9
75	5433.5	7.153	0.00211	0.0021				1047.7
76	2719.9	7.214	0.00106	0.0011				962.4
77	3470.5	7.304	0.00135	0.0013				937.7
78	2415.6	7.374	0.00094	0.0009				994.4
79	4710.5	7.426	0.00183	0.0018	4	C10:0	ppm	1185.8
80	3015.4	7.531	0.00117	0.0012				1150.1
81	6049.1	7.573	0.00235	0.0024				1036.7
82	1890.2	7.705	0.00073	0.0007				840.2
83	1845	7.757	0.00072	0.0007				953
84	10694.7	7.83	0.00416	0.0042				1431.8
85	7037.2	7.964	0.00274	0.0027				1521.7
86	4126.3	8.06	0.0016	0.0016				1114.9
87	3416.8	8.128	0.00133	0.0013				1247.2
88	2585.6	8.177	0.00101	0.001				969.8
89	2124	8.228	0.00083	0.0008				934.1
90	4323.8	8.336	0.00168	0.0017				1207.4
91	4319	8.424	0.00168	0.0017				1145.5
92	2922.1	8.494	0.00114	0.0011				860.4
93	3477.6	8.543	0.00135	0.0014				1217.6
94	6448.6	8.621	0.00251	0.0025				1715.1
95	2955.7	8.716	0.00115	0.0011				1388.2
96	4404.1	8.755	0.00171	0.0017	5	C11:0	ppm	1101.2
97	3731.2	8.881	0.00145	0.0015				1021.7
98	3085.3	8.931	0.0012	0.0012				1298.2
99	8107.9	9.016	0.00315	0.0032				1261.1
100	5064.5	9.141	0.00197	0.002				1212.6
101	3654.7	9.22	0.00142	0.0014				1149.1
102	2766.5	9.269	0.00108	0.0011				1272.4
103	4375.1	9.312	0.0017	0.0017				1319.8
104	5185.1	9.391	0.00202	0.002				1557.7
105	3272.6	9.433	0.00127	0.0013				1496.8
106	5284.6	9.497	0.00205	0.0021				1426.8
107	8955.1	9.647	0.00348	0.0035				1502.3
108	2924.1	9.717	0.00114	0.0011				1331.2
109	5930.4	9.775	0.00231	0.0023				1494.8
110	5874.7	9.875	0.00228	0.0023				1578.9
111	9976.7	9.955	0.00388	0.0039				2551.4
112	3839.1	10.045	0.00149	0.0015				1499.8

113	8646.5	10.107	0.00336	0.0034	6	C12:0	ppm	2022.7
114	5876.6	10.183	0.00228	0.0023				1548.9
115	5878.5	10.32	0.00229	0.0023				1519.8
116	2105.2	10.417	0.00082	0.0008				765.2
117	1244.6	10.463	0.00048	0.0005				635.7
118	2125.8	10.549	0.00083	0.0008				846.7
119	3386.5	10.715	0.00132	0.0013				1013
120	3315.4	10.757	0.00129	0.0013				1199
121	3232.7	10.821	0.00126	0.0013				1082.8
122	7549.4	10.898	0.00293	0.0029				2310
123	3574.4	11.006	0.00139	0.0014				1313.3
124	2874.1	11.042	0.00112	0.0011				1098
125	4138.8	11.129	0.00161	0.0016				1024.7
126	2303.5	11.182	0.0009	0.0009				857.7
127	2076.6	11.241	0.00081	0.0008				832.9
128	6212.3	11.319	0.00242	0.0024	7	C13:0	ppm	1193.2
129	3100.7	11.471	0.00121	0.0012				678.2
130	2750.8	11.526	0.00107	0.0011				1050.1
131	2302.8	11.562	0.0009	0.0009				938.3
132	3400.7	11.649	0.00132	0.0013				1031.2
133	5146.4	11.749	0.002	0.002				1072.9
134	3605.6	11.813	0.0014	0.0014				1050.8
135	2258.2	11.88	0.00088	0.0009				903.8
136	1323.4	11.957	0.00051	0.0005				568.7
137	2193.5	11.993	0.00085	0.0009				851.5
138	7552.2	12.149	0.00294	0.0029				1318.8
139	2181.3	12.254	0.00085	0.0008	8	C14:1	ppm	895.9
140	1449.7	12.332	0.00056	0.0006				497.8
141	12957.9	12.43	0.00504	0.005	9	C14:0	ppm	4123.3
142	3020.8	12.498	0.00117	0.0012				1060.7
143	2700.7	12.611	0.00105	0.001				911.1
144	2703.6	12.97	0.00105	0.0011				770.3
145	1588	13.093	0.00062	0.0006				510.1
146	10325.9	13.163	0.00401	0.004				4120.2
147	5590.3	13.233	0.00217	0.0022				1763.4
148	2293.6	13.333	0.00089	0.0009				678.8
149	3548	13.412	0.00138	0.0014	10	C15:1	ppm	873.5
150	12558.6	13.531	0.00488	0.0049	11	C15:0	ppm	4350.4
151	3138.2	13.641	0.00122	0.0012				909.1
152	2623.5	13.713	0.00102	0.001				932.1
153	5703	13.858	0.00222	0.0022				883.5
154	5826	14.088	0.00226	0.0023				1096.9
155	37730.5	14.321	0.01467	0.0147	12	C16:1	ppm	11621.1
156	3332.8	14.43	0.0013	0.0013				901.1
157	87017.3	14.554	0.03383	0.0338	13	C16:0	ppm	33487.1

158	1076.6	14.631	0.00042	0.0004				768.2
159	5165.2	14.691	0.00201	0.002				1313.5
160	1215.4	14.775	0.00047	0.0005				552.2
161	6588.8	14.883	0.00256	0.0026				1436.3
162	3351.6	14.999	0.0013	0.0013				973.9
163	1765	15.041	0.00069	0.0007				760.3
164	3060.6	15.151	0.00119	0.0012				733.8
165	10504.5	15.218	0.00408	0.0041				3988.5
166	5365.7	15.291	0.00209	0.0021	14	C17:1-10	ppm	1888.8
167	1950.9	15.566	0.00076	0.0008	15	C17:0	ppm	698.5
168	4237.2	15.674	0.00165	0.0016				877.9
169	3598.3	15.781	0.0014	0.0014				832.7
170	1342.8	15.924	0.00052	0.0005				655.8
171	1385.1	16.075	0.00054	0.0005	16	C18:3 n-3	ppm	547.8
172	53340.8	16.238	0.02074	0.0207	18	C18:2 n-6t	ppm	15903.4
173	14519.2	16.361	0.00564	0.0056	19	C18:2 n-6c	ppm	4036.6
174	6220.9	16.459	0.00242	0.0024				2267.5
175	14312.1	16.513	0.00556	0.0056	20	C18:1-9 trans	ppm	4537.8
176	4735.1	16.627	0.00184	0.0018				1209.2
177	4831.2	16.743	0.00188	0.0019				916.3
178	2128.2	16.813	0.00083	0.0008				1065.2
179	2974.7	16.857	0.00116	0.0012				1045.8
180	1871.4	16.913	0.00073	0.0007				1072.1
181	4471	16.95	0.00174	0.0017				1347.7
182	2516.2	17.023	0.00098	0.001				870
183	1111.2	17.095	0.00043	0.0004				770.1
184	12793.2	17.186	0.00497	0.005				3106.4
185	8857.3	17.25	0.00344	0.0034				2739.6
186	6011.5	17.345	0.00234	0.0023				1231.6
187	1628.5	17.411	0.00063	0.0006				905.3
188	1998.6	17.473	0.00078	0.0008				952.2
189	4945.2	17.55	0.00192	0.0019				1126.2
190	3595.5	17.659	0.0014	0.0014				727
191	6204.2	17.827	0.00241	0.0024	21	C18:1-9 cis	ppm	1435.7
192	6263.9	17.918	0.00244	0.0024	22	C18:0	ppm	1541.6
193	2661.4	17.977	0.00103	0.001				860.8
194	5018.3	18.053	0.00195	0.002	23	C20:4 n-6	ppm	1101.7
195	2068.3	18.126	0.0008	0.0008				918.3
196	14765.7	18.224	0.00574	0.0057				3380.4
197	8881.9	18.325	0.00345	0.0035	24	C20:5 n-3	ppm	2325.1
198	1544.7	18.407	0.0006	0.0006	25	C20:3 n-6	ppm	862.6
199	6304.6	18.47	0.00245	0.0025				911.1
200	2946.9	18.644	0.00115	0.0011	26	C20:2 n-6	ppm	620.7
201	2325	18.729	0.0009	0.0009				832.7

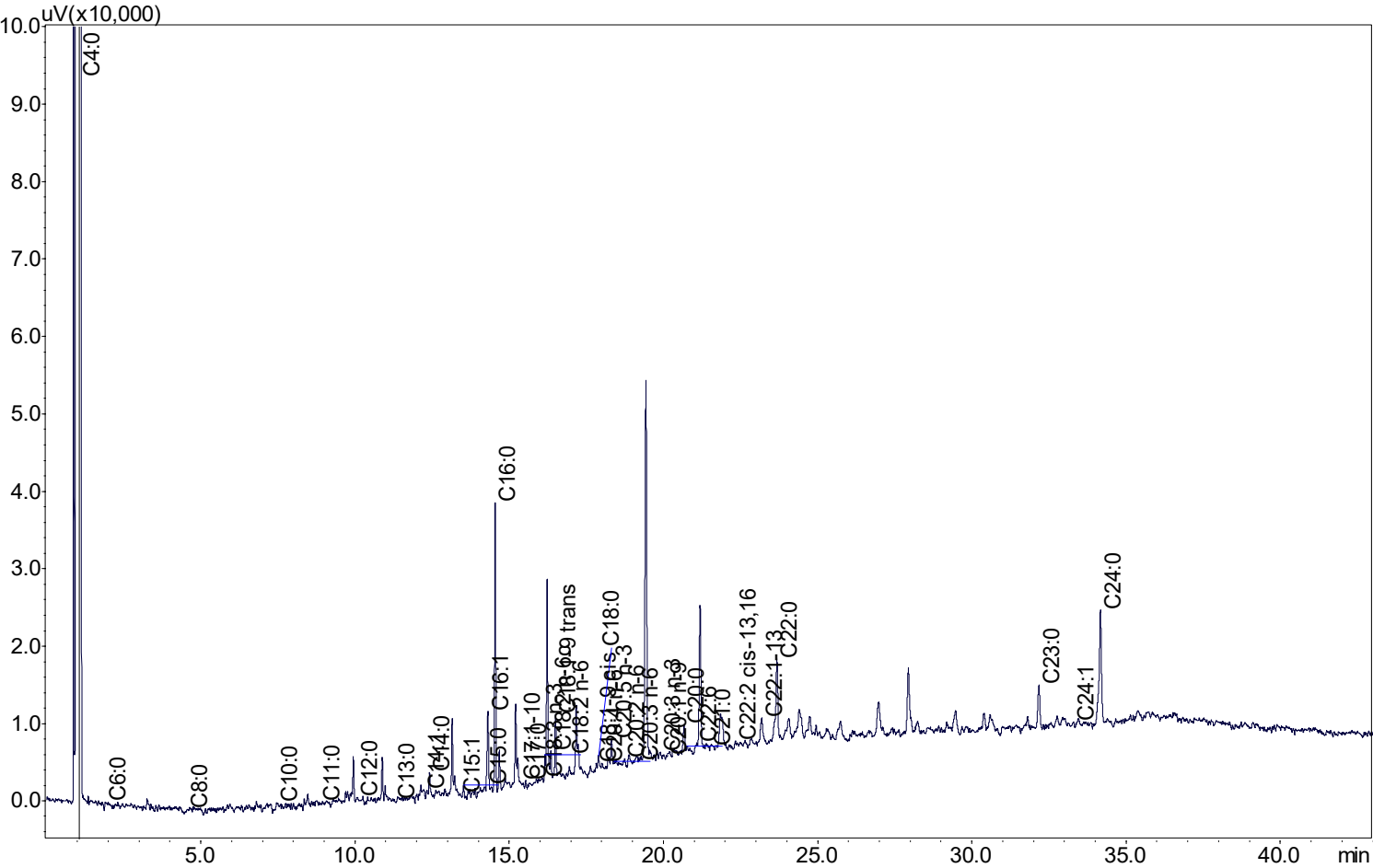
202	3718	18.81	0.00145	0.0014				885.8
203	4306	18.934	0.00167	0.0017				1021.1
204	2453.7	19.002	0.00095	0.001				550.7
205	4299.1	19.165	0.00167	0.0017				1016.2
206	1674.4	19.251	0.00065	0.0007				615
207	1753.2	19.321	0.00068	0.0007				731.9
208	187634.1	19.453	0.07294	0.0729				50515.9
209	6279.1	19.581	0.00244	0.0024				1585.1
210	1924.7	19.674	0.00075	0.0007				879.3
211	6457.1	19.82	0.00251	0.0025	27	C20:3 n-3	ppm	1665.8
212	1209.6	20.065	0.00047	0.0005	28	C20:1 n-9	ppm	558.8
213	8912.6	20.185	0.00346	0.0035				1760.2
214	3039.9	20.276	0.00118	0.0012				1029.4
215	1480.9	20.338	0.00058	0.0006				880.2
216	3049.6	20.405	0.00119	0.0012				928.5
217	4673.3	20.487	0.00182	0.0018				1063.9
218	2542.4	20.544	0.00099	0.001				1117.1
219	15468.7	20.676	0.00601	0.006	29	C20:0	ppm	2209.8
220	1855.4	20.86	0.00072	0.0007	30	C21:0	ppm	834.4
221	1715.2	20.941	0.00067	0.0007				740.5
222	1705.5	21.01	0.00066	0.0007				587.9
223	4016.3	21.056	0.00156	0.0016	31	C22:6	ppm	1099.5
224	18989.4	21.203	0.00738	0.0074				4313.8
225	1515.9	21.346	0.00059	0.0006				409.1
226	1451.4	21.724	0.00056	0.0006				749.9
227	2563.6	21.773	0.001	0.001				900.3
228	8100	21.869	0.00315	0.0031				2024.8
229	10447.7	21.919	0.00406	0.0041				2343.1
230	4067.9	22.027	0.00158	0.0016				937.4
231	3881.6	22.182	0.00151	0.0015				894.3
232	6421.9	22.363	0.0025	0.0025	32	C22:2 cis- 13,16	ppm	1034.4
233	4952.7	22.469	0.00193	0.0019				1038.6
234	3579.2	22.541	0.00139	0.0014				1043.9
235	1336.6	22.587	0.00052	0.0005				753.5
236	2297	22.654	0.00089	0.0009				1067.4
237	1958.9	22.737	0.00076	0.0008				735.9
238	2171.8	22.793	0.00084	0.0008				647.3
239	11062.2	23.183	0.0043	0.0043				1520.3
240	2420.9	23.301	0.00094	0.0009	33	C22:1-13	ppm	557.1
241	1024.7	23.41	0.0004	0.0004				465.4
242	1373.8	23.466	0.00053	0.0005				574.3
243	66806.8	23.705	0.02597	0.026	34	C22:0	ppm	14747.2
244	27166.7	24.079	0.01056	0.0106				4202.4
245	3134.4	24.263	0.00122	0.0012				812

246	18610.7	24.386	0.00724	0.0072				1784.2
247	1769.8	24.571	0.00069	0.0007				939.1
248	1732.7	24.613	0.00067	0.0007				979.5
249	3343.3	24.655	0.0013	0.0013				1170.6
250	5366	24.773	0.00209	0.0021				1400.6
251	2034.2	25.089	0.00079	0.0008				760.2
252	5376.9	25.131	0.00209	0.0021				795.5
253	3797.9	25.264	0.00148	0.0015				1309
254	4374.3	25.35	0.0017	0.0017				1157
255	1989	25.476	0.00077	0.0008				780.9
256	3519.2	25.538	0.00137	0.0014				921.5
257	2251.3	25.616	0.00088	0.0009				840
258	4460.7	25.674	0.00173	0.0017				1293.4
259	10201	25.768	0.00397	0.004				1723.4
260	4817.9	25.896	0.00187	0.0019				992.6
261	4009.7	25.958	0.00156	0.0016				1200.2
262	2029.2	26.022	0.00079	0.0008				961
263	15028.7	26.155	0.00584	0.0058				1311.6
264	5301.5	26.327	0.00206	0.0021				1344.6
265	4616.9	26.434	0.00179	0.0018				1232.6
266	4265.5	26.535	0.00166	0.0017				737.7
267	1845.4	26.624	0.00072	0.0007				864
268	7262	26.674	0.00282	0.0028				1319.8
269	7357.1	26.989	0.00286	0.0029				1740.1
270	1173.8	27.258	0.00046	0.0005				663.6
271	1887.9	27.336	0.00073	0.0007				711.4
272	3912.4	27.386	0.00152	0.0015				1042.2
273	3749.3	27.478	0.00146	0.0015				1088.9
274	3236.4	27.546	0.00126	0.0013				1002.6
275	4143.4	27.684	0.00161	0.0016				1058.9
276	2625.6	27.775	0.00102	0.001				678.2
277	39478.2	27.966	0.01535	0.0153				7872.1
278	6409.2	28.052	0.00249	0.0025				1693.5
279	1127.6	28.145	0.00044	0.0004				493.8
280	2597.9	28.216	0.00101	0.001				959.6
281	1234.5	28.309	0.00048	0.0005				445.6
282	1632.8	28.525	0.00063	0.0006				500.5
283	1452.5	28.609	0.00056	0.0006				839.8
284	3494	28.669	0.00136	0.0014				803.5
285	2661.2	28.824	0.00103	0.001				639
286	2706.8	28.877	0.00105	0.0011				824.2
287	2546.9	28.965	0.00099	0.001				923.1
288	2285.8	29.031	0.00089	0.0009				886.2
289	1810	29.111	0.0007	0.0007				528.5
290	6877.7	29.218	0.00267	0.0027				1523.8

291	2663.3	29.265	0.00104	0.001				1160.5
292	4711.3	29.332	0.00183	0.0018				1122
293	3264.5	29.391	0.00127	0.0013				1040
294	16705.7	29.493	0.00649	0.0065				2152.3
295	3124.7	29.648	0.00121	0.0012				1111.8
296	3902.3	29.703	0.00152	0.0015				1104.5
297	6600	29.824	0.00257	0.0026				1333.5
298	2497.8	29.872	0.00097	0.001				1162.5
299	3290.4	29.952	0.00128	0.0013				1104.7
300	2900.6	30.012	0.00113	0.0011				1027.5
301	3821.9	30.091	0.00149	0.0015				1019.3
302	3970.8	30.161	0.00154	0.0015				991.3
303	4229.1	30.25	0.00164	0.0016				1036.7
304	21530.4	30.429	0.00837	0.0084				3103.7
305	9439.8	30.591	0.00367	0.0037				2052.4
306	5797	30.642	0.00225	0.0023				2061.8
307	3828.6	30.707	0.00149	0.0015				1367.6
308	4296.2	30.773	0.00167	0.0017				1030.2
309	1966.3	30.838	0.00076	0.0008				711
310	2196.9	30.945	0.00085	0.0009				566.7
311	2258.6	31.034	0.00088	0.0009				982.5
312	3193.8	31.068	0.00124	0.0012				1078.9
313	2249.6	31.135	0.00087	0.0009				935.9
314	3628.4	31.261	0.00141	0.0014				616.1
315	2792.3	31.494	0.00109	0.0011				383.3
316	2678.1	31.669	0.00104	0.001				627.1
317	2466.3	31.785	0.00096	0.001				647
318	1955	31.86	0.00076	0.0008				690.2
319	2108.4	32.017	0.00082	0.0008				681.3
320	1102.6	32.115	0.00043	0.0004				435.4
321	1562.7	32.252	0.00061	0.0006	35	C23:0	ppm	460.1
322	1188.9	32.582	0.00046	0.0005				623.8
323	5839	32.805	0.00227	0.0023				1439.9
324	1198.8	32.887	0.00047	0.0005				422.5
325	2041.9	33.024	0.00079	0.0008				471.4
326	1407.2	33.227	0.00055	0.0005	36	C24:1	ppm	561.1
327	3151.8	33.29	0.00123	0.0012				667.5
328	1844.4	33.369	0.00072	0.0007				735.2
329	8603.5	33.474	0.00334	0.0033				1614.3
330	3952	33.598	0.00154	0.0015				1073.9
331	1931.4	33.666	0.00075	0.0008				759.9
332	2214.9	33.755	0.00086	0.0009				716.4
333	1150	33.801	0.00045	0.0004				895.5
334	1140	33.91	0.00044	0.0004				633.4
335	3768.3	34.01	0.00146	0.0015				811.7

336	11084.1	34.163	0.00431	0.0043				2200.6
337	8037.9	34.199	0.00312	0.0031	37	C24:0	ppm	2522
338	2202.2	34.587	0.00086	0.0009				593.9
339	3277.9	34.722	0.00127	0.0013				757.7
340	1379.9	35.206	0.00054	0.0005				637.1
341	1699.3	35.29	0.00066	0.0007				429.4
342	9183.7	35.429	0.00357	0.0036				1573
343	4717.5	35.528	0.00183	0.0018				797.3
344	5341.4	35.68	0.00208	0.0021				935.6
345	1757.9	35.806	0.00068	0.0007				713
346	2144.9	36.11	0.00083	0.0008				675.6
347	1062.8	36.232	0.00041	0.0004				504.6
348	1040.4	36.564	0.0004	0.0004				650.9
349	2855.8	36.607	0.00111	0.0011				691.2
350	1374.1	36.784	0.00053	0.0005				543.5
351	1608.2	37.02	0.00063	0.0006				763.5
352	1255.8	37.174	0.00049	0.0005				499.7
353	1913.3	37.234	0.00074	0.0007				651
354	2874.2	37.343	0.00112	0.0011				929.9
355	2072.8	37.413	0.00081	0.0008				716.3
356	3694.8	37.471	0.00144	0.0014				1067.7
357	3932.3	37.532	0.00153	0.0015				916.4
358	2144	37.633	0.00083	0.0008				689.4
359	2567	37.689	0.001	0.001				720.4
360	1386.9	37.735	0.00054	0.0005				851.3
361	1471.9	37.801	0.00057	0.0006				532.7
362	1970.6	37.922	0.00077	0.0008				921.2
363	2787.6	37.973	0.00108	0.0011				1079.6
364	3861.8	38.013	0.0015	0.0015				1368.1
365	3967	38.063	0.00154	0.0015				1152.2
366	1107.2	38.428	0.00043	0.0004				614.6
367	2469	38.487	0.00096	0.001				581.7
368	3119.3	38.649	0.00121	0.0012				902.7
369	2373	38.694	0.00092	0.0009				878.5
370	1632.3	38.805	0.00063	0.0006				557.3
371	1850.3	39.033	0.00072	0.0007				562
372	5114.5	39.112	0.00199	0.002				947.8
373	5696.7	39.231	0.00221	0.0022				999
374	3124.6	39.341	0.00121	0.0012				1170.8
375	3573	39.384	0.00139	0.0014				1074.5
376	8866.4	39.49	0.00345	0.0034				1076.6
377	5796.8	39.664	0.00225	0.0023				1084.6
378	2393.8	39.82	0.00093	0.0009				734.4
379	2114.5	40.059	0.00082	0.0008				702.2
380	1829.3	40.231	0.00071	0.0007				573

381	3629	40.706	0.00141	0.0014				791.9
382	2666.6	40.872	0.00104	0.001				868.1
383	4042	40.981	0.00157	0.0016				929.4
384	3081.4	41.098	0.0012	0.0012				899.9
385	7211	41.151	0.0028	0.0028				837
386	3214.6	41.357	0.00125	0.0012				955.1
387	4128	41.402	0.0016	0.0016				902.6
388	1913.9	41.536	0.00074	0.0007				708.4
389	2347.2	41.589	0.00091	0.0009				787.9
390	3394.5	41.645	0.00132	0.0013				737.5
391	1726.4	41.82	0.00067	0.0007				783.7
392	2195.6	41.893	0.00085	0.0009				736.6
393	2583.3	41.946	0.001	0.001				1049.4
394	3158.5	42.005	0.00123	0.0012				930.3
395	4176.5	42.113	0.00162	0.0016				748.9
396	2622.9	42.208	0.00102	0.001				1049.4
397	2252.2	42.267	0.00088	0.0009				851.4
398	1512.6	42.336	0.00059	0.0006				716.2
399	1225.3	42.648	0.00048	0.0005				601.2



Gambar C.3 Kromatogram Sampel Co-culture WT White duplo (D)

Tabel C.3 Sampel Co-culture WT White duplo (D)

Peak#	Area	Ret.Time	Conc.	Area%	Compound ID#	Compound Name	Units	Height
1	1960.1	0.206	0	0.0006				455.1
2	1883	0.299	0	0.0006				457.2
3	2141.4	0.389	0	0.0007				580.2
4	3068.3	0.514	0	0.001				408.6
5	1832.8	0.662	0	0.0006				635.3
6	1712.4	0.757	0	0.0005				477.3
7	393019.8	0.874	0	0.1235				324888.5
8	21348598.2	0.947	0	6.7079				18393583.3
9	293987616.7	1.07	0	92.3733	1	C4:0	ppm	131812235.9
10	1568.6	1.352	0	0.0005				1088.7
11	1555.1	1.435	0	0.0005				665.4
12	1352.6	1.485	0	0.0004				487
13	2553.2	1.591	0	0.0008				511
14	2089.9	1.679	0	0.0007				766.4
15	4585.7	1.801	0	0.0014				804.7
16	5351.5	1.905	0	0.0017	2	C6:0	ppm	1035.4
17	2487.2	2.005	0	0.0008				1019.7
18	2663.8	2.063	0	0.0008				829.8
19	1435.5	2.101	0	0.0005				645.5
20	1212.7	2.157	0	0.0004				673.9
21	1316.4	2.199	0	0.0004				612.9
22	2730	2.236	0	0.0009				826.2
23	2425	2.31	0	0.0008				1078.9
24	1531.7	2.371	0	0.0005				622.9
25	4939	2.467	0	0.0016				898
26	7172.5	2.577	0	0.0023				785
27	1769.7	2.734	0	0.0006				945.7
28	2061.1	2.782	0	0.0006				729.3
29	3527.6	2.853	0	0.0011				715.4
30	4073.3	2.97	0	0.0013				615.8
31	1651.1	3.154	0	0.0005				513
32	7333.1	3.252	0	0.0023				1555.3
33	2042.9	3.384	0	0.0006				839
34	2415.3	3.548	0	0.0008				786.5
35	2325.8	3.642	0	0.0007				777.5
36	1562.3	3.986	0	0.0005				471.9
37	1100.1	4.316	0	0.0003				544.5
38	1978.9	4.565	0	0.0006	3	C8:0	ppm	496.1
39	2949.1	4.637	0	0.0009				640.2
40	1110.5	4.75	0	0.0003				591.7
41	2685.5	5.151	0	0.0008				809.9

42	3404.6	5.241	0	0.0011				850.4
43	2113.7	5.296	0	0.0007				945.9
44	2197.9	5.344	0	0.0007				900
45	1961.8	5.401	0	0.0006				931.5
46	1275.8	5.437	0	0.0004				812.8
47	1667.3	5.474	0	0.0005				815.8
48	3131	5.542	0	0.001				879.1
49	4263.9	5.643	0	0.0013				884.4
50	3223.4	5.727	0	0.001				1053.9
51	2158.5	5.783	0	0.0007				668.5
52	5046.2	5.87	0	0.0016				1286.6
53	7244.8	5.954	0	0.0023				1382.3
54	1602.5	6.025	0	0.0005				921.6
55	2811.9	6.109	0	0.0009				732.9
56	6599.1	6.154	0	0.0021				1035.2
57	5550.3	6.318	0	0.0017				1149.6
58	3148.5	6.429	0	0.001				881.8
59	3320.4	6.481	0	0.001				1141.2
60	5591.7	6.57	0	0.0018				1245.6
61	2906	6.665	0	0.0009				879
62	1535.2	6.708	0	0.0005				829.1
63	1970.1	6.75	0	0.0006				1015.9
64	7230.3	6.798	0	0.0023				1650
65	2851.2	6.893	0	0.0009				1080.8
66	2739.9	6.951	0	0.0009				1132
67	3497.6	7.019	0	0.0011				676.3
68	6399.8	7.151	0	0.002				1316.3
69	2322	7.204	0	0.0007				1155.6
70	5423.3	7.285	0	0.0017				1131.6
71	1211.9	7.393	0	0.0004				549.7
72	8094.3	7.461	0	0.0025	4	C10:0	ppm	1350.2
73	3213.4	7.592	0	0.001				1083.8
74	3532.8	7.635	0	0.0011				1051.2
75	4574.4	7.755	0	0.0014				1116.8
76	3063.1	7.811	0	0.001				1071
77	2786.8	7.864	0	0.0009				1008
78	2621.5	7.93	0	0.0008				1033.4
79	3519	8.011	0	0.0011				1082.5
80	1046.7	8.069	0	0.0003				599.8
81	2246.6	8.144	0	0.0007				756.1
82	2067.1	8.184	0	0.0006				988.7
83	1716.7	8.219	0	0.0005				812.2
84	2051.3	8.265	0	0.0006				894
85	4565.9	8.354	0	0.0014				1567
86	9840.6	8.47	0	0.0031				2133.2

87	1525.8	8.541	0	0.0005				771.1
88	3922.1	8.591	0	0.0012				1056
89	2382.4	8.666	0	0.0007				894.7
90	5485.7	8.758	0	0.0017				1104.7
91	2025.9	8.839	0	0.0006	5	C11:0	ppm	817.8
92	4776.8	8.953	0	0.0015				913.4
93	2330.1	9.031	0	0.0007				697.6
94	3821.5	9.084	0	0.0012				961.4
95	2298.9	9.171	0	0.0007				676.1
96	3579.8	9.297	0	0.0011				1046.5
97	4498.4	9.388	0	0.0014				838.3
98	4976.2	9.468	0	0.0016				1004.9
99	1045.2	9.553	0	0.0003				605.4
100	2455.5	9.605	0	0.0008				520.3
101	4237.2	9.698	0	0.0013				1693.8
102	5631.9	9.759	0	0.0018				1606.9
103	3695.4	9.847	0	0.0012				1289.1
104	18175.9	9.945	0	0.0057				5965.9
105	2435.8	10.061	0	0.0008	6	C12:0	ppm	612.1
106	2729.4	10.261	0	0.0009				1025.6
107	3174.6	10.41	0	0.001				997.8
108	4611.1	10.528	0	0.0014				916.8
109	1416.9	10.61	0	0.0004				773.3
110	1371.2	10.655	0	0.0004				780.1
111	1612.3	10.72	0	0.0005				728
112	2905.1	10.761	0	0.0009				943.9
113	18667.8	10.884	0	0.0059				6075
114	7928.8	10.977	0	0.0025				2412.5
115	2828.1	11.051	0	0.0009				1055
116	4195.4	11.104	0	0.0013				870.5
117	2284.4	11.228	0	0.0007				711.1
118	1145.3	11.275	0	0.0004	7	C13:0	ppm	567.9
119	4946.2	11.392	0	0.0016				907.2
120	4342	11.534	0	0.0014				961.7
121	2937.5	11.603	0	0.0009				884.6
122	2580.8	11.668	0	0.0008				818.5
123	3736.2	11.765	0	0.0012				815.6
124	5647.8	11.841	0	0.0018				1116.9
125	1905.2	11.91	0	0.0006				914.4
126	5410.5	12.007	0	0.0017				1261.4
127	2708.3	12.073	0	0.0009				1160.9
128	7866.8	12.137	0	0.0025				2400
129	9708.5	12.231	0	0.0031	8	C14:1	ppm	1772.6
130	6752.2	12.336	0	0.0021				1616.1
131	15942.5	12.418	0	0.005	9	C14:0	ppm	3834.8

132	8659	12.622	0	0.0027				1522.4
133	7473.6	12.72	0	0.0023				1376.2
134	5784.1	12.851	0	0.0018				1131.3
135	6492.8	12.911	0	0.002				1620.7
136	2153.7	12.983	0	0.0007				911.6
137	3302.5	13.039	0	0.001				979.4
138	33083.2	13.151	0	0.0104				10540.8
139	11055.7	13.231	0	0.0035				3196.3
140	5902.8	13.31	0	0.0019				1456.8
141	3402.8	13.401	0	0.0011	10	C15:1	ppm	817.2
142	5444.4	13.521	0	0.0017	11	C15:0	ppm	1829.7
143	2907.5	13.669	0	0.0009				1014.7
144	2966.7	13.724	0	0.0009				1170.3
145	4278.5	13.838	0	0.0013				931.1
146	3561	13.893	0	0.0011				1297
147	1989.7	13.973	0	0.0006				710.9
148	1566.4	14.019	0	0.0005				847.6
149	4458.1	14.067	0	0.0014				1267.3
150	2224.2	14.127	0	0.0007				878.6
151	5453	14.218	0	0.0017				1278.6
152	39872.8	14.311	0	0.0125	12	C16:1	ppm	10931.1
153	4506	14.424	0	0.0014				1106.7
154	99641.4	14.544	0	0.0313	13	C16:0	ppm	37567.8
155	18376.9	14.68	0	0.0058				5612.5
156	12207.8	14.868	0	0.0038				1911.8
157	7811.1	14.958	0	0.0025				1305.4
158	5259.5	15.102	0	0.0017				1071.4
159	34145.5	15.209	0	0.0107				11129.2
160	13567.7	15.276	0	0.0043				4219.9
161	4133.6	15.349	0	0.0013	14	C17:1-10	ppm	1148
162	2996	15.457	0	0.0009				798.6
163	3046.6	15.533	0	0.001	15	C17:0	ppm	1083.2
164	4192.1	15.648	0	0.0013				622.7
165	2805.4	15.788	0	0.0009				611.3
166	3590.4	15.879	0	0.0011				1023.5
167	3236.8	15.964	0	0.001				972.6
168	6289.9	16.066	0	0.002	16	C18:3 n-3	ppm	1088.6
169	10346.5	16.163	0	0.0033	17	C18:2 n-6	ppm	3918.9
170	77514.4	16.229	0	0.0244				26533.6
171	13713.8	16.348	0	0.0043	19	C18:2 n-6c	ppm	4262
172	3704.5	16.427	0	0.0012				1265.7
173	25464.5	16.502	0	0.008	20	C18:1-9 trans	ppm	8869.1
174	7486.5	16.628	0	0.0024				1432.4
175	2226.3	16.665	0	0.0007				1132.7
176	5481.1	16.729	0	0.0017				1064.5

177	3545	16.864	0	0.0011				1043.3
178	7627.6	16.95	0	0.0024				1814.1
179	1837.3	17.011	0	0.0006				1076.7
180	37053.4	17.174	0	0.0116				9449.6
181	14367.4	17.237	0	0.0045				4541.2
182	7775.8	17.32	0	0.0024				1605.2
183	4391.6	17.449	0	0.0014				834.5
184	4726	17.634	0	0.0015				1253.7
185	1831.4	17.757	0	0.0006				463.8
186	3692.9	17.823	0	0.0012	21	C18:1-9 cis	ppm	1164.5
187	7896.1	17.892	0	0.0025	22	C18:0	ppm	2118.8
188	2791.2	18.002	0	0.0009	23	C20:4 n-6	ppm	863.4
189	5648.2	18.235	0	0.0018				1433.9
190	12848.4	18.315	0	0.004	24	C20:5 n-3	ppm	3716.1
191	2169.1	18.411	0	0.0007	25	C20:3 n-6	ppm	766.7
192	3523.4	18.471	0	0.0011				1015.9
193	1846.3	18.555	0	0.0006				584.3
194	1277.3	18.623	0	0.0004				449
195	4358.5	18.738	0	0.0014	26	C20:2 n-6	ppm	1000.7
196	8971.3	18.882	0	0.0028				1586.2
197	1962.7	19.031	0	0.0006				674.7
198	2824.8	19.083	0	0.0009				936.3
199	4527.2	19.132	0	0.0014				1363.7
200	2021.4	19.209	0	0.0006				1061.6
201	4167.8	19.272	0	0.0013				1149.2
202	199246.8	19.432	0	0.0626				49433.4
203	8464.8	19.557	0	0.0027				1776.6
204	5079.7	19.708	0	0.0016				1056.6
205	5230.1	19.794	0	0.0016				1503.5
206	6233.7	19.897	0	0.002	27	C20:3 n-3	ppm	1292
207	4200.6	20.011	0	0.0013				859
208	1776.7	20.091	0	0.0006	28	C20:1 n-9	ppm	663.4
209	3170.2	20.147	0	0.001				928.3
210	4241	20.199	0	0.0013				1162.3
211	13497.3	20.337	0	0.0042				1439.7
212	4785	20.561	0	0.0015				1031.3
213	19837.6	20.667	0	0.0062	29	C20:0	ppm	4382.1
214	7244.1	20.768	0	0.0023	30	C21:0	ppm	1479.9
215	3628.1	20.856	0	0.0011				1156.2
216	2329.9	20.917	0	0.0007				795.7
217	5615	21.038	0	0.0018				1369
218	4278.9	21.077	0	0.0013	31	C22:6	ppm	1713.5
219	79772.6	21.188	0	0.0251				19337.5
220	3148.5	21.332	0	0.001				1243
221	4654.3	21.395	0	0.0015				1452.4

222	2975.8	21.435	0	0.0009				1211.1
223	1899.9	21.481	0	0.0006				904.1
224	8942.7	21.557	0	0.0028				1196
225	4439.3	21.701	0	0.0014				963.1
226	23662.4	21.848	0	0.0074				4920.6
227	18598.4	21.906	0	0.0058				4485.5
228	2505.6	22.018	0	0.0008				1157.9
229	1628.2	22.121	0	0.0005				770.2
230	2148.4	22.168	0	0.0007				792.5
231	1271.1	22.219	0	0.0004				519.9
232	3687	22.334	0	0.0012	32	C22:2 cis- 13,16	ppm	1152.2
233	3434.6	22.405	0	0.0011				881.1
234	5556.3	22.475	0	0.0017				885
235	4346.4	22.647	0	0.0014				991.4
236	1169.6	22.695	0	0.0004				637.4
237	7974.3	22.834	0	0.0025				1105.9
238	2322	23.005	0	0.0007				650.5
239	2243.4	23.091	0	0.0007				588
240	21749.1	23.188	0	0.0068	33	C22:1-13	ppm	3521.7
241	1317.7	23.464	0	0.0004				433.9
242	59082.1	23.679	0	0.0186	34	C22:0	ppm	10850.6
243	8455.8	23.955	0	0.0027				1684
244	21384.1	24.069	0	0.0067				3131.4
245	2427.6	24.179	0	0.0008				836.3
246	5518.2	24.258	0	0.0017				1473.8
247	40137.2	24.408	0	0.0126				4206.2
248	10166.3	24.631	0	0.0032				1551.5
249	18657.9	24.748	0	0.0059				3273.4
250	4818.6	24.869	0	0.0015				1262.8
251	8331.2	24.947	0	0.0026				2194.6
252	6774	25.061	0	0.0021				1294.9
253	3038.9	25.135	0	0.001				622.9
254	7690.6	25.283	0	0.0024				1741.4
255	7483.7	25.331	0	0.0024				1659.3
256	4916.8	25.482	0	0.0015				948.4
257	6795.2	25.663	0	0.0021				1636.4
258	15359.5	25.738	0	0.0048				2594
259	1989.4	25.854	0	0.0006				710.8
260	2976.3	26.05	0	0.0009				824.1
261	3510.3	26.133	0	0.0011				1228.9
262	4409.5	26.194	0	0.0014				1103.4
263	4096.4	26.361	0	0.0013				625.2
264	1587.1	26.405	0	0.0005				672.1
265	1849.2	26.45	0	0.0006				834

266	3411.2	26.66	0	0.0011				861.2
267	2717.8	26.708	0	0.0009				757.4
268	28312.6	26.977	0	0.0089				4241.1
269	2772.1	27.104	0	0.0009				921.5
270	1355.4	27.338	0	0.0004				436.1
271	2278.1	27.38	0	0.0007				848.2
272	2608.4	27.425	0	0.0008				1103.7
273	2560.3	27.48	0	0.0008				888
274	2241.7	27.576	0	0.0007				605.6
275	2154.2	27.631	0	0.0007				884.4
276	1350.9	27.763	0	0.0004				528.8
277	1462.9	27.813	0	0.0005				703.7
278	50728	27.94	0	0.0159				8758.4
279	13392.9	28.243	0	0.0042				1784.7
280	1973.7	28.428	0	0.0006				549.7
281	5381.1	28.551	0	0.0017				816.3
282	2314.8	28.657	0	0.0007				835.3
283	1518.7	28.733	0	0.0005				462.7
284	1303	28.794	0	0.0004				378.5
285	1365.7	28.845	0	0.0004				571.6
286	3081.8	28.924	0	0.001				891.8
287	1342.3	29.015	0	0.0004				619.3
288	4220	29.183	0	0.0013				1160.8
289	19363.1	29.475	0	0.0061				2842.1
290	4183.4	29.679	0	0.0013				1038.1
291	5540.3	29.816	0	0.0017				877.3
292	1172.4	30.227	0	0.0004				468.9
293	2214.1	30.311	0	0.0007				624.9
294	12032.9	30.402	0	0.0038				2465.4
295	2143.4	30.483	0	0.0007				602.8
296	11367.9	30.59	0	0.0036				2362.5
297	9372.2	30.661	0	0.0029				1827.6
298	2950.6	30.825	0	0.0009				709.9
299	4475.4	30.992	0	0.0014				846.2
300	1662.8	31.22	0	0.0005				433.2
301	2359.4	31.323	0	0.0007				660.7
302	9077.5	31.443	0	0.0029				962.5
303	1133.6	31.603	0	0.0004				606.7
304	3688	31.683	0	0.0012				838
305	2397.2	31.748	0	0.0008				945.8
306	6220.6	31.807	0	0.002				1826
307	26238.4	32.175	0	0.0082	35	C23:0	ppm	5613.5
308	1314.2	32.316	0	0.0004				672.8
309	1458.9	32.387	0	0.0005				666.2
310	1665.4	32.432	0	0.0005				543.1

311	5002.6	32.564	0	0.0016				857.1
312	11081	32.763	0	0.0035				1699.6
313	8111.2	32.945	0	0.0025				1562.9
314	7576.2	33.031	0	0.0024				1350
315	4005.2	33.115	0	0.0013				784.9
316	5186.2	33.3	0	0.0016	36	C24:1	ppm	967.1
317	9143.3	33.453	0	0.0029				1315.9
318	4996.2	33.628	0	0.0016				921.7
319	4218.3	33.691	0	0.0013				928.2
320	1746.2	33.768	0	0.0005				834.5
321	4135.5	33.861	0	0.0013				860
322	2397.8	33.937	0	0.0008				553.3
323	82101.1	34.169	0	0.0258	37	C24:0	ppm	14769.1
324	2039	34.392	0	0.0006				518.9
325	1987.8	34.515	0	0.0006				482
326	3726.4	34.663	0	0.0012				1046.6
327	1948.7	34.725	0	0.0006				660
328	3902.2	34.838	0	0.0012				759.1
329	3196.9	34.91	0	0.001				866.8
330	2403.3	34.973	0	0.0008				873
331	4821.8	35.085	0	0.0015				812.3
332	4128.5	35.142	0	0.0013				1293.1
333	3665.2	35.233	0	0.0012				1164.5
334	2218.1	35.292	0	0.0007				1004.8
335	12651	35.39	0	0.004				1730.5
336	3144.5	35.481	0	0.001				1162.8
337	3946.2	35.586	0	0.0012				1007.2
338	12081.8	35.738	0	0.0038				1405.8
339	4792.5	35.85	0	0.0015				1276.5
340	2689.9	35.887	0	0.0008				1077.5
341	1975.9	35.943	0	0.0006				872.9
342	5017.5	36.032	0	0.0016				819.1
343	1372.5	36.233	0	0.0004				374.2
344	1115	36.309	0	0.0004				425.8
345	1922.8	36.402	0	0.0006				690.4
346	2247.7	36.448	0	0.0007				681.5
347	1823.2	36.52	0	0.0006				986.8
348	4324.1	36.561	0	0.0014				1097.2
349	1989.4	36.648	0	0.0006				924.6
350	1033.3	36.71	0	0.0003				484.2
351	1080.6	36.765	0	0.0003				505.6
352	3274.3	36.836	0	0.001				750
353	3067.9	36.966	0	0.001				597.7
354	1514.6	37.069	0	0.0005				502.6
355	1050.2	37.212	0	0.0003				521.5

356	1064.7	37.516	0	0.0003				314.5
357	1491.1	37.692	0	0.0005				536.1
358	2775.5	37.76	0	0.0009				712.3
359	1310.7	38.232	0	0.0004				191.6
360	1408.1	38.354	0	0.0004				566.1
361	1212	38.447	0	0.0004				570.5
362	2589.1	38.54	0	0.0008				568.7
363	2359	38.732	0	0.0007				766.3
364	3111.2	38.85	0	0.001				535.1
365	3787.6	39.112	0	0.0012				758.8
366	3060.3	39.207	0	0.001				734.1
367	1749.3	39.28	0	0.0005				618.7
368	1775.2	39.601	0	0.0006				563.6
369	1981.1	39.665	0	0.0006				690.1
370	1704.9	39.748	0	0.0005				771.3
371	2493.1	39.803	0	0.0008				849.3
372	2910.7	39.89	0	0.0009				817.6
373	1236.6	40.04	0	0.0004				321.1
374	1800.9	40.194	0	0.0006				606.4
375	3227.3	40.288	0	0.001				588.2
376	1963	40.422	0	0.0006				684.3
377	1024.3	40.699	0	0.0003				385.2
378	2535.2	40.778	0	0.0008				367.5
379	1901.4	40.927	0	0.0006				583.2
380	1738.9	40.976	0	0.0005				549.2
381	1790.3	41.08	0	0.0006				664.9
382	1680	41.126	0	0.0005				610.5
383	1545.1	41.293	0	0.0005				441.6
384	1612.4	41.501	0	0.0005				602
385	4109.5	41.629	0	0.0013				721.7
386	2334.1	41.748	0	0.0007				690.4
387	3956.6	41.884	0	0.0012				613
388	3089.2	42.01	0	0.001				555.8
389	4814	42.254	0	0.0015				624.6
390	2211.6	42.319	0	0.0007				767.6
391	2753.8	42.407	0	0.0009				628.1
392	3409.3	42.504	0	0.0011				663.5
393	1744	42.607	0	0.0005				308.3
394	1007.1	42.759	0	0.0003				556.2
395	1818.6	42.869	0	0.0006				623.9

Tabel C.4 Persentase komposisi FAME Nannochloropsis oculata area peak dari data raw GC-FID Sistem Ko-kultur.

Compound code	A	D	AA	DD	B	E	BB	EE	C2	F	CC	FF
C4:0	84.2867	92.3733	84.2867	97.9312	83.0607	96.2518	98.3809	98.3220	98.4998	98.9978	98.1403	94.5415
C6:0	0.0019	0.0017	0.0019	0.0000	0.0012	0.0000	0.0004	0.0000	0.0009	0.0003	0.0003	0.0007
C8:0	0.0010	0.0006	0.0010	0.0003	0.0022	0.0004	0.0010	0.0000	0.0005	0.0003	0.0006	0.0005
C10:0	0.0018	0.0025	0.0018	0.0009	0.0009	0.0026	0.0005	0.0005	0.0008	0.0004	0.0005	0.0008
C11:0	0.0017	0.0006	0.0017	0.0009	0.0013	0.0007	0.0025	0.0010	0.0006	0.0004	0.0010	0.0012
C12:0	0.0034	0.0008	0.0034	0.0007	0.0013	0.0020	0.0015	0.0007	0.0020	0.0010	0.0007	0.0010
C13:0	0.0024	0.0004	0.0024	0.0014	0.0012	0.0006	0.0004	0.0014	0.0004	0.0004	0.0008	0.0004
C14:0	0.0050	0.0050	0.0050	0.0004	0.0017	0.0013	0.0020	0.0008	0.0018	0.0013	0.0007	0.0013
C14:1	0.0008	0.0031	0.0008	0.0006	0.0022	0.0016	0.0003	0.0007	0.0006	0.0019	0.0003	0.0004
C15:0	0.0049	0.0017	0.0049	0.0013	0.0031	0.0012	0.0009	0.0007	0.0020	0.0009	0.0016	0.0009
C15:1	0.0014	0.0011	0.0014	0.0010	0.0018	0.0009	0.0003	0.0009	0.0017	0.0015	0.0003	0.0003
C16:0	0.0338	0.0313	0.0338	0.0045	0.0140	0.0147	0.0177	0.0096	0.0234	0.0117	0.0031	0.0132
C16:1	0.0147	0.0125	0.0147	0.0008	0.0080	0.0083	0.0087	0.0068	0.0076	0.0042	0.0045	0.0079
C17:0	0.0008	0.0010	0.0008	0.0015	0.0016	0.0040	0.0019	0.0006	0.0006	0.0004	0.0010	0.0029
C17:1-10	0.0021	0.0013	0.0021	0.0040	0.0007	0.0027	0.0010	0.0012	0.0014	0.0005	0.0017	0.0019
C18:0	0.0024	0.0025	0.0024	0.0008	0.0016	0.0135	0.0017	0.0042	0.0029	0.0012	0.0022	0.0071
C18:1-9 cis	0.0024	0.0012	0.0024	0.0018	0.0012	0.0055	0.0021	0.0000	0.0027	0.0015	0.0008	0.0053
C18:1-9 trans	0.0056	0.0080	0.0056	0.0005	0.0046	0.0024	0.0051	0.0013	0.0044	0.0027	0.0008	0.0022
C18:2 n-6	0.0056	0.0033	0.0000	0.0042	0.0021	0.0249	0.0029	0.0000	0.0030	0.0096	0.0129	0.0033
C18:2 n-6c	0.0056	0.0043	0.0056	0.0032	0.0034	0.0056	0.0025	0.0010	0.0031	0.0023	0.0021	0.0047
C18:2 n-6t	0.0207	0.0000	0.0207	0.0000	0.0136	0.0000	0.0000	0.0172	0.0190	0.0000	0.0000	0.0252
C18:3 n-3	0.0005	0.0020	0.0005	0.0021	0.0039	0.0030	0.0006	0.0018	0.0010	0.0011	0.0012	0.0016
C20:0	0.0060	0.0062	0.0060	0.0067	0.0135	0.0664	0.0416	0.0629	0.0087	0.0039	0.0536	0.0950
C20:1 n-9	0.0005	0.0006	0.0005	0.0006	0.0007	0.0120	0.0012	0.0045	0.0009	0.0006	0.0056	0.0113
C20:2 n-6	0.0011	0.0014	0.0011	0.0012	0.0008	0.0237	0.0041	0.0105	0.0010	0.0026	0.0000	0.0210

C20:3 n-3	0.0025	0.0020	0.0025	0.0008	0.0008	0.0430	0.0008	0.0000	0.0059	0.0007	0.0151	0.0000
C20:3 n-6	0.0006	0.0007	0.0006	0.0005	0.0012	0.0080	0.0010	0.0031	0.0016	0.0021	0.0024	0.0061
C20:4 n-6	0.0020	0.0009	0.0020	0.0031	0.0000	0.0000	0.0028	0.0012	0.0010	0.0013	0.0020	0.0024
C20:5 n-3	0.0035	0.0040	0.0035	0.0088	0.0067	0.0430	0.0262	0.0292	0.0068	0.0013	0.0242	0.0392
C21:0	0.0007	0.0023	0.0007	0.0012	0.0018	0.0249	0.0032	0.0067	0.0024	0.0011	0.0147	0.0346
C22:0	0.0260	0.0186	0.0260	0.0190	0.0040	0.1003	0.0429	0.0103	0.0859	0.0174	0.0406	0.0677
C22:1-13	0.0009	0.0012	0.0009	0.0044	0.0007	0.0073	0.0634	0.0748	0.0014	0.0027	0.0759	0.1335
C22:2	0.0025	0.0186	0.0025	0.0000	0.0030	0.0391	0.0100	0.0169	0.0035	0.0019	0.0196	0.0438
C22:6	0.0016	0.0013	0.0016	0.0195	0.0043	0.0788	0.0050	0.0133	0.0031	0.0018	0.0156	0.0909
C23:0	0.0006	0.0082	0.0006	0.0019	0.0007	0.0050	0.0110	0.0057	0.0012	0.0027	0.0058	0.0346
C24:0	0.0031	0.0258	0.0031	0.0552	0.0345	0.0413	0.0163	0.0005	0.0218	0.0524	0.0007	0.0095
C24:1	0.0005	0.0016	0.0005	0.0010	0.0019	0.0022	0.0007	0.0036	0.0004	0.0006	0.0004	0.0221
Total C12-C24	0.1642	0.1729	0.1586	0.1527	0.1406	0.5872	0.2798	0.2921	0.2232	0.1353	0.3109	0.6913

Tabel C. 5 Persentase komposisi FAME Nannochloropsis oculata area peak dari data raw GC-FID Sistem Aksenik.

Compound code	G	G DUP	GG	GG DUP	H	H DUP	HH	HH DUP	I	I DUP	II	II DUP
C4:0	95.8385	99.1021	96.8450	93.6564	97.0181	99.3143	94.3010	99.4050	96.9240	91.0869	95.1380	94.3732
C6:0	0.0005	0.0004	0.0000	0.0005	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
C8:0	0.0007	0.0009	0.0006	0.0009	0.0003	0.0004	0.0017	0.0007	0.0007	0.0000	0.0004	0.0000
C10:0	0.0007	0.0000	0.0005	0.0000	0.0017	0.0008	0.0034	0.0000	0.0006	0.0000	0.0006	0.0005
C11:0	0.0006	0.0011	0.0004	0.0020	0.0004	0.0005	0.0044	0.0009	0.0014	0.0005	0.0008	0.0006
C12:0	0.0015	0.0058	0.0007	0.0134	0.0003	0.0004	0.0017	0.0007	0.0004	0.0009	0.0014	0.0017
C13:0	0.0008	0.0014	0.0005	0.0003	0.0015	0.0006	0.0011	0.0004	0.0005	0.0006	0.0005	0.0011
C14:0	0.0012	0.0010	0.0007	0.0008	0.0032	0.0015	0.0012	0.0074	0.0027	0.0000	0.0016	0.0037
C14:1	0.0015	0.0004	0.0005	0.0006	0.0020	0.0011	0.0018	0.0004	0.0011	0.0129	0.0008	0.0005
C15:0	0.0012	0.0003	0.0004	0.0004	0.0008	0.0003	0.0005	0.0020	0.0006	0.0007	0.0018	0.0010
C15:1	0.0010	0.0003	0.0008	0.0009	0.0012	0.0006	0.0009	0.0004	0.0012	0.0024	0.0010	0.0011

C16:0	0.0101	0.0043	0.0033	0.0084	0.0215	0.0089	0.0004	0.0109	0.0117	0.0018	0.0215	0.0021
C16:1	0.0087	0.0023	0.0010	0.0006	0.0170	0.0141	0.0020	0.0004	0.0101	0.0010	0.0079	0.0189
C17:0	0.0010	0.0004	0.0027	0.0011	0.0004	0.0005	0.0004	0.0017	0.0004	0.0015	0.0010	0.0011
C17:1-10	0.0064	0.0006	0.0016	0.0009	0.0003	0.0008	0.0003	0.0005	0.0008	0.0025	0.0065	0.0015
C18:0	0.0030	0.0009	0.0058	0.0058	0.0045	0.0043	0.0009	0.0008	0.0087	0.0021	0.0018	0.0007
C18:1-9 cis	0.0044	0.0005	0.0039	0.0051	0.0023	0.0012	0.0032	0.0026	0.0064	0.0112	0.0007	0.0022
C18:1-9 trans	0.0011	0.0015	0.0014	0.0061	0.0022	0.0036	0.0020	0.0093	0.0009	0.0079	0.0065	0.0025
C18:2 n-6	0.0005	0.0064	0.0029	0.0127	0.0026	0.0204	0.0091	0.0294	0.0036	0.0837	0.0026	0.0205
C18:2 n-6c	0.0008	0.0010	0.0038	0.0023	0.0016	0.0007	0.0007	0.0010	0.0038	0.0000	0.0000	0.0006
C18:2 n-6t	0.0179	0.0000	0.0171	0.0000	0.0232	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.0000	0.0251	0.0000
C18:3 n-3	0.0011	0.0004	0.0019	0.0009	0.0004	0.0000	0.0010	0.0040	0.0019	0.0083	0.0003	0.0004
C20:0	0.0631	0.0203	0.0881	0.0661	0.0740	0.0042	0.0008	0.0039	0.0920	0.0004	0.0616	0.0052
C20:1 n-9	0.0086	0.0015	0.0066	0.0038	0.0073	0.0003	0.0005	0.0007	0.0116	0.0011	0.0111	0.0006
C20:2 n-6	0.0085	0.0010	0.0258	0.0102	0.0078	0.0004	0.0009	0.0007	0.0215	0.0005	0.0090	0.0008
C20:3 n-3	0.0000	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0306	0.0155	0.0016
C20:3 n-6	0.0041	0.0000	0.0129	0.0039	0.0035	0.0005	0.0014	0.0000	0.0056	0.0007	0.0055	0.0008
C20:4 n-6	0.0012	0.0000	0.0137	0.0023	0.0108	0.0000	0.0003	0.0000	0.0160	0.0000	0.0010	0.0000
C20:5 n-3	0.0289	0.0109	0.0452	0.0276	0.0414	0.0049	0.0046	0.0029	0.0445	0.0055	0.0256	0.0035
C21:0	0.0115	0.0004	0.0120	0.0038	0.0050	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0099	0.0016
C22:0	0.0239	0.0013	0.0592	0.0551	0.0676	0.0018	0.0097	0.0005	0.0240	0.0072	0.0496	0.0046
C22:1-13	0.0854	0.0004	0.0993	0.0096	0.0900	0.0006	0.0013	0.0061	0.1109	0.0045	0.0078	0.0029
C22:2	0.0413	0.0005	0.0371	0.0245	0.0267	0.0006	0.0009	0.0015	0.0397	0.0004	0.0266	0.0019
C22:6	0.0160	0.0054	0.0077	0.0211	0.0206	0.0012	0.0096	0.0176	0.0214	0.0070	0.0203	0.0033
C23:0	0.0097	0.0021	0.0090	0.0019	0.0062	0.0060	0.0006	0.0047	0.0144	0.0032	0.0239	0.0011
C24:0	0.0006	0.0133	0.0004	0.0040	0.0003	0.0111	0.0007	0.0221	0.0006	0.0032	0.0018	0.0032
C24:1	0.0018	0.0038	0.0046	0.0026	0.0046	0.0000	0.0018	0.0003	0.0011	0.0025	0.0020	0.0019
Total C12-C24	0.3668	0.0899	0.4706	0.2968	0.4508	0.0906	0.0628	0.1333	0.4745	0.2043	0.3522	0.0926

$$\text{New Area (\%)} = \frac{\text{Compound}}{\text{Total C12 – C24}}$$

Tabel C.6 Persentase komposisi FAME Nannochloropsis oculata area normalisasi FA C12-C24 Sistem Ko-kultur

Compound code	A	D	AA	DD	B	E	BB	EE	C2	F	CC	FF
C12:0	2.07%	0.46%	2.14%	0.46%	0.92%	0.34%	0.54%	0.24%	0.90%	0.74%	0.23%	0.14%
C13:0	1.46%	0.23%	1.51%	0.92%	0.85%	0.10%	0.14%	0.48%	0.18%	0.30%	0.26%	0.06%
C14:0	3.05%	2.89%	3.15%	0.26%	1.21%	0.22%	0.71%	0.27%	0.81%	0.96%	0.23%	0.19%
C14:1	0.49%	1.79%	0.50%	0.39%	1.56%	0.27%	0.11%	0.24%	0.27%	1.40%	0.10%	0.06%
C15:0	2.98%	0.98%	3.09%	0.85%	2.20%	0.20%	0.32%	0.24%	0.90%	0.67%	0.51%	0.13%
C15:1	0.85%	0.64%	0.88%	0.65%	1.28%	0.15%	0.11%	0.31%	0.76%	1.11%	0.10%	0.04%
C16:0	20.58%	18.10%	21.31%	2.95%	9.96%	2.50%	6.33%	3.29%	10.48%	8.65%	1.00%	1.91%
C16:1	8.95%	7.23%	9.27%	0.52%	5.69%	1.41%	3.11%	2.33%	3.40%	3.10%	1.45%	1.14%
C17:0	0.49%	0.58%	0.50%	0.98%	1.14%	0.68%	0.68%	0.21%	0.27%	0.30%	0.32%	0.42%
C17:1-10	1.28%	0.75%	1.32%	2.62%	0.50%	0.46%	0.36%	0.41%	0.63%	0.37%	0.55%	0.27%
C18:0	1.46%	1.45%	1.51%	0.52%	1.14%	2.30%	0.61%	1.44%	1.30%	0.89%	0.71%	1.03%
C18:1-9 cis	1.46%	0.69%	1.51%	1.18%	0.85%	0.94%	0.75%	0.00%	1.21%	1.11%	0.26%	0.77%
C18:1-9 trans	3.41%	4.63%	3.53%	0.33%	3.27%	0.41%	1.82%	0.45%	1.97%	2.00%	0.26%	0.32%
C18:2 n-6	3.41%	1.91%	0.00%	2.75%	1.49%	4.24%	1.04%	0.00%	1.34%	7.10%	4.15%	0.48%
C18:2 n-6c	3.41%	2.49%	3.53%	2.10%	2.42%	0.95%	0.89%	0.34%	1.39%	1.70%	0.68%	0.68%
C18:2 n-6t	12.61%	0.00%	13.05%	0.00%	9.67%	0.00%	0.00%	5.89%	8.51%	0.00%	0.00%	3.65%
C18:3 n-3	0.30%	1.16%	0.32%	1.38%	2.77%	0.51%	0.21%	0.62%	0.45%	0.81%	0.39%	0.23%
C20:0	3.65%	3.59%	3.78%	4.39%	9.60%	11.31%	14.87%	21.53%	3.90%	2.88%	17.24%	13.74%
C20:1 n-9	0.30%	0.35%	0.32%	0.39%	0.50%	2.04%	0.43%	1.54%	0.40%	0.44%	1.80%	1.63%
C20:2 n-6	0.67%	0.81%	0.69%	0.79%	0.57%	4.04%	1.47%	3.59%	0.45%	1.92%	0.00%	3.04%
C20:3 n-3	1.52%	1.16%	1.58%	0.52%	0.57%	7.32%	0.29%	0.00%	2.64%	0.52%	4.86%	0.00%

C20:3 n-6	0.37%	0.40%	0.38%	0.33%	0.85%	1.36%	0.36%	1.06%	0.72%	1.55%	0.77%	0.88%
C20:4 n-6	1.22%	0.52%	1.26%	2.03%	0.00%	0.00%	1.00%	0.41%	0.45%	0.96%	0.64%	0.35%
C20:5 n-3	2.13%	2.31%	2.21%	5.76%	4.77%	7.32%	9.36%	10.00%	3.05%	0.96%	7.78%	5.67%
C21:0	0.43%	1.33%	0.44%	0.79%	1.28%	4.24%	1.14%	2.29%	1.08%	0.81%	4.73%	5.01%
C22:0	15.83%	10.76%	16.39%	12.44%	2.84%	17.08%	15.33%	3.53%	38.48%	12.86%	13.06%	9.79%
C22:1-13	0.55%	0.69%	0.57%	2.88%	0.50%	1.24%	22.66%	25.61%	0.63%	2.00%	24.41%	19.31%
C22:2	1.52%	10.76%	1.58%	0.00%	2.13%	6.66%	3.57%	5.79%	1.57%	1.40%	6.30%	6.34%
C22:6	0.97%	0.75%	1.01%	12.77%	3.06%	13.42%	1.79%	4.55%	1.39%	1.33%	5.02%	13.15%
C23:0	0.37%	4.74%	0.38%	1.24%	0.50%	0.85%	3.93%	1.95%	0.54%	2.00%	1.87%	5.01%
C24:0	1.89%	14.92%	1.95%	36.15%	24.54%	7.03%	5.83%	0.17%	9.77%	38.73%	0.23%	1.37%
C24:1	0.30%	0.93%	0.32%	0.65%	1.35%	0.37%	0.25%	1.23%	0.18%	0.44%	0.13%	3.20%
Total C12-C24	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ΣSFA	54%	60%	56%	62%	56%	47%	50%	36%	69%	70%	40%	39%
ΣMUFA	18%	18%	18%	10%	16%	7%	30%	32%	9%	12%	29%	27%
ΣPUFA	28%	22%	26%	28%	28%	46%	20%	32%	22%	18%	31%	34%

Tabel C.7 Persentase komposisi FAME Nannochloropsis oculata area normalisasi FA C12-C24 Sistem Aksenik

Compound code	G	G DUP	GG	GG DUP	H	H DUP	HH	HH DUP	I	I DUP	II	II DUP
C12:0	0.41%	6.45%	0.15%	4.51%	0.07%	0.44%	2.71%	0.53%	0.08%	0.44%	0.40%	1.84%
C13:0	0.22%	1.56%	0.11%	0.10%	0.33%	0.66%	1.75%	0.30%	0.11%	0.29%	0.14%	1.19%
C14:0	0.33%	1.11%	0.15%	0.27%	0.71%	1.66%	1.91%	5.55%	0.57%	0.00%	0.45%	4.00%
C14:1	0.41%	0.44%	0.11%	0.20%	0.44%	1.21%	2.87%	0.30%	0.23%	6.31%	0.23%	0.54%
C15:0	0.33%	0.33%	0.08%	0.13%	0.18%	0.33%	0.80%	1.50%	0.13%	0.34%	0.51%	1.08%
C15:1	0.27%	0.33%	0.17%	0.30%	0.27%	0.66%	1.43%	0.30%	0.25%	1.17%	0.28%	1.19%
C16:0	2.75%	4.78%	0.70%	2.83%	4.77%	9.82%	0.64%	8.18%	2.47%	0.88%	6.10%	2.27%
C16:1	2.37%	2.56%	0.21%	0.20%	3.77%	15.56%	3.18%	0.30%	2.13%	0.49%	2.24%	20.41%

C17:0	0.27%	0.44%	0.57%	0.37%	0.09%	0.55%	0.64%	1.28%	0.08%	0.73%	0.28%	1.19%
C17:1-10	1.74%	0.67%	0.34%	0.30%	0.07%	0.88%	0.48%	0.38%	0.17%	1.22%	1.85%	1.62%
C18:0	0.82%	1.00%	1.23%	1.95%	1.00%	4.75%	1.43%	0.60%	1.83%	1.03%	0.51%	0.76%
C18:1-9 cis	1.20%	0.56%	0.83%	1.72%	0.51%	1.32%	5.10%	1.95%	1.35%	5.48%	0.20%	2.38%
C18:1-9 trans	0.30%	1.67%	0.30%	2.06%	0.49%	3.97%	3.18%	6.98%	0.19%	3.87%	1.85%	2.70%
C18:2 n-6	0.14%	7.12%	0.62%	4.28%	0.58%	22.52%	14.49%	22.06%	0.76%	40.97%	0.74%	22.14%
C18:2 n-6c	0.22%	1.11%	0.81%	0.77%	0.35%	0.77%	1.11%	0.75%	0.80%	0.00%	0.00%	0.65%
C18:2 n-6t	4.88%	0.00%	3.63%	0.00%	5.15%	0.00%	0.00%	0.00%	3.46%	0.00%	7.13%	0.00%
C18:3 n-3	0.30%	0.44%	0.40%	0.30%	0.09%	0.00%	1.59%	3.00%	0.40%	4.06%	0.09%	0.43%
C20:0	17.20%	22.58%	18.72%	22.27%	16.42%	4.64%	1.27%	2.93%	19.39%	0.20%	17.49%	5.62%
C20:1 n-9	2.34%	1.67%	1.40%	1.28%	1.62%	0.33%	0.80%	0.53%	2.44%	0.54%	3.15%	0.65%
C20:2 n-6	2.32%	1.11%	5.48%	3.44%	1.73%	0.44%	1.43%	0.53%	4.53%	0.24%	2.56%	0.86%
C20:3 n-3	0.00%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	0.00%	14.98%	4.40%	1.73%
C20:3 n-6	1.12%	0.00%	2.74%	1.31%	0.78%	0.55%	2.23%	0.00%	1.18%	0.34%	1.56%	0.86%
C20:4 n-6	0.33%	0.00%	2.91%	0.77%	2.40%	0.00%	0.48%	0.00%	3.37%	0.00%	0.28%	0.00%
C20:5 n-3	7.88%	12.12%	9.60%	9.30%	9.18%	5.41%	7.32%	2.18%	9.38%	2.69%	7.27%	3.78%
C21:0	3.14%	0.44%	2.55%	1.28%	1.11%	0.00%	3.98%	0.00%	0.00%	0.00%	2.81%	1.73%
C22:0	6.52%	1.45%	12.58%	18.56%	15.00%	1.99%	15.45%	0.38%	5.06%	3.52%	14.08%	4.97%
C22:1-13	23.28%	0.44%	21.10%	3.23%	19.96%	0.66%	2.07%	4.58%	23.37%	2.20%	2.21%	3.13%
C22:2	11.26%	0.56%	7.88%	8.25%	5.92%	0.66%	1.43%	1.13%	8.37%	0.20%	7.55%	2.05%
C22:6	4.36%	6.01%	1.64%	7.11%	4.57%	1.32%	15.29%	13.20%	4.51%	3.43%	5.76%	3.56%
C23:0	2.64%	2.34%	1.91%	0.64%	1.38%	6.62%	0.96%	3.53%	3.03%	1.57%	6.79%	1.19%
C24:0	0.16%	14.79%	0.08%	1.35%	0.07%	12.25%	1.11%	16.58%	0.13%	1.57%	0.51%	3.46%
C24:1	0.49%	4.23%	0.98%	0.88%	1.02%	0.00%	2.87%	0.23%	0.23%	1.22%	0.57%	2.05%
Total C12-C24	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
ΣSFA	34.79%	57.29%	38.84%	54.28%	41.10%	43.71%	32.64%	41.34%	32.88%	10.57%	50.09%	29.27%
ΣMUFA	32.42%	12.57%	25.44%	10.18%	28.15%	24.61%	21.97%	15.53%	30.37%	22.52%	12.58%	34.67%
ΣPUFA	32.80%	30.14%	35.72%	35.55%	30.75%	31.68%	45.38%	43.14%	36.75%	66.91%	37.34%	36.07%

Dietary fibre means carbohydrate polymers⁶ with ten or more monomeric units,⁷ which are not hydrolysed by the endogenous enzymes in the small intestine of humans and belong to the following categories:

- edible carbohydrate polymers naturally occurring in the food as consumed;
- carbohydrate polymers, which have been obtained from food raw material by physical, enzymatic or chemical means and which have been shown to have a physiological benefit to health as demonstrated by generally accepted scientific evidence to competent authorities; and
- synthetic carbohydrate polymers which have been shown to have a physiological benefit to health as demonstrated by generally accepted scientific evidence to competent authorities.

Polyunsaturated fatty acids means fatty acids with cis-cis methylene interrupted double bonds.

Trans-fatty acids:⁴ For the purpose of the *Guidelines on nutrition labelling* and other related Codex standards and guidelines, trans-fatty acids are defined as all the geometrical isomers of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids having non-conjugated, interrupted by at least one methylene group, carbon-carbon double bonds in the trans-configuration.

3. NUTRIENT DECLARATION

3.1 Application of nutrient declaration

3.1.1 Nutrient declaration should be mandatory for all pre-packaged foods for which nutrition or health claims, as defined in the *Guidelines for use of nutrition and health claims* (CXG 23-1997),¹ are made.

3.1.2 Nutrient declaration should be mandatory for all other pre-packaged foods except where national circumstances would not support such declarations. Certain foods may be exempted for example, on the basis of nutritional or dietary insignificance or small packaging.

3.2 Listing of nutrients

3.2.1 Where nutrient declaration is applied, the declaration of the following should be mandatory:

- energy value; and
- the amounts of protein, available carbohydrate (i.e. dietary carbohydrate excluding dietary fibre), fat, saturated fat, sodium⁵ and total sugars; and
- the amount of any other nutrient for which a nutrition or health claim is made; and

Gambar C.1 Definisi PUFA pada *Guidelines on Nutritional Labelling Codex Alimentarius International Food standards CXG 2-1985*

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar B.1 Bibit Mikroalga



Gambar B.2 Nutrisi Mikroalga



Gambar B.3 Skema kultur Cahaya putih



Gambar B.4 Skema Kultur Cahaya Merah



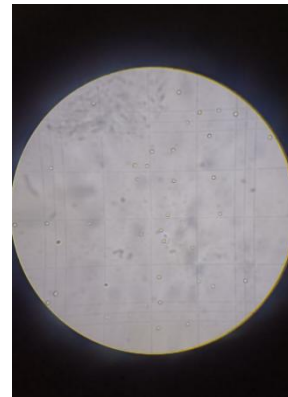
Gambar B.5 Skema Kultur Cahaya Biru-Hijau



Gambar B.6 Cek Salinitas



Gambar B.7 Pengecekan pH Mikroalga



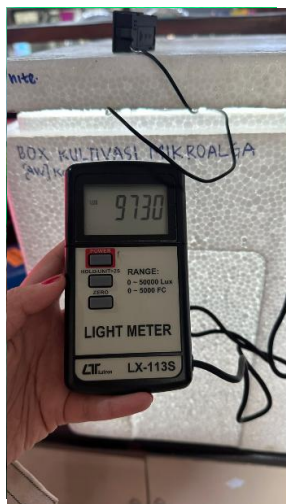
Gambar B.8 Perhitungan sel Mikroalga



Gambar B.9 Skema Alat Ekstraksi



Gambar B .10 Skema Alat Distilasi



Gambar B.11 Pengecekan Lux Cahaya



Gambar B.12 Hasil Cetrifuge Mikroalga



Gambar B.13 POME sebelum di filter



Gambar B.14 Proses Praperlakuan POME



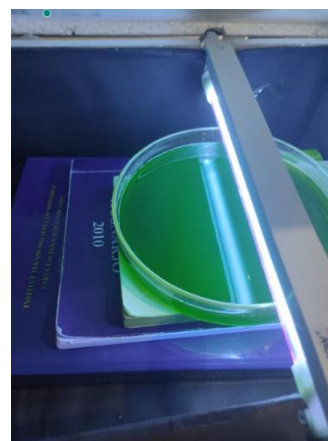
Gambar B.15 Hasil Pretreatment POME



Gambar B.16 Sampel Hasil Rotary Evaporator



Gambar B.17 Proses Centrifuge



Gambar B.18 Proses Mutasi UV-C



Gambar B.19 Intensitas Lampu UV-C

LAMPIRAN C

HASIL ANALISIS

1. Hasil analisis Kandungan pada *raw Palm Oil Mill Effluent* (POME)

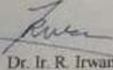
 **LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN**
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEFON (031)5948886 FAX. (031)5938387

DATA ANALISA CUPLIKAN

Pengirim : Sdri. Karenina
Dikirim Tanggal : 18 Nopember 2024
Sampel : POME

Paramter	Satuan	Hasil Analisis	Metoda Analisis
COD	mg/L O ₂	40.000,00	Refluks
BOD	mg/L O ₂	21.384,00	Winkler
N	mg/L NH ₃ -N	1.160,95	Kjeldahl
P	mg/L PO ₄ -P	941,30	Spektrofotometri
Karbon	mg/L C	23.868,00	Gravimetri

Surabaya, 26 Nopember 2024
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS


Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT
NIP. 196505081993031001

Catatan :
Laporan ini dibuat untuk cuplikan yang diterima laboratorium kami

2. Hasil analisis Kandungan pada POME yang sudah di Praperlakuan



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA
 TELEPON (031)5948886 FAX. (031)5938387

DATA ANALISA CUPLIKAN

Pengirim : Sdri. Karenina
 Dikirim Tanggal : 22 Nopember 2024
 Sampel : POME

Paramter	Satuan	Hasil Analisis	Metoda Analisis
COD	mg/L O ₂	37.600,00	Refluks
BOD	mg/L O ₂	19.724,00	Winkler
N	mg/L NH ₃ -N	621,86	Kjeldahl
P	mg/L PO ₄ -P	502,84	Spektrofotometri
Karbon	mg/L C	23.166,00	Gravimetri

Surabaya, 28 Nopember 2024
 Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
 Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS


 Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT
 NIP. 196505081993031001

Catatan :
 Laporan ini dibuat untuk cuplikan yang
 diterima laboratorium kami

3. Hasil Analisis GC-MS Pada Sampel Variabel Cahaya Merah Termutasi Percobaan ke-2

ANALYTICAL REPORT

TEKNIK KIMIA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JL. TEKNIK KIMIA, KEPUTIH, KEC. SUKOLILO
SURABAYA, INDONESIA



Scan QR to check the authenticity of the Analytical Report

Sample Code : 058-2025-00008785
Matrix : Lipid Mikroalga
Packaging : 1 milliliter (Vial)
Sample Reference : Lipid Mikroalga
Sample reception date : 26/03/2025
Client due date : 16/04/2025
Analysis Time : 08/04/2025 - 14/04/2025

PARAMETERS	UNIT	RESULTS
DL089 DL Fatty acid Test Method: Internal Method TM/3/1/1 (GC-FID)		
(H) Saturated fatty acids	%	55.8
(H) C6:0 Caproic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C8:0 Caprylic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C10:0 Capric acid	%	0.857
(H) C11:0 Undecanoic acid	%	0.829
(H) C12:0 Lauric acid	%	1.39
(H) C14:0 Myristic acid	%	4.31
(H) C15:0 Pentadecanoic acid	%	2.28
(H) C16:0 Palmitic acid	%	35.0
(H) C17:0 Heptadecanoic acid	%	1.95
(H) C18:0 Stearic acid	%	4.80
(H) C20:0 Arachidic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C21:0 Heneicosanoic acid	%	4.41
(H) C22:0 Behenic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C24:0 Lignoceric acid	%	Not detected (<0.002)
(H) Unsaturated fatty acid	%	44.2
(H) Monounsaturated fatty acids	%	28.9
(H) C14:1 Myristoleic acid	%	Not detected (<0.002)

PT. EUROFINS ANGLER BIOCHEMLAB

Head Office and Laboratory
Jl. Sawah Putih 17-18, Grogol, Tangerang
Surabaya - Indonesia, 60218
Email: info-eid@eurofinsid.com
Phone: +62 31 7480111

Branch Office
Era Prima Warehouse and Industrial Area
Jl. Raya Darmasat Klaten Km 21 No 1 Blok N20
Kec. Batusugeng, Tanggung - Indonesia, 55122

4. Hasil Analisis GC-MS Pada sampel Variabel Cahaya Merah Alami Percobaan ke-2

ANALYTICAL REPORT

TEKNIK KIMIA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JL. TEKNIK KIMIA, KEPUTIH, KEC. SUKOLILO
SURABAYA, INDONESIA



Scan QR to check the authenticity of the Analytical Report

Sample Code : 058-2025-00008785
Matrix : Lipid Mikroalga
Packaging : 1 milliliter (Vial)
Sample Reference : Lipid Mikroalga
Sample reception date : 26/03/2025
Client due date : 16/04/2025
Analysis Time : 08/04/2025 - 14/04/2025

PARAMETERS	UNIT	RESULTS
DL089 DL Fatty acid Test Method: Internal Method TM/3/1/1 (GC-FID)		
(H) Saturated fatty acids	%	55.8
(H) C6:0 Caproic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C8:0 Caprylic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C10:0 Capric acid	%	0.857
(H) C11:0 Undecanoic acid	%	0.829
(H) C12:0 Lauric acid	%	1.39
(H) C14:0 Myristic acid	%	4.31
(H) C15:0 Pentadecanoic acid	%	2.28
(H) C16:0 Palmitic acid	%	35.0
(H) C17:0 Heptadecanoic acid	%	1.95
(H) C18:0 Stearic acid	%	4.80
(H) C20:0 Arachidic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C21:0 Heneicosanoic acid	%	4.41
(H) C22:0 Behenic acid	%	Not detected (<0.002)
(H) C24:0 Lignoceric acid	%	Not detected (<0.002)
(H) Unsaturated fatty acid	%	44.2
(H) Monounsaturated fatty acids	%	28.9
(H) C14:1 Myristoleic acid	%	Not detected (<0.002)

PT. EUROFINS ANGLER BIOCHEMLAB

5. Hasil Analisis GC-MS Pada Sampel Variabel Cahaya Merah Termutasi Percobaan ke-3



Angler BioChemLab




ISO / IEC 17025:2017 Accredited

7.8/F/7/1 Rev. 3/0
Page 1 / 3

Analytical Report Code: AR-25-DL-015453-01 / EUID004-00011266

ANALYTICAL REPORT

TEKNIK KIMIA INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 JL. TEKNIK KIMIA, KEPUTIH, KEC. SUKOLILO
 SURABAYA, INDONESIA

Sample Code : 658-2025-00015640
 Matrix : Palm Oil Mill Effluent
 Packaging : 1 Vial
 Sample Reference : POME
 Merah Mutasi

Sample reception date : 05/06/2025
 Client due date : 12/06/2025
 Analysis Time : 06/06/2025 - 11/06/2025



Scan QR to check the authenticity
of the Analytical Report

PARAMETERS	UNIT	RESULTS
DL066 DL Fatty acid		
Test Method: Internal Method TM/1/3/1/1 (GC-FID)		
(a) Saturated fatty acids	%	49.0
(a) C6:0 Caproic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C8:0 Caprylic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C10:0 Capric acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C11:0 Undecanoic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C12:0 Lauric acid	%	0.362
(a) C14:0 Myristic acid	%	7.47
(a) C15:0 Pentadecanoic acid	%	0.559
(a) C16:0 Palmitic acid	%	37.8
(a) C17:0 Heptadecanoic acid	%	0.338
(a) C18:0 Stearic acid	%	2.49
(a) C20:0 Arachidic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C21:0 Heneicosanoic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C22:0 Behenic acid	%	Not detected (<0.002)
(a) C24:0 Lignoceric acid	%	Not detected (<0.002)

PT. EUROFINS ANGLER BIOCHEMLAB
www.eurofins.id

Head Office and Laboratory
 Jl. Sateo No.17-19, Beningsih, Gambakarep
 Surabaya - Indonesia, 60218
 Email: info.k02@eurofinsasia.com
 Phone: +62 31 7450311

Branch Office
 Kawasan Industri Jababeka V
 Jalan Science Timur 3 Jababeka Row 20,
 TOB BSB Nomor 9 - Jababeka Phase 5, Cikarang Kota Jababeka
 West - Indonesia 40135

BIOGRAFI PENULIS



Karenina Anisya Pratiwi S.Tr.T. lahir di Banyuwangi, Jawa Timur, pada tanggal 12 Maret 2000. Penulis menempuh pendidikan formal sejak tahun 2006 di SD Al-Falah Darussalam Sidoarjo, dilanjutkan di SMPN 1 Sidoarjo, dan SMAN 1 Sidoarjo. Pendidikan tinggi jenjang sarjana diselesaikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, pada Program Studi Teknik Rekayasa Kimia Industri. Dalam rangka memenuhi syarat kelulusan sebagai Magister Teknik, penulis telah menyelesaikan tesis dengan judul “Peningkatan Lipid dan PUFA pada *Nannochloropsis oculata* melalui Mutagenesis, Ko-Kultur, dan Manipulasi Spektrum Cahaya dalam Media POME” dengan dosen pembimbing 1 Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.eng., IPM dan dosen pembimbing 2 Dr. M Maktum Muharja Al Fajri, S.T. Apabila terdapat kritik dan saran dapat disampaikan melalui e-mail pratiwikareninaanisya@gmail.com