

86

**KINETIKA PRODUKSI BIOMASSA KULTUR CAMPURAN
BAKTERI FOTOSINTETIK ANOKSIGENIK PA₁₁ DAN PL₁
MENGUNAKAN MEDIA SINTETIK DAN KOMPLEKS**

Oleh

ARNANTO

F 31.0057



1998

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

ARNANTO, F 31.0057. Kinetika Produksi Biomassa Kultur Campuran Bakteri Fotosintetik Anoksigenik PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media Sintetik dan Kompleks Di bawah bimbingan Khaswar Syamsu

RINGKASAN

Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA) merupakan kelompok bakteri yang ramah lingkungan dan sangat adaptif, dapat tumbuh secara fakultatif anaerob dengan mengkonsumsi senyawa organik maupun anorganik. Biomassa BFA dapat dijadikan pakan alternatif yang diketahui mengandung protein tinggi dengan komposisi asam-asam amino seimbang, vitamin B₂, B₆, B₁₂ dan E, serta fotopigmen bakterio-klorofil-a (Bchl-a) dan karotenoid.

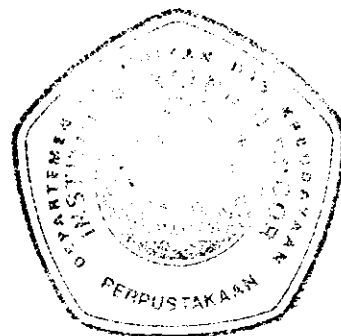
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinetika sinergistik kultur campuran dua galur terbaik yang merupakan isolat lokal yaitu PA₁₁ dan PL₁ dan mengkaji penggunaan media kompleks sebagai media alternatif yang murah dan menghasilkan biomassa maksimum yang tinggi.

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu pertama kultivasi kultur murni masing-masing galur, dan kedua kultivasi kultur campuran dengan proporsi 1 : 1, 1 : 3, dan 3 : 1. Masing-masing kultivasi dilakukan baik pada media sintetik maupun media kompleks. Kultivasi dilakukan dengan menggunakan erlenmeyer 100 ml dengan volume kerja 80 mL (mikroaerofilik), menggunakan *shaker water bath* pada agitasi 150 rpm, iluminasi menggunakan lampu tungsten 40 watt pada jarak 20 cm. Lama kultivasi dilakukan sampai fase stasioner tercapai. Pengamatan dilakukan dalam rentang waktu 4 jam sekali terhadap OD, pH, biomassa, total sel, karotenoid, dan sisa substrat (protein untuk media kompleks dan Total N untuk media sintetik).

Pola pertumbuhan PA₁₁ dan PL₁ adalah : fase lag 0-20 jam, fase eksponensial 20-48 jam, fase stasioner 48-56 jam dan fase penurunan diatas jam ke-56. Kultivasi kultur murni menggunakan media sintetik (RCV) menghasilkan biomassa maksimum 1.287 g/L (PA₁₁), 1.180 g/L (PL₁); μ 0.018 jam⁻¹ (baik PA₁₁ maupun PL₁), Y_{xs} (PA₁₁) 12.655 g sel/g N, Y_{xs} (PL₁) 16.273 g/g N. Kandungan Karotenoid merah 0.132 mg/g sel (PA₁₁), 0.069 mg/g sel (PL₁); karotenoid kuning 0.106 mg/g sel (PA₁₁), 0.055 mg/g sel (PL₁). Sedangkan kultivasi menggunakan media kompleks (Limbah cair tahu LCT) biomassa maksimum 1.200 g/L (PA₁₁), 1.323 g/L (PL₁); μ 0.017 jam⁻¹ (PA₁₁), 0.020 jam⁻¹ (PL₁), Y_{xs} (PA₁₁) 3.208 g sel/g protein, Y_{xs} (PL₁) 1.200 g sel/g protein, kandungan karotenoid merah 0.104 mg/g sel (PA₁₁), 0.035 mg/g sel (PL₁); karotenoid kuning 0.084 mg/g sel (PA₁₁), 0.028 mg/g sel (PL₁). Fase eksponensial kultur murni adalah 4-76 jam, baik kultivasi menggunakan media RCV maupun LCT.

Kinetika kultivasi kultur campuran menggunakan media RCV menghasilkan biomassa maksimum 1.793 g/L, 1.820 g/L, 2.060 g/L (perbandingan PA₁₁ dan PL₁ = 1 : 1, 1 : 3, dan 3 : 1). Dengan basis perhitungan total sel menghasilkan μ (total)

0.040 jam⁻¹, 0.048 jam⁻¹, 0.042 jam⁻¹; μ (PA₁₁) 0.042 jam⁻¹, 0.058 jam⁻¹, 0.043 jam⁻¹, μ (PL₁) 0.039 jam⁻¹, 0.043 jam⁻¹, 0.042 jam⁻¹; Y_x, 4.537 g sel/g N, 7.793 g sel/g N, dan 11.045 g sel/g N; karotenoid merah 0.139 mg/g sel, 0.184 mg/g sel, 0.202 mg/g sel, karotenoid kuning 0.111 mg/g sel, 0.147 mg/g sel, 0.163 mg/g sel. Sedangkan kultivasi menggunakan media LCT menghasilkan biomassa maksimum 1.787 g/L, 1.887 g/L, 1.800 g/L; μ (total) 0.034 jam⁻¹, 0.034 jam⁻¹, 0.038 jam⁻¹, μ (PA₁₁) 0.035 jam⁻¹, 0.035 jam⁻¹, 0.037 jam⁻¹, μ (PL₁) 0.034 jam⁻¹, 0.033 jam⁻¹, 0.042 jam⁻¹, Y_x, 0.480 g sel/g protein, 0.605 g sel/g protein, dan 0.732 g sel/g protein, karotenoid merah 0.143 mg/g sel, 0.167 mg/g sel, 0.176 mg/g sel; karotenoid kuning 0.113 mg/g sel, 0.122 mg/g sel, 0.141 mg/g sel. Fase eksponensial kultur campuran sekitar 24-128 jam



**KINETIKA PRODUKSI BIOMASSA KULTUR CAMPURAN
BAKTERI FOTOSINTETIK ANOKSIGENIK PA₁₁ DAN PL₁
MENGUNAKAN MEDIA SINTETIK DAN KOMPLEKS**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada jurusan TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

Oleh

ARNANTO

F 31.0057

1998

**FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**



INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN

**KINETIKA PRODUKSI BIOMASSA KULTUR CAMPURAN
BAKTERI FOTOSINTETIK ANOKSIGENIK PA₁₁ DAN PL₁
MENGUNAKAN MEDIA SINTETIK DAN KOMPLEKS**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada jurusan TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR


Oleh

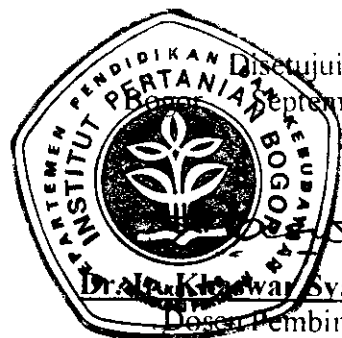
ARNANTO

F 31.0057

Dilahirkan pada tanggal 27 Maret 1976
di Jakarta

Tanggal lulus : 28 September 1998

Disetujui,
28 September 1998

Dr. Arif Khotawar Syamsu, MSc
Dosen Pembimbing



Halaman ini adalah bagian dari dokumen yang diterbitkan oleh Institut Pertanian Bogor (IPB) sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Dokumen ini adalah milik pribadi dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan lain tanpa izin dari Institut Pertanian Bogor.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini

Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

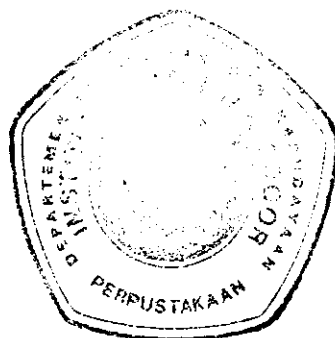
Dengan selesainya skripsi ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada

1. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, MSc selaku dosen pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi
2. Dr. Ir. Helena Yusuf, MSc yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil selama penelitian.
3. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti dan Ir. Erliza Hambali, MSi selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan skripsi
4. Bapak dan Ibu tercinta Drs. Waskam Ardianto dan Maria Elinggawati atas doa restunya selama melaksanakan kuliah.
5. Kakakku Aryanthi, Iwan Wahyudi dan Arie Wibowo yang telah memberikan masukkan-masukkan yang bermanfaat; adikku Ardhityo Ramandha dan keponakanku Andre Pangestu yang selalu menemani.
6. Salmiah dalam kebersamaannya selama ini
7. Mbak Pepy, Mbak Emy, Ibu Sri, Mbak Dwi, Mbak Dewi, Mas Alfi, Adit Ago, Amin, Arfan, Icha, Rifai dan Veggy atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian, seminar, dan ujian sarjana.
8. Tim *Photobioreactor*, *Biocellulose*, *Haluric Acid*, *Biopestisida* dan *Biosurfactan* serta Pogan Family yang kompak.
9. Semua pihak yang tidak sempat ditulis

Semoga skripsi ini bermanfaat dan mendapat ridho dari Allah, SWT.

Bogor, September 1998

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR ISTILAN DAN SINGKATAN	x
I. PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. TUJUAN PENELITIAN	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. BUDIDAYA PERIKANAN AIR TAWAR SECARA INTENSIF	3
B. BAKTERI FOTOSINTETIK ANOKSIGENIK (BFA)	4
C. KONDISI KULTIVASI	6
1. Media Tumbuh	6
2. Intensitas Cahaya	6
3. Temperatur	7
4. pH	7
5. Mineral dan Zat Tumbuh	7
D. KAROTENOID	8
E. LIMBAH CAIR TAHU	8
F. KULTUR CAMPURAN (<i>MIXED CULTURE</i>)	9
G. KINETIKA KULTIVASI KULTUR NIR-SINAMBUNG (<i>BATCH</i>)	9
III. BAHAN DAN METODA	12
A. BAHAN DAN ALAT	12
1. Mikroorganisme	12
2. Media Pertumbuhan	12
3. Alat	13
B. METODOLOGI	13
1. Persiapan Media	13
2. Penelitian Pendahuluan	14
a. Persiapan Kultur Induk	14
b. Penentuan Waktu Propagasi	14
3. Penelitian Utama	14

a. Propagasi 14
b. Kultivasi 15
4. Metoda Analisis 15
a. *Optical Density* 15
b. Berat Kering Biomassa 16
c. Kadar Protein 16
d. Pengukuran pH 17
e. Analisis Karotenoid 17
f. Analisis Nitrogen Total 18
g. Total Sel 18
C. PERMODELAN KINETIKA KULTIVASI 19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 21
A. Waktu Propagasi PA₁₁ dan PL₁ 21
B. Kinetika Kultivasi Kultur Murni 22
1. pH Kultivasi 22
2. Pertumbuhan dan Konsumsi Substrat 24
C. Kinetika Kultivasi Kultur Campuran 31
1. pH Kultivasi 31
2. Pertumbuhan dan Konsumsi Substrat 32
V. KESIMPULAN DAN SARAN 41
A. KESIMPULAN 41
B. SARAN 41
DAFTAR PUSTAKA 42
LAMPIRAN 45

Hak Cipta Penerbit: Universitas
1. Dilindungi sebagai hak cipta sesuai dengan peraturan perundang-undangan dan dipercedakan kepada:
a. Perguruan tinggi untuk kepentingan pendidikan, penelitian, publikasi ilmiah, penyediaan akses bagi para pengajar dan mahasiswa;
b. Masyarakat untuk kepentingan edukasi yang wajar oleh IPB University;
c. Dianggap sepenuhnya dan sepenuhnya sebagai hak cipta sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan IPB University.

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 1.	Data Analisis Proksimat Limbah Cair Tahu	9
Tabel 2.	Komposisi RCV dalam 1 liter	12
Tabel 3.	Komposisi Larutan Mineral Media RCV dalam 250 mL.....	13
Tabel 4.	Karakteristik Pertumbuhan PA ₁₁ dan PL ₁ pada Media RCV dan LCT	25
Tabel 5.	Karakteristik Pertumbuhan Kultur Murni dan Kultur Campuran pada Media RCV	33
Tabel 6.	Karakteristik Pertumbuhan Kultur Murni dan Kultur Campuran pada Media LCT	36

Hal Cipta (Hik) adalah hak kekayaan intelektual yang dimiliki oleh IPB University. Hal Cipta (Hik) ini merupakan aset intelektual dan merupakan sumber daya yang sangat berharga bagi IPB University. Hal Cipta (Hik) ini tidak dapat dipinjamkan, diperjualbelikan, atau diwariskan kepada pihak lain. Hal Cipta (Hik) ini juga tidak dapat digunakan untuk tujuan komersial. Hal Cipta (Hik) ini adalah hak milik IPB University.

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Diagram Potongan Vertikal Ekosistem Aquatik	4
Gambar 2.	Pertumbuhan Kultur Mikroorganismen pada Kondisi Nir-sinambung	11
Gambar 3.	Pola Pertumbuhan PA ₁₁ dan PL ₁	21
Gambar 4.	pH Kultivasi PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media RCV	23
Gambar 5.	pH Kultivasi PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media LCT	24
Gambar 6.	(a) Pembentukan Biomassa, (b) Konsumsi Substrat (Nitrogen) PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media RCV	31
Gambar 7.	(a) Pembentukan Biomassa, (b) Konsumsi Substrat (Protein) PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media LCT	32
Gambar 8.	Warna Kultur (a) PA ₁₁ dan (b) PL ₁ Menggunakan Media RCV Padat	28
Gambar 9.	Warna Kultur (a) PA ₁₁ dan (b) PL ₁ Menggunakan Media RCV Cair	29
Gambar 10.	Biosintesa Karotenoid (a) PA ₁₁ dan (b) PL ₁ Menggunakan Media RCV	30
Gambar 11.	Biosintesa Karotenoid (a) PA ₁₁ dan (b) PL ₁ Menggunakan Media LCT	31
Gambar 12.	pH Kultivasi Kultur Campuran (a) PA ₁₁ : PL ₁ = 1 : 1; (b) 1 : 3; (c) 3 : 1	32
Gambar 13.	Total Sel Kultur Murni (a) Media RCV (b) LCT	33
Gambar 14.	Pembentukan Biomassa, Konsumsi Substrat (Nitrogen), Total Sel, dan Biosintesa Karotenoid Kultur Campuran PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media RCV (a) PA ₁₁ : PL ₁ = 1 : 1; (b) 1 : 3; (c) 3 : 1	35
Gambar 15.	Pembentukan Biomassa, Konsumsi Substrat (Nitrogen), Total Sel, dan Biosintesa Karotenoid Kultur Campuran PA ₁₁ dan PL ₁ Menggunakan Media LCT (a) PA ₁₁ : PL ₁ = 1 : 1; (b) 1 : 3; (c) 3 : 1	37
Gambar 16.	Perbedaan Warna Kultivasi Kultur Campuran pada Akhir Kultivasi, (a) Media RCV; (b) Media LCT	39

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Linearitas OD terhadap Total Sel PA ₁₁ Menggunakan Media RCV	45
Lampiran 2. Kurva Standar Total Sel PA ₁₁ Menggunakan Media RCV	45
Lampiran 3. Linearitas OD terhadap Total Sel PL ₁ Menggunakan Media RCV	46
Lampiran 4. Kurva Standar Total Sel PL ₁ Menggunakan Media RCV	46
Lampiran 5. Linearitas OD terhadap Total Sel PA ₁₁ Menggunakan Media LCT	47
Lampiran 6. Kurva Standar Total Sel PA ₁₁ Menggunakan Media LCT	47
Lampiran 7. Linearitas OD terhadap Total Sel PL ₁ Menggunakan Media LCT	48
Lampiran 8. Kurva Standar Total Sel PL ₁ Menggunakan Media LCT	48
Lampiran 9. Linearitas OD terhadap Kadar Protein (BSA)	49
Lampiran 10. Kurva Standar Protein	49
Lampiran 11. <i>Standard Plate Count</i> (SPC)	50
Lampiran 12. Warna Kultur sebagai Basis Perhitungan Total Sel	51
Lampiran 13. Data Pola Pertumbuhan PA ₁₁ dan PL ₁	52
Lampiran 14. Data Kultivasi PA ₁₁ Menggunakan Media RCV	53
Lampiran 15. Kinetika PA ₁₁ Menggunakan Media RCV	53
Lampiran 16. Kurva Kinetika PA ₁₁ Menggunakan Media RCV	54
Lampiran 17. Data Kultivasi PL ₁ Menggunakan Media RCV	55
Lampiran 18. Kinetika PL ₁ Menggunakan Media RCV	55
Lampiran 19. Kurva Kinetika PL ₁ Menggunakan Media RCV	56
Lampiran 20. Data Kultivasi PA ₁₁ Menggunakan Media LCT	57
Lampiran 21. Kinetika PA ₁₁ Menggunakan Media LCT	57
Lampiran 22. Kurva Kinetika PA ₁₁ Menggunakan Media LCT	58
Lampiran 23. Data Kultivasi PL ₁ Menggunakan Media LCT	59

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

- Antibiotik** : Zat yang digunakan untuk menghambat atau menahan serangan dari bakteri patogen
- BFA** : Bakteri Fotosintetik Anoksigenik
- Desinfektan** : Zat yang digunakan untuk membunuh bakteri patogen
- Fotooksidator** : Proses pembentukan peroksida karena adanya ion radikal bebas yang dipacu dengan cahaya yang tereksitasi tinggi
- Gonad** : Organ pada ikan yang menghasilkan gamet-gamet (beberapa sel yang bersatu membentuk sel-sel yang baru).
- Iluminasi** : Kondisi kultivasi yang menggunakan cahaya.
- Karotenoid** : Kelompok pigmen yang berwarna kuning, jingga, atau merah jingga.
- Kultur Murni** : Kultur yang hanya terdiri dari satu jenis mikroorganisme saja.
- Kultur Campuran** : Kultur yang terdiri dari dua atau lebih jenis mikroorganisme
- Media LCT** : Media kompleks limbah cair tahu
- Media RCV** : Media sintetik yang mempunyai komposisi sesuai untuk pertumbuhan BFA
- PA₁₁** : Isolat BFA yang diisolasi dari air danau di Parung pada letak pemetaan 11 (bentuk pemetaan dapat dilihat pada Lampiran 44)
- PL₁** : Isolat BFA yang diisolasi dari lumpur danau di Parung pada letak pemetaan 1 (Lampiran 44)
- Pakan alternatif** : Pakan pengganti yang mengandung suplemen dengan nilai gizi yang tinggi.
- Pigmen aksesoris** : Pigmen yang mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai penangkap cahaya dan anti fotooksidator.



Hal Cipta Mitr IPB University
 1. Dilindungi sebagai hak cipta Mitr IPB University
 2. Diperoleh dengan izin dari Mitr IPB University
 3. Tidak diperjualbelikan
 4. Pengutipan harus mencantumkan sumber
 5. Tidak diperjualbelikan
 6. Tidak diperjualbelikan
 7. Tidak diperjualbelikan
 8. Tidak diperjualbelikan
 9. Tidak diperjualbelikan
 10. Tidak diperjualbelikan
 11. Tidak diperjualbelikan
 12. Tidak diperjualbelikan
 13. Tidak diperjualbelikan
 14. Tidak diperjualbelikan
 15. Tidak diperjualbelikan
 16. Tidak diperjualbelikan
 17. Tidak diperjualbelikan
 18. Tidak diperjualbelikan
 19. Tidak diperjualbelikan
 20. Tidak diperjualbelikan

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Budidaya perikanan air tawar merupakan salah satu usaha yang potensial dikembangkan di Indonesia, karena spesies lokal (*Heteropneustes fossilis*) yang tersedia mempunyai sifat unggul dalam daya tahan dan kelangsungan hidup. Meskipun demikian, pada kenyataannya masih banyak kendala yang diakibatkan oleh serangan penyakit, penurunan kualitas air dan ekosistem setempat. Hal ini pada akhirnya dapat mempengaruhi tingkat produksi perikanan.

Penanganan penyakit pada budidaya perikanan dengan menggunakan obat-obatan seperti desinfektan dan antibiotik mempunyai resiko tinggi. Manusia yang mengkonsumsi hasil perikanan tersebut di dalam tubuhnya dapat terjadi akumulasi antibiotik, dengan demikian dapat berlanjut pada resistensi terhadap antibiotik yang sama. Desinfektan selain membunuh berbagai jenis organisme di dalam air juga akan membunuh bakteri pengurai, yang sebenarnya dibutuhkan untuk keseimbangan ekosistem setempat.

Bakteri fotosintetik anoksigenik (BFA) merupakan salah satu kelompok bakteri pengurai yang dapat dimanfaatkan sebagai biokondisioner atau biokontrol. Biokondisioner merupakan penggunaan aktivitas mikroorganisme yang bersifat menekan atau memanfaatkan substrat pengganggu (NH_3 , NO_2 , NO_3 , dan H_2S) bagi organisme yang dibudidayakan. Biomassa BFA dapat dijadikan pakan alternatif yang diketahui mengandung protein tinggi dengan komposisi asam-asam amino seimbang, vitamin B₂, B₆, B₁₂ dan E, serta fotopigmen bakterioklorofil-a (Bchl-a) dan karotenoid.

Kemampuan BFA dalam menggunakan H_2S sangat berperan dalam menyempurnakan siklus unsur sulfur. Senyawa H_2S ini banyak dihasilkan pada suatu sistem perairan dengan beban masukan bahan organik yang relatif tinggi, misalnya pada perairan budidaya perikanan air tawar secara intensif. Senyawa

tersebut dapat bersifat racun bagi organisme aerobik dan merupakan salah satu parameter penting yang ikut menentukan tingkat kualitas air

PA₁₁ dan PL₁ merupakan galur BFA yang diketahui mampu mereduksi senyawa-senyawa racun, seperti nitrit, amoniak, dan H₂S. Kedua galur tersebut merupakan isolat lokal yang diisolasi dan dikembangkan oleh Pusat Antar Universitas (PAU) Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor, tetapi kinetika kultivasi belum dipelajari. Teknik evaluasi kultivasi suatu populasi mikroorganisme baik secara kuantitatif maupun kualitatif dapat digunakan untuk memantau dan mengkaji fenomena pertumbuhan

Pada fenomena pertumbuhan, kultur campuran diharapkan lebih baik daripada kultur murni dilihat dari kesinergisannya. Kultur campuran yang tersusun atas dua atau lebih spesies mikroorganisme yang diketahui fungsi metaboliknya, akan mempunyai kemampuan yang lebih baik daripada kultur murni karena adanya suatu kombinasi dalam komunitasnya. Oleh karena itu pembentukan biomassa dari kultur campuran diharapkan dapat memaksimalkan produksi dan konsentrasi produk.

Komposisi media mempunyai peran yang sangat penting dalam memaksimalkan produksi biomassa, karena media mempengaruhi pertumbuhan, pemeliharaan sel, dan kebutuhan energi untuk biosintesa sel. Limbah cair tahu merupakan salah satu media kompleks yang dapat dijadikan sebagai media pertumbuhan BFA. Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Hariyati (1998), diketahui bahwa limbah cair tahu merupakan media kompleks yang potensial untuk pertumbuhan BFA.

B. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinetika produksi biomassa bakteri fotosintetik anoksigenik dan mempelajari perilaku kultur campuran pada media kompleks limbah cair tahu menggunakan isolat PA₁₁ dan PL₁. Sebagai pembanding digunakan pertumbuhan masing-masing isolat dan campuran keduanya pada media sintetik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. BUDIDAYA PERIKANAN AIR TAWAR SECARA INTENSIF

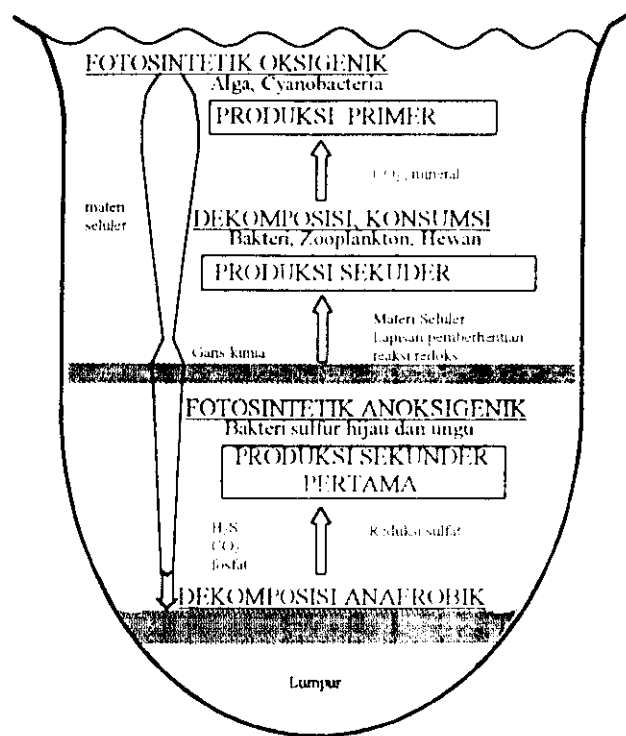
Budidaya perikanan air tawar secara intensif dilakukan dalam kolam yang relatif kecil tetapi padat penebaran. Menurut Djwikusumah (1980), syarat-syarat pemeliharaan secara intensif adalah sifat air yang cukup oksigen (lebih dari 5 ppm) dan pemberian makan dengan komposisi yang cukup gizi (kandungan protein 20-40 % dan cukup vitamin).

Pemberian makanan dengan beban yang cukup tinggi dapat menyebabkan sisa pakan berlebihan pada wadah budidaya. Hal ini akan mengakumulasi kandungan bahan organik yang ada pada kolam. Proses dekomposisi bahan organik selanjutnya akan menghasilkan bahan yang bersifat racun seperti H_2S , NH_3 dan NO_2 . Proses dekomposisi juga memerlukan oksigen, sehingga kadar oksigen pada lingkungan budidaya juga akan menurun. Hal yang lebih parah adalah timbulnya bau yang tidak sedap akibat akumulasi H_2S , dan air menjadi keruh. Keadaan lingkungan yang semakin buruk tersebut akan memberikan kondisi yang menguntungkan untuk pertumbuhan mikroorganisme patogen seperti *Zoothamnium vibrio*, *Acromonas sp.*, *Pseudomonas sp.*, dan lain-lain.

Kekeruhan air mempengaruhi pertumbuhan ikan dan kehidupan jasad-jasad makro dan renik di dalam air. Nilai kekeruhan 40 ppm mulai menurunkan nafsu makan ikan dan pada kekeruhan 110-205 ppm, mengakibatkan mabuk dan kematian atau dengan kata lain menurunkan produktivitas sampai 100 persen. Ikan sangat peka terhadap amoniak dan persenyawaannya. Kandungan serendah 1 ppm saja di dalam air sudah termasuk dalam kategori ancaman (Djwikusumah, 1980).

B BAKTERI FOTOSINTETIK ANOKSIGENIK (BFA)

Bakteri fotosintetik merupakan bakteri ekosistem akuatik yaitu bakteri yang memiliki habitat alami yang khas karena tersebar merata pada air tawar, air laut, danau, serta tambak; bahkan bakteri ini juga dapat ditemukan dalam tanah (Chory dan Kaplan, 1983). Ekosistem akuatik dapat dilihat pada Gambar 1.



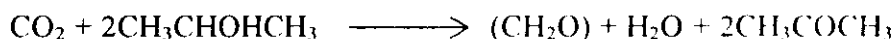
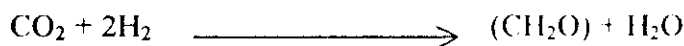
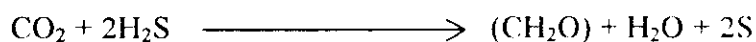
Gambar 1. Diagram Potongan Vertikal Ekosistem Aquatik (Chory dan Kaplan, 1983)

Bakteri fotosintetik anoksigenik (BFA) diketahui telah diteliti sebagai pakan dan biokontrol pada budidaya perikanan, dalam hal ini meliputi ikan dan udang budidaya. Perikanan budidaya air tawar merupakan sektor pertanian yang memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi jika didukung oleh prospek pengembangan usaha yang cukup baik.



Sesuai dengan namanya, maka bakteri fotosintetik dapat bermetabolisme secara fotosintetik. Menurut Shipman *et al.* (1977), fotosintetik adalah salah satu proses biokimia dasar, dimana tanaman, alga, dan beberapa bakteri tertentu mengkonversi energi dari sinar matahari menjadi energi kimia untuk biosintesa selulernya. Fotosintetik tanaman dan beberapa alga berlangsung secara oksigenik, dimana H₂O digunakan sebagai sumber elektron dengan mengoksidasi atom oksigen pada air menjadi O₂. Pada proses fotosintetik ini, klorofil (pigmen warna hijau) sangat berperan dalam menghidrolisis air sebagai tenaga reduksi (H⁺) untuk biosintesa dan pembentukan molekul oksigen. Berbeda halnya dengan BFA yang juga mempunyai kemampuan memanfaatkan cahaya sebagai sumber energi untuk pertumbuhan. BFA tidak menggunakan H₂O sebagai sumber elektron, sehingga tidak menghasilkan oksigen dalam fotosintetik. Menurut Schlegel dan Schmidt (1994), fotosintetik BFA tergantung pada donor hidrogen yang paling tereduksi. Dalam melakukan aktivitas metabolisme beberapa kelompok ini dapat bersifat autotrof atau heterotrof dengan sumber karbon dan penerima elektron dari senyawa organik atau CO₂. Ciri-ciri umum BFA adalah tersebar dalam air tawar maupun air laut, bersel tunggal, berwarna merah, jingga atau hijau. Warna ini disebabkan karena kandungan bakterioklorofil dan senyawa karotenoid.

Menurut Mandelstam *et al.* (1986), bakteri belerang hijau dan bakteri belerang lembayung menggunakan H₂S sebagai donor elektron eksogenous untuk sintesis seluler dari CO₂. Bakteri lembayung non sulfur dapat menggunakan bahan organik sebagai donor elektron. Reaksi fotosintetiknya adalah sebagai berikut



C. KONDISI KULTIVASI

1. Media Tumbuh

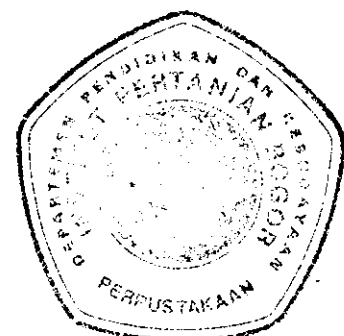
Media yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme harus dapat memenuhi kebutuhan terhadap senyawa karbon, nitrogen, serta beberapa zat pemacu pertumbuhan seperti vitamin dan garam-garam mineral (Casida, 1968)

Mengenai media tumbuh untuk BFA, Shipman *et al.* (1977) telah mengidentifikasi bahwa BFA banyak dikultivasi dalam media ekstrak karbohidrat dari pisang, limbah tepung kentang, sekam gandum, dan sekam padi, juga pada media yang mengandung garam amonium, nitrat, urea, beberapa asam amino, pepton atau ekstrak khamir sebagai sumber N dan C

2. Intensitas Cahaya

Kultur BFA tumbuh cepat bila diiluminasi dan dalam kondisi anaerobik. Cahaya merupakan faktor yang mutlak diperlukan untuk proses fotosintetik BFA, walaupun dalam habitat aslinya BFA hanya sedikit terkena radiasi sinar matahari. BFA melakukan fotosintetik dengan mengabsorpsi cahaya maksimum pada panjang gelombang 600-900 nm (di daerah spektrum merah tampak sampai infra merah) dan dapat tumbuh pada kedalaman sekitar 20-50 cm dari permukaan (Kondrat'eva, 1965).

Menurut Shipman *et al.* (1977), peningkatan intensitas cahaya dapat meningkatkan laju pertumbuhan sampai batas tertentu. Pada dasarnya fotosintetik dari BFA tergantung dari bahan organik dan anorganik media pertumbuhannya. Pada media yang mengandung asam asetat, propionat atau glukosa; BFA dapat tumbuh pada intensitas cahaya sekitar $2-3 \times 10^3$ erg cm^2/detik . Waktu penggandaan sel akan meningkat pada intensitas cahaya 7×10^3 erg cm^2/detik , dan pada intensitas cahaya di atas 13×10^3 erg cm^2/detik pertumbuhan BFA akan terhambat.



3. Temperatur

Suhu akan mempengaruhi aktivitas bakteri. Menurut Dworkin (1959), pertumbuhan BFA pada suhu rendah dapat merusak bakterioklorofil dan mengakibatkan kematian bakteri, karotenoid akan kehilangan fungsi pelindungnya pada suhu rendah yang berakhir pada inaktivasi enzim-enzim penting yang dibutuhkan untuk mereduksi senyawa organik dan anorganik untuk pertumbuhannya.

Shipman *et al.* (1977), menjelaskan bahwa BFA dapat tumbuh pada temperatur ruang (28-32° C), akan tetapi pertumbuhan maksimum dan reduksi CO₂ berlangsung pada kisaran suhu antara 30-40° C. Suhu optimum dari kebanyakan BFA untuk tumbuh adalah 37° C.

4. pH

Nilai pH optimal dari beberapa galur BFA tergantung antara lain pada ketersediaan bahan organik dan anorganik pada media yang digunakan. Menurut Thamrin (1998), *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1 tumbuh dengan baik pada pH 6.8. Sedangkan menurut Shipman *et al.* (1977), hanya beberapa galur dan spesies yang dapat tumbuh pada pH antara 6.5 – 6.8.

5. Mineral dan Zat Tumbuh

Mineral yang dibutuhkan BFA antara lain natrium, kalium, kalsium, kobalt, magnesium dan besi. Untuk BFA yang diisolasi dari air laut dengan konsentrasi NaCl yang tinggi maka dalam media pertumbuhannya dibutuhkan NaCl sebesar 2-3 % NaCl. Sedangkan BFA yang diisolasi dari air tawar hanya membutuhkan 0.1-0.2 % konsentrasi NaCl dalam medianya (Shipman *et al.*, 1977).

Zat tumbuh lain yang dibutuhkan adalah vitamin dan zat pemacu tumbuh (*growth factor*). Kebutuhan akan vitamin dan *growth factor* umumnya dipenuhi dengan suplementasi thiamin, biotin, PABA (paraamino benzoil acid) dan asam

Hal yang harus diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1. Pemilihan lokasi pengambilan sampel yang sesuai dengan tujuan penelitian. 2. Pengambilan sampel yang dilakukan secara acak dan merata. 3. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 4. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 5. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 6. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 7. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 8. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 9. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama. 10. Pengambilan sampel yang dilakukan pada waktu yang sama.

nikotinat ke dalam media disesuaikan dengan karakteristik galur BFA yang digunakan.

D. KAROTENOID

Karotenoid adalah suatu kelompok pigmen yang berwarna kuning, jingga atau merah jingga. BFA merupakan bakteri yang mengandung protein tinggi dengan komposisi asam-asam amino seimbang, Vitamin B₂, B₆, B₁₂ dan E, serta fotopigmen bakteriklorofil-a (Bchl-a) dan karotenoid (Sasikala *et al.*, 1993). Vitamin B₂, B₆, dan B₁₂ merupakan komponen koenzim yang penting bagi metabolisme ikan. Vitamin E dilaporkan berperan dalam pembentukan organ reproduksi. Pemberian karoten pada pakan ikan air tawar (*Heteropneustes fossilis*) mempengaruhi perkembangan gonad. Kandungan karoten yang tinggi pada telur mempengaruhi tingkat penetasan dan menurunkan jumlah embrio yang abnormal. Telah lanjut dilaporkan bahwa pigmen karotenoid dapat meningkatkan toleransi stress dan respon kekebalan.

Menurut Meyer (1966) pigmen karotenoid dapat dibagi menjadi empat golongan yaitu : 1.) karotenoid hidrokarbon, C₄₀H₅₆, seperti α, β, γ karoten dan likopen. 2.) Xantofil dan derivat karoten yang mengandung oksigen dan hidroksil antara lain kriptosantin, C₄₀H₅₅OH dan Lutein, C₄₀H₅₄(OH)₂. 3.) Asam karotenoid yaitu derivat karotenoid yang mengandung gugus karboksil, dan 4.) Ester xantofil asam lemak.

E. LIMBAH CAIR TAHU

Tahu merupakan salah satu produk kedelai yang terkenal di Indonesia. Hasil samping dari proses pembuatan tahu ada dua macam yaitu ampas tahu yang berbentuk padatan, yang merupakan sisa kedelai yang telah diekstrak proteinnya dan limbah cair sisa penggumpalan protein kedelai. Menurut Somaatmadja *et al.* (1981) limbah cair tahu masih mengandung protein terlarut dalam jumlah signifikan (± 7.9 %) yang tidak tergumpalkan pada proses pembuatan tahu dan berbagai

mineral, yang dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Komposisi limbah cair tahu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Analisis Proksimat Limbah Cair Tahu

Komposisi	Komposisi
Air	99.007 persen
Total N	434.78 ppm
Glukosa	92.00 ppm
Pb	0.24 ppm
Ca	34.03 ppm
Mg	2.961 ppm
Fe	0.197 ppm
Cu	0.188 ppm
Na	0.591 ppm

Sumber : Kuswardani (1985)

F. KULTUR CAMPURAN (*MIXED CULTURE*)

Keragaman spesies mikroorganisme dapat ditemukan dalam komunitas mikroorganisme di alam. Perubahan yang bersifat suksesi pada komposisi populasi dapat dipicu oleh perubahan kondisi lingkungan dalam sistem (Bull dan Slater, 1982).

Menurut Parkes (1982), keterkaitan antar komponen komunitas lebih baik dipelajari dalam kultur cair. Pertumbuhan isolat murni dan isolat campuran, dan hubungannya dengan metabolit yang dihasilkan yang mungkin tidak tampak pada komunitas yang lengkap (terjadi karena penggantian yang cepat antara komponen yang satu dengan yang lainnya) dapat diidentifikasi. Penggunaan isolat murni mempunyai keuntungan, antara lain metabolit yang diproduksi pada konsentrasi rendah dapat terakumulasi dalam kultur sehingga dapat diidentifikasi.

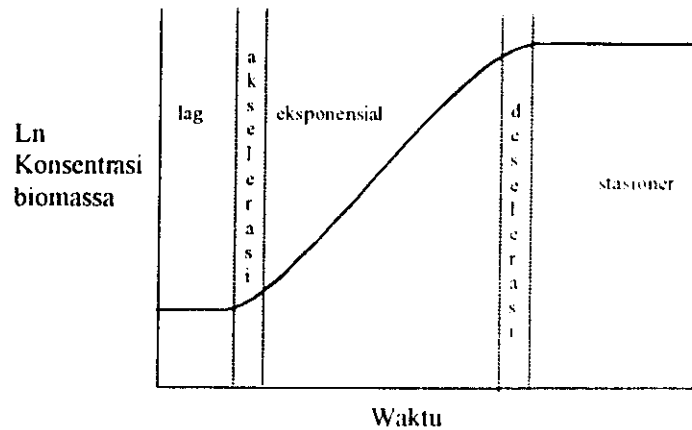
Bailey dan Ollis (1977), mengemukakan bahwa terdapat sembilan kemungkinan perilaku dalam kultur campuran, yaitu : (1) kompetisi, terjadi jika dalam suatu komunitas terdapat dua atau lebih spesies yang saling bersaing dalam keterbatasan karena ketergantungan pada salah satu faktor eksternal yang digunakan; (2) komensalisme, dimana pertumbuhan spesies pertama didukung oleh

keberadaan dari spesies kedua di dalam suatu populasi, sedangkan pertumbuhan dari spesies kedua tidak didukung oleh spesies pertama; (3) mutualisme, yang mempunyai situasi sama dengan komensalisme, tapi kedua organisme tumbuh lebih cepat atau dengan adanya senyawa penghambat dapat bertahan hidup lebih lama daripada hidup sendiri; (4) sinergisme, bila formasi dari produk spesifik lebih besar dalam kultur campuran daripada kultur murni; (5) predatorisme, terjadi ketika salah satu organisme memakan organisme lainnya, (6) amensalisme, jika pertumbuhan spesies pertama ditekan oleh keberadaan spesies kedua yang menghasilkan racun; (7) neutralisme, tidak terjadi interaksi dari kedua spesies, (8) simbiosisme, yang mana spesies pertama dapat bertahan hidup karena persekutuan antar spesies; dan (9) parasitisme, yaitu jika salah satu organisme memberikan makanan kepada organisme lainnya dari jaringan tubuhnya sendiri

Kurosawa *et al.* (1988), menjelaskan bahwa kondisi optimum pertumbuhan kultur campuran lebih sulit diperkirakan karena dua jenis mikroorganisme yang digunakan dalam kultur campuran tidak selalu mempunyai kondisi optimum yang sama, misalnya pH, suhu, nutrien, dan kebutuhan oksigen. Namun demikian kultivasi kultur campuran dan kelangsungan hidup dari spesies yang lemah dapat dilakukan dengan memanipulasi waktu proses sehingga dihasilkan kondisi yang diinginkan. Peubah lain yang dapat dimanipulasi adalah suhu, pH, laju dilusi dan konsentrasi substrat yang diumpankan (Stephen dan Lyberatos, 1986)

G. KINETIKA KULTIVASI KULTUR NIR-SINAMBUNG (*BATCH*)

Kinetika fermentasi menggambarkan pertumbuhan dan pembentukan produk oleh mikroorganisme, bukan hanya pertumbuhan sel aktif, tetapi juga kegiatan-kegiatan sel-sel istirahat dan sel mati. Pola pertumbuhan Mikroorganisme dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola Pertumbuhan Kultur Mikroorganisme pada Kondisi Nir-sinambung (Stanburry dan Whitaker, 1984)

Fase lag terjadi setelah inokulasi mikroorganisme pada medium dan merupakan waktu adaptasi terhadap lingkungan fisiko-kimia yang diberikan. Perpindahan pada medium baru menyebabkan beberapa parameter berubah seperti pH, peningkatan kebutuhan nutrisi serta deviasi penghambatan pertumbuhan. Kondisi fisiologis tersebut menentukan panjang pendeknya fase lag yang dialami. Penggunaan jumlah inokulum yang memadai dalam viabilitas yang tinggi serta kondisi fisiko-kimia yang sesuai, akan mempersingkat fase lag. Setelah fase lag berakhir, akan diikuti oleh fase eksponensial. Pada fase ini mikroorganisme telah mampu beradaptasi dan mampu mengonsumsi nutrisi serta telah menghasilkan metabolit dengan laju konstan. Hal ini mengakibatkan komposisi kimia media berubah dan laju pertumbuhan mencapai maksimum. Pada suatu titik tertentu, pertumbuhan akan mengalami penurunan akibat akumulasi metabolit yang bersifat menghambat pertumbuhan atau akibat ketersediaan nutrisi yang mulai menurun. Fase pertumbuhan selanjutnya adalah stasioner. Pada fase ini sel mikroorganisme berhenti membagi diri atau jumlah sel yang mati dan hidup seimbang. Meskipun demikian metabolisme (pemeliharaan sel) maupun pembentukan produk (metabolit sekunder) dapat tetap terjadi (Stanburry dan Whitaker, 1984).

III. BAHAN DAN METODA

A. BAHAN DAN ALAT

1. Mikroorganisme

Penelitian ini menggunakan bakteri fotosintetik anoksigenik galur PA₁₁ dan PL₁ yang diisolasi dan dikembangkan oleh PAU Bioteknologi Institut Pertanian Bogor, Bogor.

2. Media Pertumbuhan

Media yang digunakan terdiri dua macam, yaitu media RCV dan media berbasis limbah cair tahu. Tabel 2 merupakan komposisi media RCV. Larutan mineral untuk media RCV disajikan pada Tabel 3. Media propagasi inokulum sama dengan media untuk kultivasi yaitu media RCV dan media berbasis limbah cair tahu.

Tabel 2. Komposisi Media RCV dalam 1 liter

Komposisi	Jumlah
DL-Malat	4 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	1 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	120 mg
CaCl ₂ ·2H ₂ O	75 mg
Sodium etilen diamin tetraacetic	20 mg
Thiamin hidroklorit	1 mg
Larutan mineral RCV	1 mL
KH ₂ PO ₄	50.3 g
K ₂ HPO ₄	49.7 g
Air	900 mL

Sumber : Weafer (1975)



Tabel 3. Komposisi Larutan Mineral Media RCV dalam 250 ml.

Komposisi	Jumlah
H ₃ BO ₃	0.700 gr
MnSO ₄ .4H ₂ O	0.398 gr
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.188 gr
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.060 gr
Cu(NO ₃).3H ₂ O	0.010 gr

Sumber : Weafer (1975)

Bahan-bahan kimia lain yang digunakan adalah basa NaOH 0.1 N, Na₂SO₄, CuSO₄, H₂SO₄ pekat, alkohol, aseton, metanol, Bovin Serum Albumin (BSA), sukrosa, tween 80, dan buffer fosfat pH 7.

3. Alat

Alat-alat yang digunakan antara lain labu erlenmeyer 250 mL dan 100 mL, *shaker water bath*, bola lampu tungsten standar 40 dan 250 watt, autoklaf, spektrofotometer GBC UV/VHS 911 A, pH meter, cawan petri, tabung reaksi, bunsen, ose, *jar anaerobik*, stirer magnetik, sentrifuse Beckman GPR, *vortexer maxi mix II* dan *Quebec Colony Counter*.

B. METODOLOGI

1. Persiapan Media

Pembuatan media untuk persiapan kultur pada cawan petri sesuai dengan komposisi media RCV pada Tabel 2. Bahan-bahan ditimbang berdasarkan kebutuhan untuk pembuatan media, kemudian dihomogenkan dengan menggunakan stirer magnetik. pH diset pada nilai 6.8. Selanjutnya media disterilkan dengan menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121° C. Persiapan media limbah cair tahu (LCT) dilakukan dengan penyaringan, penetapan pH pada nilai 6.8, dan sterilisasi

2. Penelitian Pendahuluan

a. Persiapan Kultur Induk

Pembuatan kultur induk dilakukan dengan menggoreskan secara kuadran biakan BFA pada cawan petri yang berisi media RCV agar secara aseptik. Cawan yang telah digores kemudian diinkubasikan dalam *jar anaerobic* selama 7 hari pada suhu ruang dan diberi cahaya dari lampu tungsten dengan daya 40 watt pada jarak 20 cm (diiluminasi). Biakan yang tumbuh ini kemudian dipanen menggunakan larutan campuran buffer fosfat pH 7, sukrosa 20 persen dan 1 persen tween 80. Penyimpanan dilakukan dengan memipet 1.5 mL kultur ke dalam tabung-tabung eppendorf di dalam *freezer* pada temperatur -20°C .

b. Penentuan Waktu Propagasi

Stok kultur yang ada di dalam eppendorf diinokulasikan ke dalam erlenmeyer 250 mL yang berisi media RCV 200 mL. Inkubasi dilakukan pada *shaker water bath* dengan agitasi 150 rpm, temperatur 37°C , dan diiluminasi. Sampling terhadap *Optical Density* (OD) dilakukan tiap 4 jam sekali, pada panjang gelombang 660 nm. Penentuan waktu propagasi berdasarkan grafik pola pertumbuhan PA_{11} dan PL_1 (Gambar 3).

3. Penelitian Utama

a. Propagasi

Propagasi dilakukan dengan menginokulasikan stok kultur pada eppendorf ke dalam erlenmeyer 250 mL yang berisi media propagasi 200 mL, yang terdiri dari media RCV maupun media yang berbasis limbah cair tahu. Propagasi dilakukan pada *shaker water bath* dengan agitasi 150 rpm, temperatur 37°C , dan diiluminasi selama 40-44 jam.

b. Kultivasi

Kultivasi dilakukan dengan memindahkan sebanyak 10 % (v/v) inokulum dari media propagasi ke dalam media kultivasi yang mempunyai komposisi sama dengan media propagasi. Kultivasi menggunakan erlenmeyer 100 mL yang berisi 80 mL media dan inokulum. Kondisi kultivasi sama dengan kondisi propagasi. Waktu kultivasi dilakukan sampai fase stasioner tercapai.

Penelitian utama meliputi kultivasi menggunakan tiga komposisi kultur campuran PA₁₁ dan PL₁ dengan perbandingan 1 : 1, 1 : 3, dan 3 : 1 (Noparatnaraporn, 1987) pada media sintetik dan media kompleks limbah cair tahu secara mikroaerofilik dan teriluminasi. Sebagai pembanding digunakan serangkaian kultivasi masing-masing isolat pada media sintetik maupun media limbah cair tahu.

Pada percobaan kultur campuran, kedua mikroorganisme dicampurkan pada jam ke-0. Komposisi campuran didasarkan pada total sel masing-masing kultur. Total sel diketahui berdasarkan linearitas optical density pada panjang gelombang 660 nm terhadap total sel (Lampiran 1-8). Kultur campuran dipersiapkan untuk kultivasi dengan mengatur volume kultur sesuai dengan komposisi campuran.

4. Metoda Analisis

a. *Optical Density* (Aiba, 1978)

Pengukuran dilakukan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 660 nm. Nilai *optical density* (OD) merupakan hasil pengukuran sampel dikurangi dengan blanko. Pengukuran OD dilakukan untuk mengetahui proporsi campuran dan fase stasioner pada saat kultivasi.

b. Berat Kering Biomassa (Burgess *et al.*, 1994)

Berat kering biomassa diukur dengan menyaring vakum sebanyak 15 mL sampel hasil kultivasi dengan kertas saring *celulose nitrat* "Whatman" ukuran pori-pori 0.2 μm . Berat kering kertas saring ini diketahui terlebih dahulu, dengan pengeringan oven dan penimbangan. Endapan yang tertahan dibilas dengan aquades, kemudian dioven sampai berat konstan

c. Kadar Protein (Lowry, 1951)

Analisis kadar protein menggunakan spektrofotometer. Sebanyak 1 mL filtrat diencerkan sampai 10 kali, ditambahkan 5 mL pereaksi C, dikocok dan dibiarkan selama 10 menit. Kemudian ditambahkan 0.5 mL pereaksi D, dikocok lalu dibiarkan kembali selama 30 menit.

Absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 500 nm. Konsentrasi protein dihitung berdasarkan kurva standar menggunakan protein BSA (Lampiran 10). Prosedur penentuan protein standar sama dengan sampel. Kandungan protein standar yang digunakan adalah 50 g/L, 0.250 g/L, 0.167 g/L, 0.125 g/L, 0.100 g/L, 0.083 g/L dan 0.050 g/L.

Pereaksi lowry yang digunakan adalah :

1. Pereaksi A : 2 % Na_2CO_3 -anhidrat dalam 0.1 N NaOH
2. Pereaksi B : 0.5 % $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam larutan 1 persen garam rochele (Na-K-tartarat).
3. Pereaksi C : Larutan campuran yang terdiri dari 50 mL pereaksi A dan 1 mL pereaksi B
4. Pereaksi D : Pereaksi Folin Ciocalteu dan air dengan perbandingan 1 : 1

d. Pengukuran pH (Apriyantono, 1989)

Perubahan pH selama kultivasi diamati dengan mengambil sampel dan diukur nilainya dengan menggunakan alat pH meter, yang telah dikalibrasi pada nilai pH 4 standar dan pH 7.

e. Analisis Karotenoid (Sistrom, 1960)

Karotenoid merupakan fotopigmen yang dikandung oleh bakteri fotosintetik dan berfungsi sebagai fotoreseptor cahaya matahari. Bakteri fotosintetik mempunyai dua jenis karotenoid yaitu karotenoid merah (*red carotenoid*) dan karotenoid kuning (*yellow carotenoid*). Analisis karotenoid dilakukan dengan memipet broth sebanyak 5 mL ke dalam tabung sentrifugasi, lalu disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Biomassa yang terendapkan ditambahkan 0.1 mL aquades, lalu di-*vortex* dengan *vortexer maxi mix II* sampai homogen. Kemudian ditambahkan 4.9 mL solven (campuran aseton-metanol dengan perbandingan 7 : 2), dan disentrifugasi kembali dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Dalam kondisi gelap, supernatan yang dihasilkan segera diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 775 nm.

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Corrected OD}_{456} &= \text{OD}_{775} \times 0.1 \\ \text{Corrected OD}_{510} &= \text{OD}_{775} \times 0.05 \end{aligned}$$

Karotenoid merah (mg/L) :

$$[(\text{Corrected OD}_{510} \times 0.692) - (\text{Corrected OD}_{456} \times 0.0728)] \times 10$$

Karotenoid kuning (mg/L) :

$$[(\text{Corrected OD}_{456} \times 0.397) - (\text{Corrected OD}_{510} \times 0.355)] \times 10$$

f. Analisis Nitrogen Total (Apriyantono, 1989)

Sebanyak 3-5 g filtrat dimasukkan ke labu Kjedahl 30 mL ditambahkan katalis (CuSO_4 dan Na_2SO_4 dengan perbandingan 1 : 1.2) dan 2.5 mL H_2SO_4 pekat. Larutan kemudian didestruksi dengan mendidihkan labu selama 1-1.5 jam hingga terbentuk cairan bening. Labu didinginkan, lalu perlahan-lahan ditambahkan air sedikit demi sedikit.

Destilasi dilakukan dengan memindahkan labu ke dalam alat destilasi, bagian yang tersisa dibilas dengan 1-2 mL air sebanyak 5-6 kali untuk dimasukkan juga ke alat destilasi. Erlenmeyer 125 mL yang berisi 25 mL HCl 0.02 N diletakkan di bawah kondensor, ujung tabung kondesor harus terendam di dalam larutan HCl tersebut. Selanjutnya ditambahkan 15 mL larutan $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Proses destilasi dihentikan sampai tertampung sekitar 15 mL destilat.

Titration dilakukan menggunakan NaOH 0.02 N sampai warna berubah menjadi biru.

Rumus Perhitungan :

$$\text{g/L Nitrogen} = \frac{(\text{mL NaOH} - \text{mL Blanko}) \times \text{N NaOH} \times 14.007 \times 1000}{\text{mL sampel}}$$

g. Total Sel (Fardiaz, 1989)

Perhitungan Total Sel atau *Colony Forming Unit* (CFU) menggunakan Metoda Permukaan (*Surface Spread Plate*). Sebanyak 0.1 mL contoh diencerkan dengan tingkat pengenceran 10^{-7} , 10^{-8} dan 10^{-9} , kemudian masing-masing tingkat pengenceran diinokulasikan ke dalam cawan petri steril dan disebarakan menggunakan sebuah batang gelas melengkung (*hockey stick*) yang telah dicelupkan didalam alkohol 95 % dan dipijarkan sehingga alkohol habis terbakar.

Inkubasi dilakukan dalam *jar anaerobic* selama 7 hari, pada suhu ruang dan diberi cahaya dari lampu tungsten dengan daya 40 watt pada jarak 20 cm.



Perhitungan jumlah koloni berdasarkan warna kultur PA₁₁ (merah) maupun PI₁ (kuning jingga). Sehingga pada kultur campuran, masing-masing koloni dapat dibedakan (Lampiran 12).

Perhitungan :

$$\text{Koloni per ml (CFU)} = p \times i \times t$$

p = Jumlah pengenceran

i = Jumlah inokulum

t = Jumlah yang ditumbuhkan

Standar perhitungan berdasarkan *Standar Plate Count* (Lampiran 11)

C. PERMODELAN KINETIKA KULTIVASI

Parameter kinetika berdasarkan rumus yang dijelaskan oleh Stanburry dan Whitaker (1984).

Pertumbuhan pada fase eksponensial dinyatakan dalam :

$$dX/dt = \mu X$$

dimana :

X = konsentrasi biomassa sel (g/l)

t = waktu (jam)

μ = laju pertumbuhan spesifik dalam jam⁻¹

Dengan mengintegrasikan persamaan di atas diperoleh persamaan :

$$X_t = X_0 e^{\mu t} \text{ atau } \ln X_t = \ln X_0 + \mu t$$

Laju pertumbuhan spesifik (μ) merupakan slope hasil plot konsentrasi sel terhadap waktu.

Dalam penelitian ini basis Biomassa dilakukan untuk mengetahui laju pertumbuhan spesifik kultur murni, sedangkan basis total sel (*viable cell counts*) dilakukan untuk membandingkan laju pertumbuhan spesifik masing-masing kultur, baik dalam kultur murni maupun kultur campuran. Menurut Pirt (1975), basis perhitungan laju pertumbuhan spesifik dapat dilakukan berdasarkan viabilitasnya.



Keuntungan dari metoda ini adalah dapat mengestimasi konsentrasi kecil dari mikroorganisme ($< 1/\text{ml}$).

Selama proses pertumbuhan akan terjadi penurunan substrat akibat proses metabolisme mikroorganisme yang digunakan untuk pembentukan sel, pemeliharaan sel dan pembentukan produk. Nilai $Y_{x/s}$ menyatakan efisiensi konversi nutrien dalam substrat menjadi biomassa atau rendemen pertumbuhan. Persamaan awal yield ($Y_{x/s}$) adalah :

$$dX/dS = Y_{x/s}$$

Jika X_0 dan S_0 adalah nilai awal (*initial*) dari biomassa dan konsentrasi substrat dan X serta S adalah jumlah selama pertumbuhan maka diperoleh persamaan :

$$X - X_0 = Y_{x/s} (S_0 - S)$$

Nilai yield ($Y_{x/s}$) dihitung dari nilai slope $X - X_0$ dan $S_0 - S$ (Pirt, 1975)

Dalam penelitian ini sumber N dijadikan basis perhitungan konsumsi substrat, yaitu nilai Total N untuk media RCV dan protein untuk media LCT

Karotenoid merupakan pigmen aksesoris yang berfungsi sebagai penangkap cahaya. Untuk mengkaji hubungan pembentukan biomassa dan biosintesa karotenoid maka digunakan persamaan sebagai berikut :

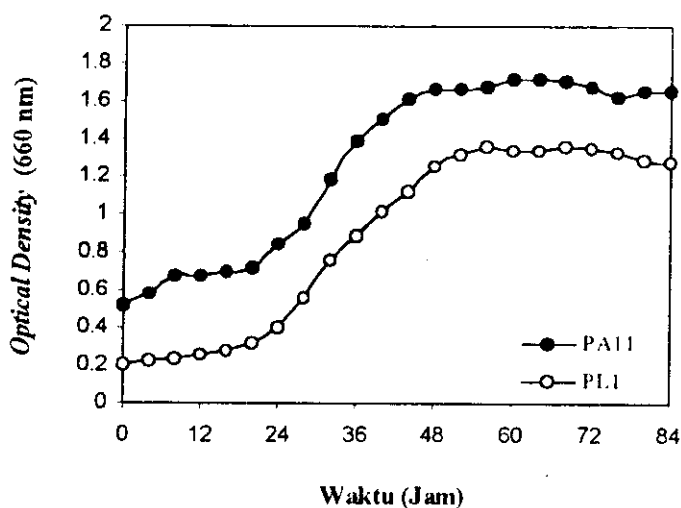
$$P - P_0 = Y_{p/x} (X - X_0)$$

Nilai yield karotenoid ($Y_{p/x}$) dihitung dari nilai slope $P - P_0$ dan $X - X_0$ (Pirt, 1975)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Waktu Propagasi PA₁₁ dan PL₁

Propagasi dilakukan untuk mempersingkat fase adaptasi kultur pada kultivasi. Waktu propagasi dapat diketahui berdasarkan pola pertumbuhan kultur. Parameter *Optical Density* (OD) digunakan untuk menentukan fenomena pertumbuhan kultur. Hasil pengamatan OD dapat dilihat pada Lampiran 13.



Gambar 3. Pola Pertumbuhan PA₁₁ dan PL₁

PA₁₁ dan PL₁ (Gambar 3.) merupakan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA) yang mempunyai pola pertumbuhan yang tidak berbeda jauh. Fase awal (*lag*) merupakan masa penyesuaian kultur, sejak kultur diinokulasi ke media kultivasi. Fase ini terjadi pada rentang waktu 0 – 20 jam. Pada fase ini tidak terjadi penggandaan sel, akan tetapi berlangsung proses sintesa enzim yang diperlukan untuk proses metabolisme sel.

Fase akselerasi sekitar 12-20 jam. Reproduksi seluler terjadi pada fase ekponensial yaitu pada rentang waktu 20-48 jam. Konsentrasi seluler atau

biomassa mulai meningkat secara perlahan-lahan, kemudian semakin lama semakin meningkat. Pada 2/3 fase ini dilakukan pemindahan inokulum dari media propagasi ke media kultivasi, yaitu pada rentang waktu 40-44 jam atau pada OD 1.510-1.615 untuk PA₁₁ dan OD 1.013-1.120 untuk PL₁.

Selama proses kultivasi, substrat yang diperlukan untuk pertumbuhan akan semakin habis dan terjadi penumpukan senyawa-senyawa penghambat, sehingga terjadi penurunan laju pertumbuhan (fase deselerasi) pada jam 48-56. Selanjutnya pertumbuhan memasuki fase stasioner pada rentang waktu 56-72 jam, setelah itu nilai OD mulai menurun yang berarti pola pertumbuhan mulai memasuki fase penurunan.

B. Kinetika Kultivasi Kultur Murni

1. pH Kultivasi

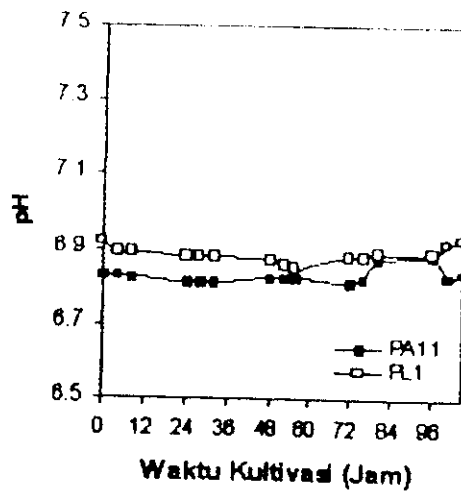
Selama proses kultivasi nilai pH kultivasi cenderung berubah. Pada awal kultivasi nilai pH cenderung menurun, kemudian meningkat sejalan dengan peningkatan biomassa dan sintesa karotenoid. Menurut Rehm dan Reed (1981), laju pertumbuhan bakteri sangat tergantung pada pH, karena dapat mempengaruhi kinerja membran sel, enzim dan komponen intraseluler lainnya.

pH dapat berubah menjadi lebih asam atau basa selama proses fotosintetik. Hal ini dapat dikarenakan : pertama, proses asimilasi atau lepasnya CO₂; kedua, terbentuknya asam-asam turunan sulfat akibat oksidasi H₂S; dan ketiga, terakumulasinya asam organik dalam media. Perubahan-perubahan tersebut berhubungan dengan terbentuknya metabolit primer dari pertumbuhan BFA (Kondrat'eva, 1965).

Nilai pH yang menurun pada media RCV disebabkan produksi asam laktat, sedangkan konsumsi asam malat dan penguraian amonium sulfat sebagai sumber nitrogen yang terkandung pada media akan meningkatkan

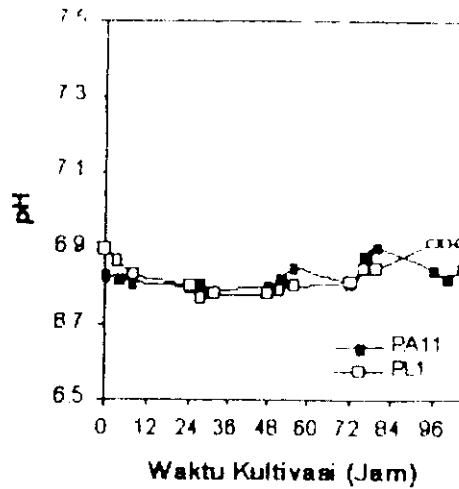
pH Menurut Schmidt (1971), dalam proses fotosintetik BIA menggunakan donor hidrogen yang tereduksi lebih kuat (H₂S, H₂, atau asam-asam organik)

Perubahan pH yang tidak terlalu berfluktuasi (Gambar 4), disebabkan adanya buffer fosfat dalam media RCV Menurut Lehninger (1993), buffer fosfat bekerja efektif pada pH 6.86. Nilai pH pada awal kultivasi berada di atas 6.8 disebabkan aktivitas kultur selama propagasi yang menghasilkan senyawa-senyawa dari penguraian malat dan amonium sulfat



Gambar 4. pH Kultivasi PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media RCV

Pada Gambar 5, penurunan pH selama kultivasi pada media limbah cair tahu (LCT), dapat disebabkan oleh penguraian glukosa menjadi asam-asam organik. Kenaikan pH disebabkan penguraian protein menjadi asam-asam amino dan pembebasan amoniak. Menurut Said (1987), kenaikan pH dapat terjadi akibat pembebasan amoniak dari penguraian protein, yang disebabkan oleh adanya donor hidrogen.



Gambar 5. pH Kultivasi PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media LCT

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan perubahan pH masih berada pada kisaran pH normal untuk pertumbuhan optimum BFA. Menurut Pfennig (1967), BFA dapat hidup dengan baik pada rentang pH 6.7-7.3.

2. Pertumbuhan dan Konsumsi Substrat

Pembentukan Biomassa dan konsumsi substrat merupakan parameter-parameter yang dapat digunakan untuk pengamatan secara kuantitatif terhadap laju pertumbuhan. Sumber karbon dan nitrogen merupakan komponen utama substrat yang menyediakan energi untuk pertumbuhan dan pemeliharaan sel. Nitrogen merupakan substrat pembatas bagi pertumbuhan BFA. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap konsumsi nitrogen dengan tujuan melihat pengaruh pemanfaatan nitrogen dalam proses metabolisme sel, serta senyawa penghambat yang dihasilkan. Hasil penghitungan kinetika pertumbuhan BFA kultur murni disajikan pada Tabel 4.

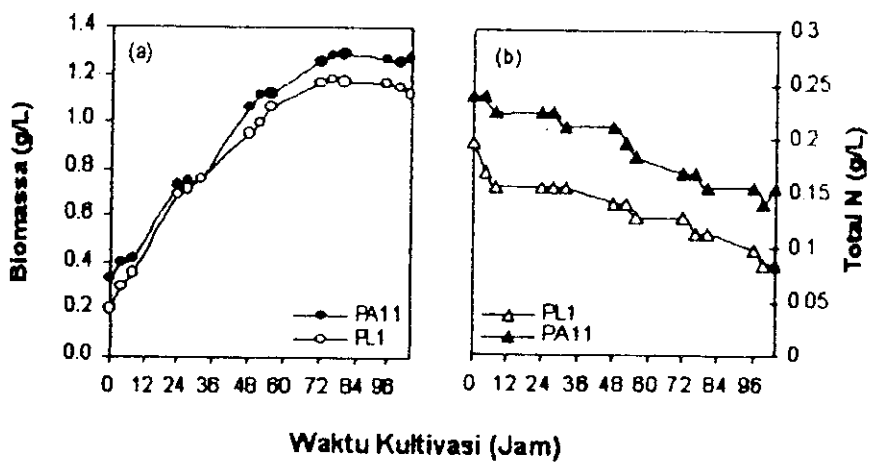


Tabel 4. Karakteristik Pertumbuhan PA₁₁ dan PL₁ pada Media RCV dan LCT

	PA ₁₁		PL ₁	
	RCV	LCT	RCV	LCT
Laju pertumbuhan spesifik (jam ⁻¹)	0.018	0.017	0.018	0.020
Rendemen pertumbuhan ^a (g sel/ g substrat)	12.655	3.208	16.273	1.200
Karotenoid (mg/g sel)				
Merah	0.132	0.104	0.069	0.035
Kuning	0.106	0.084	0.055	0.028
Biomassa maksimum (g/L)	1.287	1.200	1.180	1.323
Waktu Eksponensial (jam)	4-76	4-76	4-76	4-76

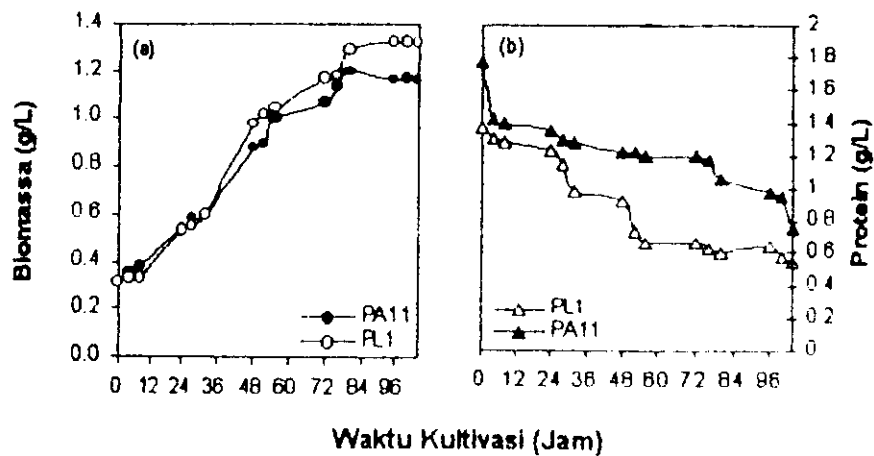
^a Basis perhitungan pada substrat RCV adalah Total N, sedangkan pada LCT adalah protein

Waktu eksponensial untuk kedua kultur pada media RCV dan LCT tidak berbeda yaitu selama 4-76 jam (Gambar 6a dan 7a). Hal ini menunjukkan bahwa kedua kultur mempunyai sifat yang tidak jauh berbeda, karena kedua kultur diisolasi dari tempat yang sama. PA₁₁ dan PL₁ masing-masing diisolasi dari air dan lumpur pada suatu danau di Parung.



Gambar 6. (a) Pembentukan Biomassa; (b) Konsumsi Substrat (Nitrogen) PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media RCV

Pembentukan biomassa PA_{11} pada media RCA lebih tinggi dari pada PL_1 (Gambar 6a dan Tabel 4). Perbedaan peningkatan biomassa mulai terjadi pada jam ke-32. PA_{11} menghasilkan biomassa tertinggi pada jam ke-80 sebesar 1.287 g/L, sedangkan PL_{11} menghasilkan biomassa tertinggi pada jam ke-76 sebesar 1.180 g/L. Laju konsumsi nitrogen kedua BFA mempunyai kecenderungan yang sama. BFA membutuhkan nitrogen untuk biosintesa protein, enzim dan bakteriklorofil.



Gambar 7. (a) Pembentukan Biomassa; (b) Konsumsi Substrat (Protein) PA_{11} dan PL_1 Menggunakan Media LCT

Berdasarkan Gambar 7a dan Tabel 4, kultivasi dengan media LCT menghasilkan biomassa PL_1 tertinggi pada jam ke-100 sebesar 1.323 g/L, sedangkan PA_{11} menghasilkan biomassa tertinggi pada jam ke-80 sebesar 1.200 g/L. Sumber N didapat dari protein yang terkandung pada media LCT. PL_1 menunjukkan konsumsi protein yang lebih tinggi daripada PA_{11} . Konsumsi protein yang lebih tinggi ini sejalan dengan pembentukan biomassa PL_1 yang lebih tinggi daripada PA_{11} .

PL_1 merupakan bakteri yang cukup adaptif dikultivasi pada media LCT, karena menghasilkan laju pertumbuhan spesifik tertinggi 0.020 jam^{-1} . Tetapi rendemen pertumbuhannya lebih rendah daripada PA_{11} (Tabel 4). Nilai

rendemen pertumbuhan yang rendah dapat disebabkan konsumsi protein yang cukup tinggi untuk pembentukan biomassa dan sintesa karotenoid.

Kultivasi PA₁₁ menggunakan media RCV menghasilkan laju pertumbuhan spesifik 0.018 jam⁻¹ dan rendemen pertumbuhan lebih rendah (12.655 g sel/g nitrogen) daripada PL₁ (16.273 g sel/g nitrogen). Rendahnya rendemen pertumbuhan dapat disebabkan sintesa karotenoid PA₁₁ yang lebih tinggi dibandingkan PL₁.

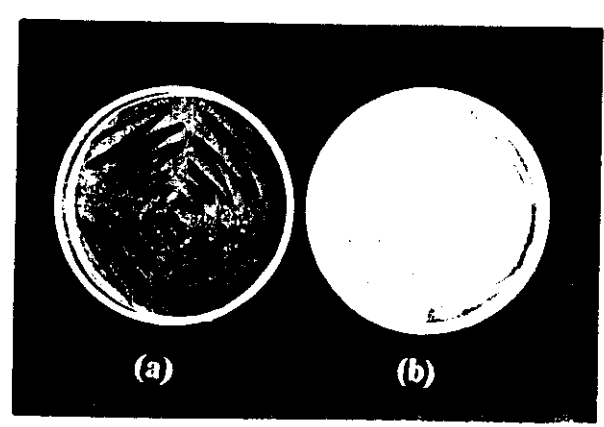
Pada media RCV amonium sulfat merupakan sumber N. BFA akan mereduksi amonium sulfat menjadi amoniak terlebih dahulu untuk menyediakan energi bagi pertumbuhan dan pemeliharaan sel. Rendemen pertumbuhan yang rendah menunjukkan konsumsi amoniak yang tinggi. Dalam aplikasinya sebagai biokontrol terhadap amoniak, maka rendemen pertumbuhan yang rendah berarti BFA tersebut mempunyai kemampuan mereduksi senyawa toksik yang tinggi.

Bakteri ungu sulfur dan nonsulfur menunjukkan variasi beberapa warna antara kuning sampai peach (persik), orange-coklat, coklat, coklat-merah, ungu-merah, pink, atau lembayung tergantung partikel organisme, kepadatan populasi, kandungan sulfur dan umur kultur (Pfennig, 1967). Warna-warna tersebut merupakan penampakan dari berbagai macam karotenoid yang terkandung pada sel. Karotenoid merupakan pigmen aksesoris untuk organisme fototrof yang berfungsi sebagai penangkap cahaya dan pelindung klorofil terhadap kerusakan fotooksidatif (Brock dan Madigan, 1991).

Warna kultur PL₁ adalah kuning jingga dan PA₁₁ adalah merah. Perbedaan warna antara kedua kultur seperti dijelaskan oleh Shiegel (1993), disebabkan oleh sifat, susunan, dan kuantitatif pigmen. Secara kualitatif warna merah pada kultur PA₁₁ sangat dominan daripada PL₁ (Gambar 8), yang menunjukkan kandungan karotenoid merah pada PA₁₁ lebih tinggi daripada PL₁. Warna kultur yang kuning diidentifikasi oleh Nakayama (penelitian yang tidak dipublikasikan) sebagai jenis karotenoid dari neurosporene dan turunan dihidroksi dari neurosporene. Warna coklat-merah didominasi oleh

Halaman ini adalah dokumen resmi IPB University yang diterbitkan secara berkala. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website resmi IPB University di www.ipb.ac.id.
1. Dilindungi undang-undang sebagai dokumen resmi IPB University dan merupakan sumber informasi yang akurat.
2. Diperoleh dengan izin dari IPB University dan tidak boleh disalin atau diperjualbelikan tanpa izin IPB University.
3. Penggunaan untuk tujuan lain tanpa izin IPB University akan dikenakan sanksi hukum yang berlaku.
4. Pengutipan harus mencantumkan sumber informasi, penulis, penerbit, dan tahun terbit.
5. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website resmi IPB University di www.ipb.ac.id.
6. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website resmi IPB University di www.ipb.ac.id.
7. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website resmi IPB University di www.ipb.ac.id.

spirilloxanthin yang merupakan produk akhir BFA, sedangkan produk perantara adalah β -karoten yang merupakan komponen minoritas (Pfennig, 1967). Sedangkan menurut Girard *et al.* (1994), warna merah BFA dapat disebabkan oleh astaxanthin atau kombinasi dari dua atau lebih komponen karoten. Warna orange disebabkan oleh konsentrasi β -karoten yang tinggi dalam kultur.

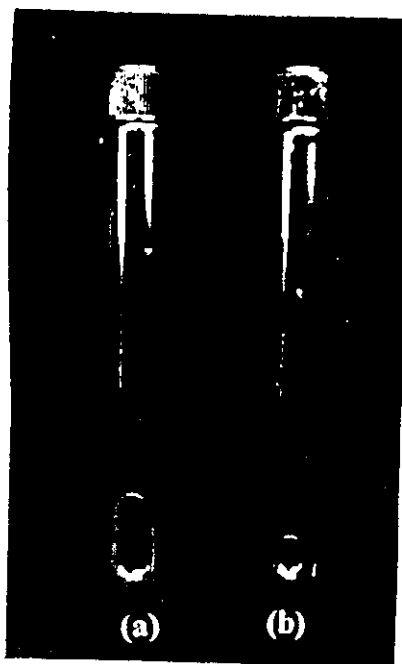


Gambar 8. Warna Kultur (a) PA₁₁ (b) PL₁ Menggunakan Media RCV Padat

Khusus untuk PL₁, terjadi perubahan pada saat kultivasi menggunakan media cair, dimana warna merah menjadi lebih dominan dibandingkan dengan media padat (bandingkan warna kultur PL₁ pada Gambar 8 dan Gambar 9). Hal tersebut dapat disebabkan oleh perubahan persenyawaan pigmen sesuai dengan kondisi kultivasi. Menurut Pfennig (1967), tiga jenis bakteri ungu non sulfur fakultatif aerob, *Rhodospseudomonas gelatinosa*, *R. spirillum*, dan *R. capsulata* mensintesa warna karotenoid dari jalur metabolisme yang berbeda dari seri spirilloxanthin normal sampai neurosporene, tapi dapat juga spirilloxanthin sebagai produk akhir yang dihasilkan dari rangkaian reaksi berbeda. Di bawah kondisi anaerobik, dua jenis karotenoid antara spheroidene dan OH-spheroidene lebih dominan. Ketika pertumbuhan sel secara anaerobic terkena udara, kedua jenis karotenoid tersebut akan berubah menjadi

Halaman 10 | Jurnal Ilmiah IPB University
 1. Ombak sebagai sumber energi untuk kehidupan organisme dan menyediakan sumber
 2. Pengaturan suhu untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 3. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 4. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 5. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 6. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 7. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 8. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 9. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah
 10. Menghasilkan energi untuk kehidupan organisme, misalnya, pendinginan lautan, pendinginan darat, pendinginan udara, pendinginan air, dan pendinginan tanah

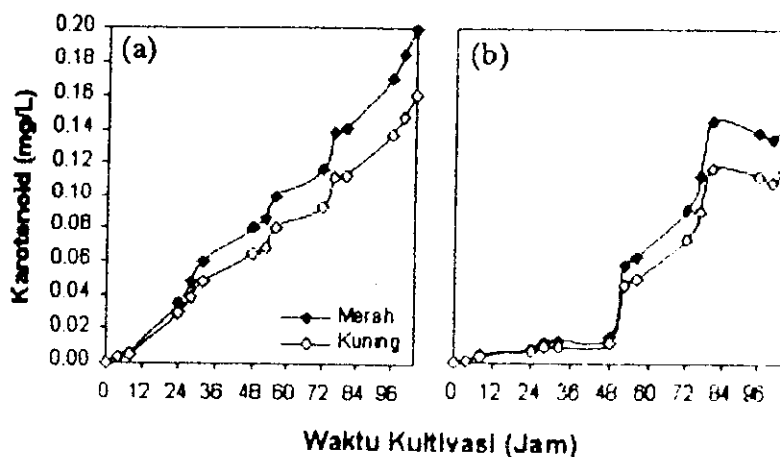
persenyawaan keto-karotenoid. Proses perubahan tersebut secara jelas disertai oleh pergantian warna sel dari orange-coklat menjadi coklat-merah dan dapat juga merah-lembayung.



Gambar 9. Warna Kultur (a) PA₁₁ (b) PL₁ Menggunakan Media RCV Cair

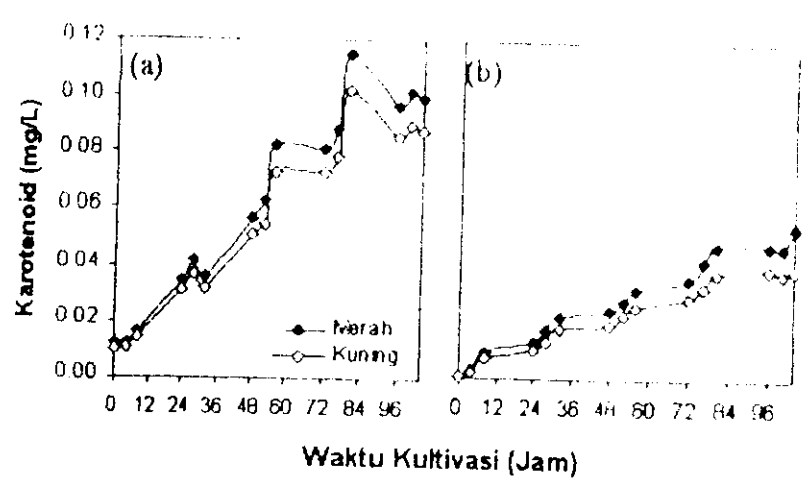
Kultivasi menggunakan media RCV menghasilkan kandungan karotenoid lebih tinggi daripada menggunakan media LCT, baik pada PL₁ maupun PA₁₁ (Tabel 4). Kandungan karotenoid PA₁₁ (0.132 mg karotenoid merah/g sel dan 0.106 mg karotenoid kuning/g sel) yang lebih tinggi daripada PL₁ (0.069 mg karotenoid merah/g sel dan 0.055 mg karotenoid kuning/g sel) pada media RCV, yang juga lebih tinggi daripada menggunakan media LCT, menunjukkan bahwa PA₁₁ merupakan kultur BFA yang potensial sebagai penghasil karotenoid dan RCV merupakan media yang cocok bagi BFA untuk mensintesa karotenoid. Dijelaskan oleh Schimidt (1971), perbedaan jenis nutrisi dapat mengubah komposisi karotenoid dalam sel BFA. Pada *R. acidophila* yang dikultivasi dengan fumarat dan malat, kandungan

rhodopin dan glukosid dominan dalam karotenoid. Apabila dikaitkan dengan piruvat dan suksinat, dalam karotenoid yang dominan adalah rhodopinol dan pembentukan rhodopin terhambat. Jenis sumber nitrogen dan intensitas cahaya secara umum berpengaruh terhadap rhodopinol dan rhodopin.



Gambar 10. Biosintesa karotenoid (a) PA₁₁; (b) PL₁ Menggunakan Media RCV

Biosintesa karotenoid pada kedua kultur terhenti ketika memasuki fase stasioner, kecuali PA₁₁ pada kultivasi menggunakan media RCV sintesa masih terus berlangsung (Gambar 10a). Hal ini disebabkan oleh adanya senyawa-senyawa maupun mineral-mineral pada media RCV yang mendukung PA₁₁ untuk mensintesa karotenoid. Menurut Shipman (1975), magnesium dibutuhkan oleh BFA untuk biosintesa bakterioklorofil dan aktivitas beberapa sistem enzim. Besi dalam media digunakan untuk sintesa besi porphyrin dan senyawa lain pada bakteri ungu. Kekurangan besi akan menghambat pertumbuhan BFA dan menekan sintesa bakterioklorofil.



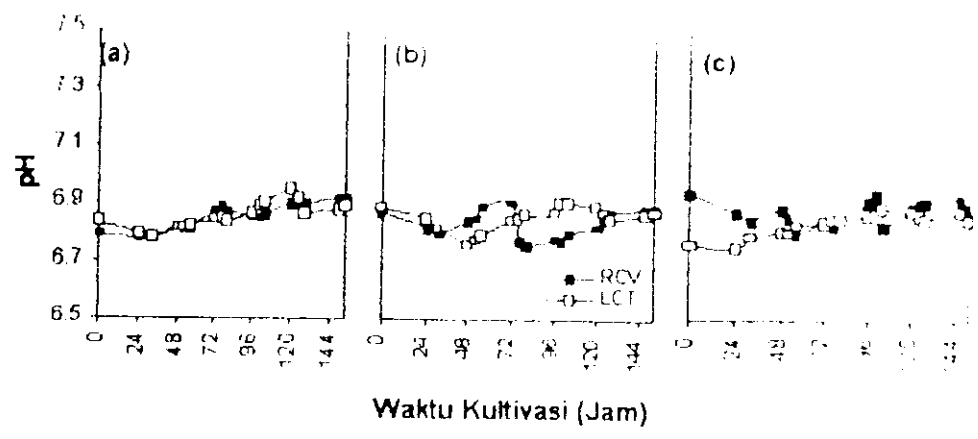
Gambar 11. Biosintesa karotenoid (a) PA₁₁, (b) PL₁ Menggunakan Media LCT

Gambar 6-7 dan Gambar 10-11 menunjukkan pengaruh pertumbuhan terhadap sintesa karotenoid. Sintesa karotenoid dimulai pada jam ke-4 saat permulaan fase eksponensial. Sebagai produk yang disintesa, karotenoid mempunyai pola pertumbuhan yang berasosiasi dengan pembentukan produk Menurut Mangunwidjaja dan Suryani (1994), pola tersebut dijumpai pada proses yang produknya merupakan hasil langsung suatu jalur katabolik atau metabolit primer. Dalam pola ini laju pembentukan produk berbanding secara proporsional dengan laju pertumbuhan.

C. Kinetika Kultivasi Kultur Campuran

1. pH Kultivasi

Berdasarkan Gambar 12, perubahan pH pada kultivasi menggunakan media RCV maupun LCT masih menunjukkan nilai-nilai pada batas pertumbuhan BFA yang normal.



Gambar 12. pH Kultivasi Kultur Campuran Menggunakan Media RCV dan LCT; (a) PAII : PLI = 1 : 1, (b) 1 : 3, (c) 3 : 1

Menurut Van Niels *didalam* Shipman (1977), pH media sangat berpengaruh terhadap produksi biomassa. Rentang pH untuk pertumbuhan BFA dan pH optimal tergantung senyawa organik dan anorganik pada medium. Hampir semua bakteri dapat tumbuh baik pada pH 7, sedangkan pH yang terlalu asam atau basa akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

2. Pertumbuhan dan Konsumsi Substrat

Basis perhitungan laju pertumbuhan spesifik menggunakan total sel dilakukan untuk melihat pengaruh kultur campuran terhadap masing-masing kultur, sekaligus untuk membandingkannya dengan kultur murni. Sedangkan untuk rendemen pertumbuhan dan kandungan karotenoid diperhitungkan menggunakan basis biomassa, karena baik kultur campuran maupun kultur murni ditujukan untuk menghasilkan biomassa tertinggi dengan kandungan karotenoid yang tinggi serta efisiensi konsumsi substrat yang juga tinggi. Hasil penghitungan kinetika kultur campuran disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6. Gambar 13 disajikan untuk membandingkan total sel kultur murni dan kultur campuran.

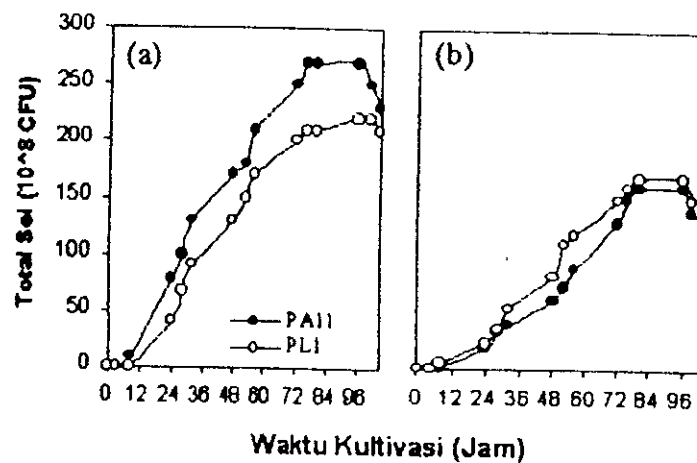
Hak Cipta: Penerbit: Universitas Indonesia
 1. Diizinkan sebagai sumber data ilmiah hanya untuk keperluan akademik dan penelitian ilmiah.
 2. Pengutipan harus mencantumkan sumber data ilmiah, penerbit, dan tahun terbit.
 3. Tidak diperkenankan untuk diperjualbelikan atau untuk kepentingan komersial.
 4. Untuk lebih detail mengenai kebijakan hak cipta, kunjungi situs web IPB University.
 5. Untuk lebih detail mengenai kebijakan hak cipta, kunjungi situs web IPB University.
 6. Untuk lebih detail mengenai kebijakan hak cipta, kunjungi situs web IPB University.

Tabel 5. Karakteristik Pertumbuhan Kultur Murni dan Kultur Campuran pada Media RCV

	Kultur Murni		Kultur Campuran (PA ₁₁ , PL ₁) ^a		
	PA ₁₁	PL ₁	1:1	1:3	3:1
Laju pertumbuhan spesifik ^b (jam ⁻¹)					
Total	0.022	0.022	0.040	0.048	0.042
PA ₁₁			0.043	0.058	0.043
PL ₁			0.039	0.043	0.042
Rendemen pertumbuhan (g sel/ g Nitrogen)	12.655	16.273	4.537	7.793	11.045
Karotenoid (mg/g sel)					
Merah	0.132	0.069	0.139	0.184	0.202
Kuning	0.106	0.055	0.111	0.147	0.163
Biomassa maksimum (g/L)	1.287	1.180	1.793	1.820	2.060
Waktu Eksponensial (jam)	4-76	4-76	24-124	24-128	24-128

^a Perbandingan berdasarkan total sel inokulum

^b Basis perhitungan adalah total sel



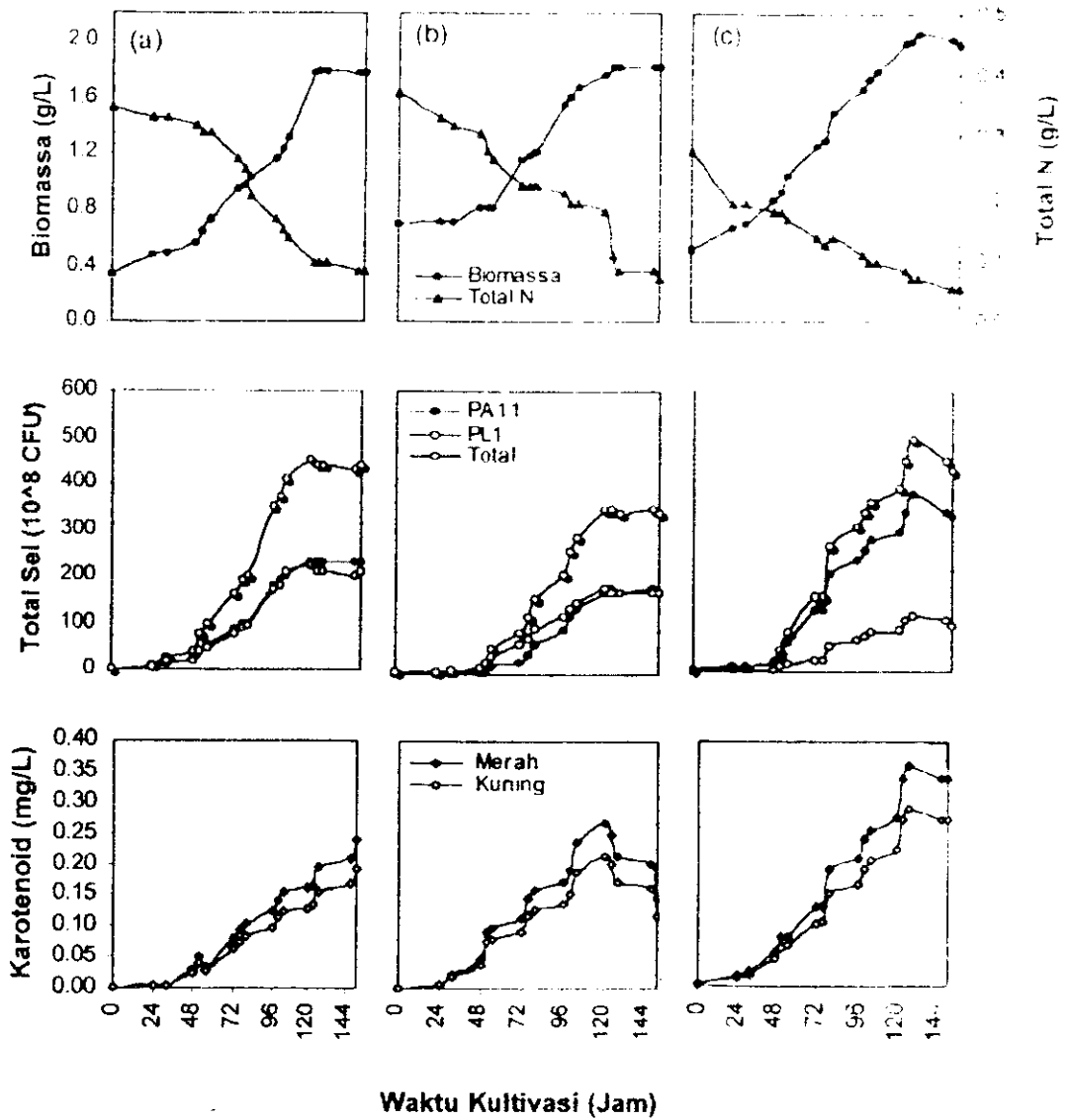
Gambar 13. Total Sel Kultur Murni (a) Media RCV (b) LCT

Perbedaan karakteristik pertumbuhan kultur campuran PA₁₁ dan PL₁ menggunakan media RCV, berdasarkan perbandingan inokulum menghasilkan pengaruh campuran kedua inokulum dalam pembentukan biomassa. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Tabel 5 memperlihatkan bahwa biomassa maksimum yang dihasilkan dari semua perbandingan inokulum kultur

campuran lebih tinggi dari kultur murni, nilai biomassa berkorelasi dengan total sel kultur campuran yang lebih tinggi daripada kultur murni (bandingkan Gambar 14 dan Gambar 13a). Waktu untuk menghasilkan biomassa maksimal pada kultur campuran lebih lama daripada kultur murni. Hal tersebut menunjukkan adanya penghambatan pada kultur murni, sehingga waktu eksponensialnya relatif lebih rendah. Menurut Schmidt (1994), dengan keberadaan donor hidrogen organik atau anorganik, beberapa anggota *Rhodospirillineae* dan *Chlorobiaceae* mampu memproduksi hidrogen molekul dalam cahaya. Pembentukan hidrogen tergantung dari perbandingan C/N substrat dalam medium dan dihambat oleh ion amonium bebas dan juga gas nitrogen.

Laju pertumbuhan spesifik kultur campuran menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada kultur murni (Tabel 5). Pertumbuhan yang cukup seragam ditunjukkan dengan perbandingan inokulum 3 : 1 yang menghasilkan laju pertumbuhan spesifik total 0.042 jam^{-1} dan masing-masing kultur 0.043 jam^{-1} untuk PA₁₁, serta 0.042 jam^{-1} untuk PL₁. Perbandingan 1 : 3 menunjukkan PA₁₁ sangat dominan pada media RCV, karena dengan proporsi yang lebih rendah menghasilkan laju pertumbuhan spesifik yang lebih tinggi (0.058 jam^{-1}) daripada PL₁ (0.043 jam^{-1}), pertumbuhan PA₁₁ cukup pesat, yang akhirnya menyusul PL₁ pada jam ke-120 (Gambar 14b).

Rendemen pertumbuhan kultur campuran lebih rendah daripada kultur murni, menunjukkan bahwa konsumsi substrat N pada kultur campuran lebih tinggi daripada kultur murni. Hal ini dikarenakan pengaruh mutualisme kedua kultur yang hidup bersama yang saling mengkonsumsi senyawa-senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan. Dalam penelitian ini substrat dikondisikan berlebih. Oleh karena itu dengan kultur campuran substrat yang tersedia tidak terbuang percuma. Jumlah inokulum PA₁₁ yang lebih tinggi daripada PL₁ pada kultur campuran dengan proporsi 3 : 1 menyebabkan rendemen pertumbuhan ($11.045 \text{ g sel/g Nitrogen}$) tertinggi, dan nilai tersebut tidak jauh berbeda dari rendemen pertumbuhan kultur murni PA₁₁ ($12.655 \text{ g sel/g Nitrogen}$)



Gambar 14. Pembentukan Biomassa, Konsumsi Substrat (Nitrogen), Total Sel dan Biosintesa Karotenoid Kultur Campuran PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media RCV
(a) PA₁₁ : PL₁ = 1 : 1; (b) 1 : 3; (c) 3 : 1

Karotenoid yang dihasilkan kultur campuran lebih tinggi daripada kultur murni, dengan hasil tertinggi pada proporsi 3 : 1 yaitu 0.202 mg/g sel (karotenoid merah) dan 0.163 mg/g sel (karotenoid kuning). Kandungan karotenoid yang tinggi disebabkan proporsi PA₁₁ yang lebih tinggi daripada

PL₁. Berdasarkan hasil penelitian kultur murni, PA₁₁ merupakan BFA yang potensial menghasilkan karotenoid. Berdasarkan Tabel 5, perbandingan kandungan karotenoid pada kultur murni dan kultur campuran, dimana formasi karotenoid yang dihasilkan kultur campuran lebih tinggi daripada kultur murni, menunjukkan adanya hubungan sinergistik antara kedua kultur pada kultur campuran.

Berdasarkan hasil penelitian pada kultur murni, media LCT merupakan media alternatif yang potensial untuk pertumbuhan PA₁₁ maupun PL₁, dan pada kultur campuran menggunakan media RCV, kedua kultur dapat hidup bersama yang mempunyai pengaruh mutualisme dan sinergisme. Hal tersebut memungkinkan dilakukan kultivasi kultur campuran kedua kultur menggunakan media LCT. Kinetika kultivasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik Pertumbuhan Kultur Murni dan Kultur Campuran pada Media LCT

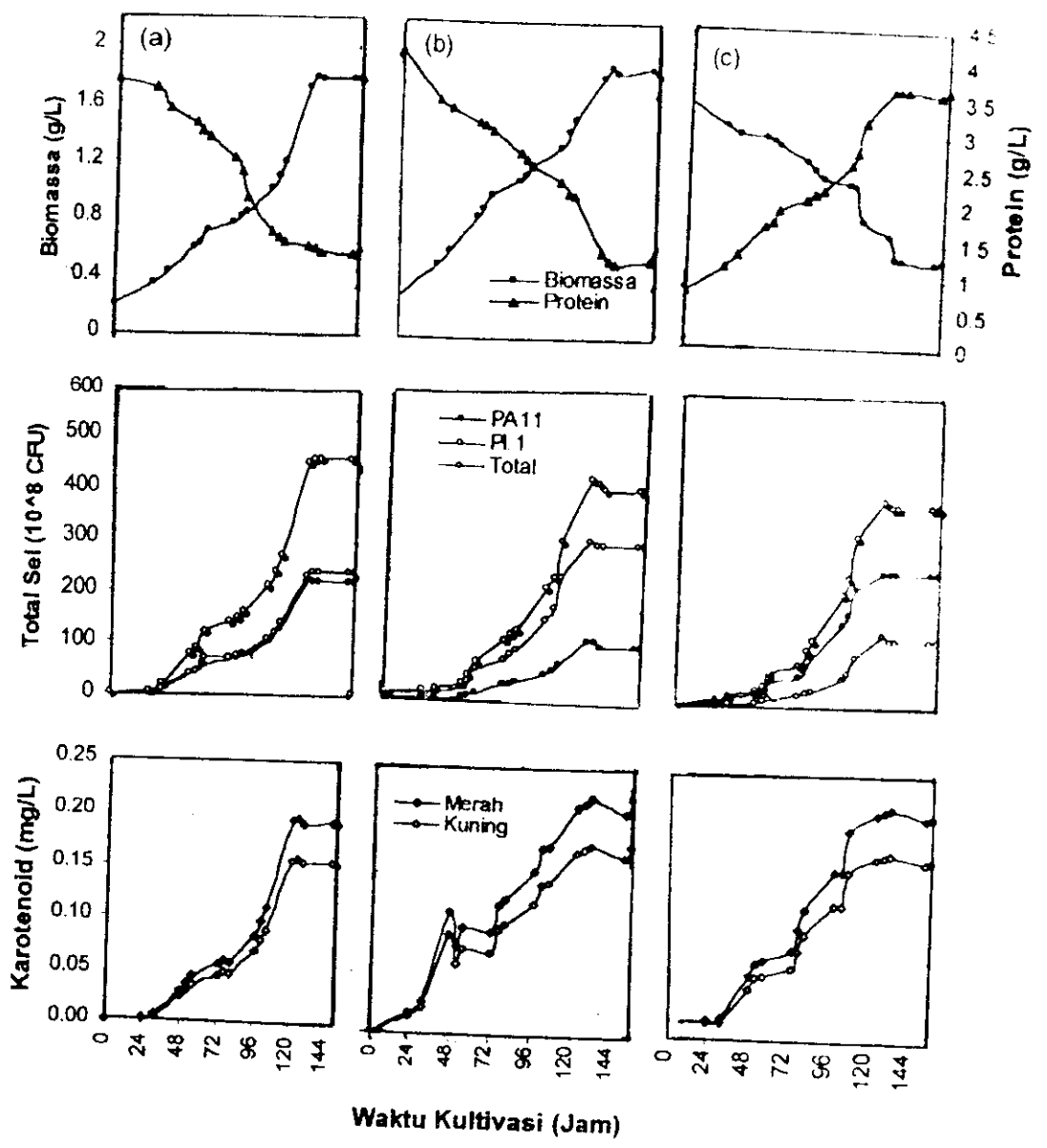
	Kultur Murni		Kultur Campuran (PA ₁₁ , PL ₁) ^a		
	PA ₁₁	PL ₁	1 : 1	1 : 3	3 : 1
Laju pertumbuhan spesifik ^b (jam ⁻¹)					
Total	0.036	0.035	0.034	0.034	0.038
PA ₁₁			0.035	0.035	0.037
PL ₁			0.034	0.033	0.042
Rendemen pertumbuhan (g sel/ g Protein)	3.208	1.2	0.48	0.605	0.732
Karotenoid (mg/g sel)					
Merah	0.104	0.035	0.143	0.167	0.176
Kuning	0.084	0.028	0.113	0.122	0.141
Biomassa maksimum (g/L)	1.200	1.323	1.787	1.887	1.800
Waktu Eksponensial (jam)	4-76	4-76	24-124	24-120	24-120

^a Perbandingan berdasarkan total sel inokulum

^b Basis perhitungan adalah total sel

Berdasarkan Tabel 6, kultivasi kultur campuran pada media LCT menampakkan hasil kinetika yang tidak jauh berbeda dengan menggunakan media RCV. Proporsi 3 : 1 menunjukkan hasil kinetika yang lebih baik

daripada proporsi 1 : 1 dan 1 : 3 dilihat dari laju pertumbuhan, rasio rendemen pertumbuhan, dan kandungan karotenoid



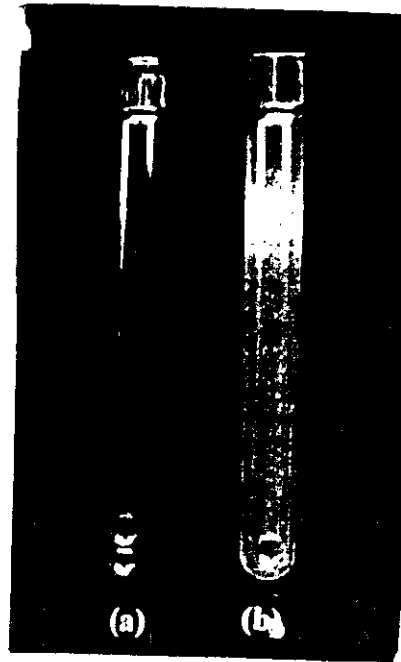
Gambar 15. Pembentukan Biomassa, Konsumsi Substrat (Nitrogen), Total Sel dan Biosintesa Karotenoid Kultur Campuran PA₁₁ dan PL₁ Menggunakan Media LCT
(a) PA₁₁ : PL₁ = 1 : 1; (b) 1 : 3; (c) 3 : 1

Pada kultur campuran menggunakan media LCT, pengaruh perubahan pertumbuhan sel setelah jam ke-76, yang tidak lebih tinggi daripada perubahan pertumbuhan sebelum jam tersebut, dimana kultur murni memasuki fase stasioner, menyebabkan laju pertumbuhan spesifik total kultur campuran pada proporsi 1 : 1 dan 1 : 3 menunjukkan nilai yang lebih rendah daripada kultur murni, akan tetapi menghasilkan biomassa maksimal lebih tinggi (Tabel 6, Gambar 13b, dan Gambar 15).

Pengaruh mutualisme kedua kultur terlihat dari hasil perhitungan kinetika proporsi 3 : 1. Laju pertumbuhan spesifik total 0.038 jam^{-1} dan masing-masing kultur pada kultur campuran (PA_{11} 0.037 jam^{-1} dan PL_1 0.042 jam^{-1}) lebih tinggi daripada kultur murni (PA_{11} 0.036 jam^{-1} dan PL_1 0.035 jam^{-1}).

Rendemen pertumbuhan dengan basis perhitungan protein yang lebih rendah daripada kultur murni menunjukkan bahwa protein merupakan sumber N yang paling banyak digunakan untuk proses metabolisme BFA. Rendemen pertumbuhan tertinggi dicapai pada proporsi 3 : 1 ($0.732 \text{ g sel/g protein}$), dan jika dibandingkan dengan proporsi 1 : 3 (konsentrasi inokulum PL_1 lebih tinggi daripada PA_{11}) menunjukkan bahwa PA_{11} cukup efisien dalam mengonsumsi protein sebagai sumber N. Konsumsi protein yang tinggi pada proporsi 1 : 3 sebagian besar digunakan untuk pembentukan biomassa, karena biomassa maksimum yang dihasilkan (1.887 g/L) lebih tinggi daripada 3 : 1 (1.800 g/L).

PA_{11} tidak menunjukkan hasil yang dominan (Gambar 15). Hal ini disebabkan PA_{11} kurang adaptif pada media LCT dibandingkan PL_1 . Nilai-nilai yang dihasilkan dari perhitungan total sel sesuai dengan perbandingan inokulum. Hal ini menunjukkan pada media LCT tidak ada dominasi masing-masing kultur dalam kultur campuran.



Gambar 16. Perbedaan Warna Kultivasi Kultur Campuran pada Akhir Kultivasi
(a) Media RCV; (b) Media LCT

Secara kuantitatif (Tabel 6), kandungan karotenoid kultur campuran menggunakan media RCV lebih tinggi daripada media LCT. Secara kualitatif hasil tersebut berkorelasi dengan warna merah kultur campuran menggunakan media RCV yang lebih pekat daripada menggunakan media LCT (Gambar 16). Hal ini disebabkan kandungan senyawa-senyawa dan mineral-mineral pendukung biosintesa karotenoid pada media LCT lebih rendah daripada media RCV, sehingga konsentrasi pigmen yang dihasilkan lebih rendah. Menurut Girard *et al.* (1994), konsentrasi astaxanthin yang rendah menyebabkan warna kultur menjadi merah pucat, merah muda dan coklat. Karotenoid yang dihasilkan kultur campuran pada media LCT lebih tinggi daripada kultur murni, dengan nilai tertinggi diperoleh pada proporsi 3 : 1 yaitu 0.176 mg/g sel untuk karotenoid merah dan 0.141 mg/g sel untuk karotenoid kuning.

Limbah cair tahu merupakan media kompleks yang potensial untuk memproduksi biomassa BFA dengan kultivasi kultur campuran, karena menghasilkan biomassa dan karotenoid yang tinggi. Dalam hal ini media RCV sebagai media sintetik dijadikan parameter pembanding kultivasi yang dilakukan.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

PA₁₁ dan PL₁ merupakan isolat lokal Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA) yang diisolasi dari dua sistem aquatik yang berbeda. PA₁₁ diisolasi dari air sedangkan PL₁ dari lumpur.

Pola pertumbuhan dari PA₁₁ dan PL₁ tidak jauh berbeda. Fase lag terjadi pada rentang waktu 0-20 jam, fase akselerasi 12-20 jam, fase eksponensial 20-48 jam, fase stasioner 48-56 jam dan mulai menurun diatas jam ke-56.

Kultivasi kultur campuran menghasilkan laju pertumbuhan spesifik, biomassa maksimum, dan kandungan karotenoid yang lebih tinggi serta waktu eksponensial yang lebih lama mengindikasikan pengaruh mutualisme dan sinergisme kedua kultur pada kultur campuran. Kondisi pertumbuhan terbaik diperoleh pada proporsi 3 : 1 (PA₁₁ : PL₁), baik pada media sintetik maupun media kompleks.

Kultivasi kultur campuran pada proporsi 3 : 1 menggunakan media limbah cair tahu sebagai media kompleks menghasilkan biomassa maksimum 1.800 g/L, laju pertumbuhan spesifik total 0.038 jam⁻¹, kandungan karotenoid 0.176 mg karotenoid merah/g sel dan 0.141 mg karotenoid kuning/g sel, dan rendemen pertumbuhan 0.732 g sel/g protein. Oleh karena itu kultivasi kultur campuran menggunakan media limbah cair tahu sangat potensial untuk memproduksi biomassa BFA.

B. SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka perlu dilakukan (1) penelitian lebih lanjut mengenai efek penghambatan dari penguraian substrat pada kultur murni; (2) penelitian tentang penyebab perubahan pigmen PL₁ dari kuning orange menjadi merah pada saat kultivasi menggunakan media cair; dan (3) penelitian formulasi pakan dari biomassa BFA serta kajian teknis-ekonomisnya.

DAFTAR PUSTAKA

Aiba, S. dan N. Yoshinoro. 1978. Growth Yield of *Rhodobacter sphaeroides* in Light-Anerobic and Dark Aerobic Cultures. *J. Chem. Tech. Biotechnol* 29 : 311-319

Apriyantono, A. 1989. Analisis Pangan. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Bailey, J.E. dan D.F. Ollis. 1977. *Biochemical Engineering Fundamentals* McGraw-Hill, Ne York. 642p.

Brock, T.D. dan M.T. Madigan. 1991. *Biology of Microorganism* Prentice Hall, New Jersey. 814 p.

Burgess, J.G., R. Kawaguchi, A. Yamada, dan T. Matsunaga. 1994. *Rhodobacter marinus* sp. nov. : A New Marine Hydrogen Producing Photosynthetic Bacterium which is Sensitive to Oxygen and Sulphuric. *J. Microbiol* 140 : 965-970

Casida, L.E. 1968. *Industrial Microbiology*. John Wiley and Sons, New York

Chory, J. dan S. Kaplan. 1983. Light Dependent Regulation of The Synthetic of Soluble and Intra-cytoplasma Membrane Protein of *Rhodospirillum rubrum*. *J. Bacteriol.*, Hal. 9-15.

Djiwakusumah, T. 1980. *Budidaya Perikanan Air Tawar*. Unit Penataran-Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Dworkin, M. 1959. Function of Carotenoid in Photosynthetic Bacteria. *Nature*. 184 : 1891-1896.

Fardiaz, S. 1989. *Mikrobiologi Pangan*. Jurusan Pangan dan Gizi-Fateta, IPB Press, Bogor.

Girard, P. *et al.* 1994. Beta Carotene Producing Mutants of *Phaffia rhodozyma*. *Appl. Microbiol. Biotechnol* 41 : 183 -191.

Hariyati, A.I. 1998. Pengaruh Faktor Fisiko Kimia, Nisbah C/N, Media Sintetik dan Jenis Media Kompleks terhadap Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik Skripsi Fateta-IPB, Bogor.

Kondrat'eva. 1965. *Photosynthetic Bacteria*. Terjemahan. Israel Program Sci., Jerusalem.

- Kurosawa, H. H. Ishikawa dan H. Tanaka. 1988. L-Lactic Acid Production from Starch by Mixed Culture System of *Aspergillus awamori* dan *Streptococcus Lactis*. *Biotech. Bioeng.*, 31 : 183-187.
- Kuswardani, I. 1985. Mempelajari Kemungkinan Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Media untuk Memproduksi Enzim Amiloglukosidase dari Kapang yang Diisolasi dari Singkong (*Manihot sp.*) Thesis FPS-IPB, Bogor.
- Lowry, O.H., N.J. Rosenbrough, A.L. Farn, dan R.J. Randall. 1951. Protein Measurement with Folin Phenol Reagent. *J. Biol. Chemistry.* 193,265.
- Mandelstam, J., K. McQuillen, dan I. Doves. 1986. *Biochemistry of Bacterial Growth.* Blackwell Sci. Publ., London.
- Mangunwidjaja, D. dan A. Suryani. 1994. *Teknologi Bioproses.* Penebar Swadaya, Jakarta.
- Meyer, F. 1966. *Method of Vitamin Assay.* Prepared and Edited by The Ass. of Vitamin Chem. Inc. London.
- Noparatnaraporn, N., S. Trakulnaleumsai, R.G. Silveira, Y. Nishizawa dan S. Nagai. 1987. SCP Production by Mixed Culture of *Rhodocyclus gelatinosus* and *Rhodobacter sphaeroides* from Cassava Waste. *Fermentation Technology* 65 : 11-16.
- Parkes, R.J. 1982. Method for Enriching, Isolation, and Analyzing Microbe Communities in Laboratory System. Di dalam J.H. Slater dan A.T. Bull (eds) *Microbial Interaction and Communities.* Vol. 1 CDC Press Inc. BR., Florida
- Pfennig, N. 1967. Photosynthetic Bacteria. *Annual Review of Microbiology.* Vol 21.
- Pirt, S.J. 1975. *Principles of Microbe and Cell Cultivation.* Blackwell Scientific Publ., London.
- Rehm, H.J. dan G. Reed. 1981. *Biotechnology.* Vol 1. Microbiology Fundamentals. Verlag Chemic, Eicheim.
- Said, E.G. 1987. *Bioindustri Penerapan Teknologi Fermentasi.* Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Sasikala, K. Ch.V. Ramana, P. R. Rao, dan K.I. Kovacs. 1993. Anoxygenic Phototropic Bacteria : Physiology and Advances in Hydrogen Production Technology. *Adv. Appl. Microbiol.* 38 : 211-295.

- Schlegel, H.K. dan K. Schmidt. 1994. Mikrobiologi Umum Terjemahan Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Schmidt, K. 1971. Carotenoids of Purple Non-Sulfur Bacteria. Composition and Biosynthesis of The Carotenoids of some strain *Rhodospseudomonas acidophila*, *Rhodospirillum tenue*, and *Rhodocyclus purpureus*. Arch. Microbiol. 77 : 231
- Shipman, R.H., L.T. Fan dan I.C. Kao. 1977. Single Cell Protein Production by Photosynthetic Bacteria. Adv. Appl. Microbiol. 21 : 161-181
- Sistrom, W.R. (1960). A Requirement for Sodium in The Growth of *Rhodospseudomonas spheroides*. J. Gen. Microbiol, 22, 778.
- Slater dan A.T. Bull. 1982. Microbial Interaction and Communities. Vol. 1 CDC Press Inc. BR., Florida
- Somaatmadja, S., M. Ismunadji, Sumarno, M. Syam, S.O. Manurungdan Yuswadi 1981. Kedelai. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Stanburry, P.F. dan A. Whitaker. 1984. Principles of Fermentation Technology Pergamon Press, New York.
- Steel, R.G.D., dan J.H. Torrie. 1980. Principle and Procedure of Statistik. McGraw-Hill Book Co., New York
- Stephen, M.L. dan G. Lyberatos. 1986. Effect of Cycling on Final Mixed Culture Fate. Biotech. Bioeng. 29 : 672-678
- Thamrin, E. 1998. Studi Kinetika Kultivasi Bakteri Fotosintetik Anoksigenik Galur *Rhodobacter sphaeroides* 2.4.1. Skripsi Fateta-IPB, Bogor.
- Van Niels, C.B, 1944. The Culture, General Physiology and Classification of The Non Sulfur Purple and Brown Bacteria. Rev. 8 : 1.
- Weafer, P.F., Judy dan H. Gest. 1975. Characterization of *Rhodospseudomonas capsulata*. Arc Microbiol. 105 : 207-216





Nilai Cipta (Innovation) Unmang-undang

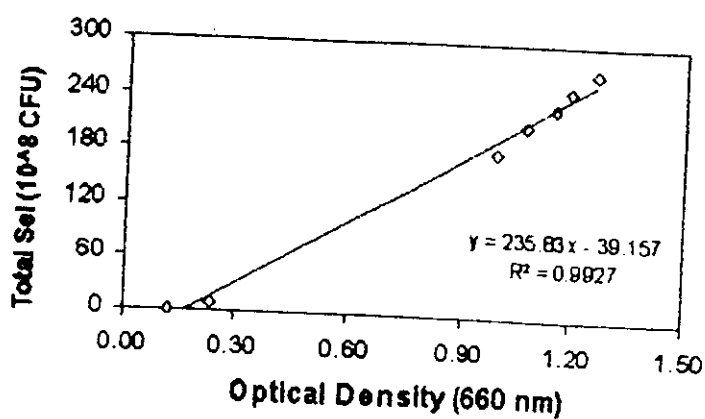
1. Dilakukan sebagai bagian dari seluruh karya yang terapan, pemanfaatan dan dipersebarluaskan
2. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan, keterampilan, pengalaman kerja atau tujuan untuk masalah
3. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
4. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
5. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
6. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
7. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
8. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
9. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan
10. Dipersebarluaskan sebagai bentuk pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Linearitas OD terhadap Total Sel PA_{II} Menggunakan Media RCA

OD ₆₆₀	Total Sel (10 ⁸ CFU)
0.123	0.35
0.235	9
0.991	180
1.071	210
1.153	230
1.198	250
1.265	270

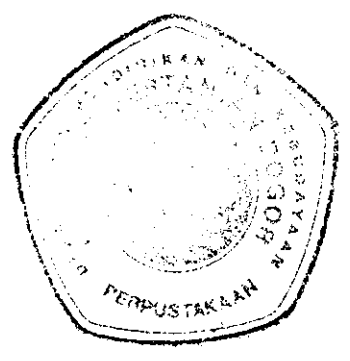
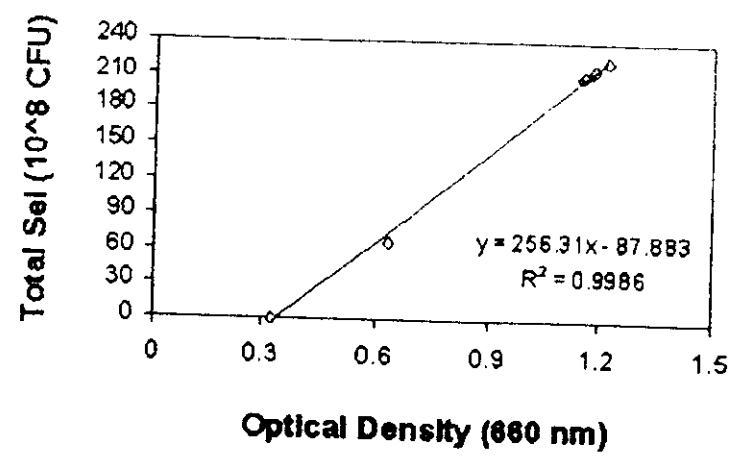
Lampiran 2. Kurva Standar Total Sel PA_{II} Menggunakan Media RCV



Lampiran 3. Linearitas OD terhadap Total Sel PL₁ Menggunakan Media RCV

OD ₆₆₀	Total Sel (10 ⁸ CFU)
0.328	0.058
0.629	67
1.153	210
1.158	210
1.178	210
1.185	220
1.221	220

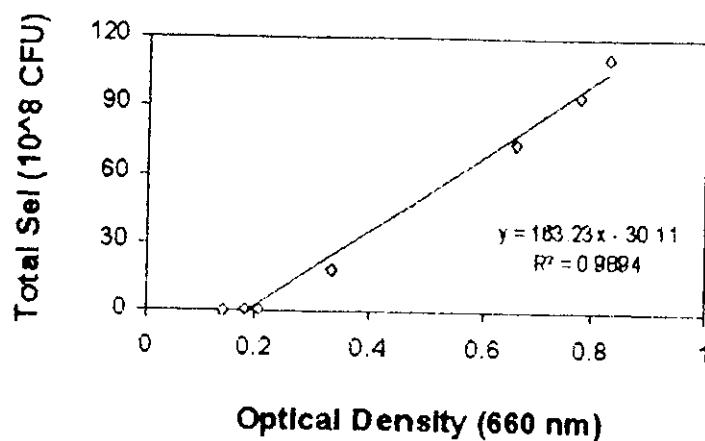
Lampiran 4. Kurva Standar Total Sel PL₁ Menggunakan Media RCV



Lampiran 5. Linearitas OD terhadap Total Sel PA₁₁ Menggunakan Media LCT

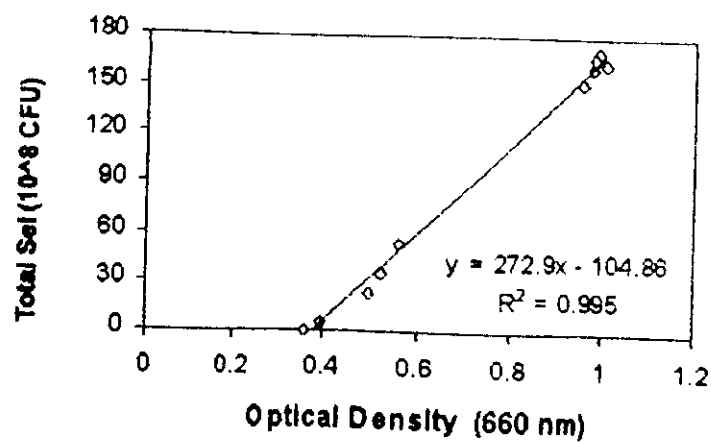
OD ₆₆₀	Total Sel (10 ⁸ CFU)
0.141	0.033
0.181	0.52
0.208	1.1
0.335	18
0.659	74
0.775	95
0.828	110

Lampiran 6. Kurva Standar Total Sel PA₁₁ Menggunakan Media LCT



Lampiran 7 Linearitas OD terhadap Total Sel PL₁ Menggunakan Media LCT

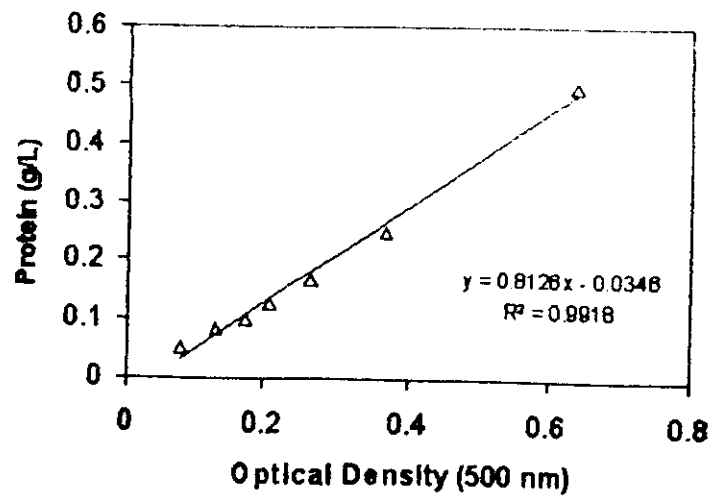
OD ₆₆₀	Total Sel (10 ⁸ CFU)
0.365	0.3
0.397	5
0.501	23
0.527	35
0.563	53
0.976	160
0.991	170
0.984	170
0.955	150
1.007	160

Lampiran 8. Kurva Standar Total Sel PL₁ Menggunakan Media LCT

Lampiran 9. Linearitas OD terhadap Kadar Protein (BSA)

OD ₅₀₀	Protein (g/L)
0.641	0.500
0.367	0.250
0.264	0.167
0.208	0.125
0.175	0.100
0.132	0.083
0.080	0.050

Lampiran 10. Kurva Standar Protein



Lampiran 11 *Standard Plate Count (SPC)*

Standar perhitungan menurut SPC :

1. Cawan yang dipilih dan dihitung yang mengandung jumlah koloni antara 30-300
2. Beberapa koloni yang bergabung menjadi satu koloni yang besar dimana jumlah koloninya diragukan, dapat dihitung sebagai satu koloni
3. Suatu deretan (rantai) koloni yang terlihat sebagai suatu garis tebal dihitung sebagai satu koloni.
4. Hasil yang dilaporkan hanya terdiri dua angka, yaitu angka pertama dan kedua. Jika angka yang ketiga sama dengan atau lebih besar dari 5, harus dibulatkan satu angka lebih tinggi pada angka yang kedua.
5. Jika semua pengenceran yang dibuat menghasilkan koloni kurang dari 30, hanya jumlah koloni hasil pengenceran terendah yang dihitung. Hasilnya dilaporkan kurang dari 30 (< 30), tetapi jumlah sebenarnya dicantumkan dalam tanda kurung.
6. Jika semua pengenceran yang dibuat menghasilkan koloni lebih dari 300, hanya jumlah koloni hasil pengenceran tertinggi yang dihitung. Hasilnya dilaporkan lebih dari 30 (> 30), tetapi jumlah sebenarnya dicantumkan dalam tanda kurung.
7. Jika semua pengenceran yang dibuat menghasilkan koloni dengan jumlah antara 30 dan 300, dan hasil perbandingan tertinggi dan terendah dari kedua pengenceran tersebut lebih kecil atau sama dengan 2, maka hasil perhitungan adalah rata-rata dari kedua nilai tersebut dengan cara memperhitungkan hasil pengenceran. Jika perbandingannya lebih besar dari 2, yang dilaporkan hanya hasil yang terkecil.

Lampiran 12. Warna Kultur Sebagai Basis Penghitungan Total Sel



@Hik cipta mitr IPB University

IPB University

Lampiran 13. Data Pola Pertumbuhan PA_{11} dan PL_{11}

Waktu (Jam)	OD_{660}	
	PA_{11}	PL_{11}
0	0.205	0.521
4	0.219	0.583
8	0.228	0.672
12	0.248	0.677
16	0.275	0.692
20	0.320	0.720
24	0.400	0.840
28	0.555	0.952
32	0.760	1.183
36	0.885	1.394
40	1.013	1.510
44	1.120	1.615
48	1.254	1.661
52	1.320	1.663
56	1.360	1.671
60	1.340	1.720
64	1.340	1.713
68	1.360	1.703
72	1.349	1.673
76	1.326	1.624
80	1.279	1.653
84	1.276	1.652

Lampiran 14. Data Kultivasi PA₁₁ Menggunakan Media RCV

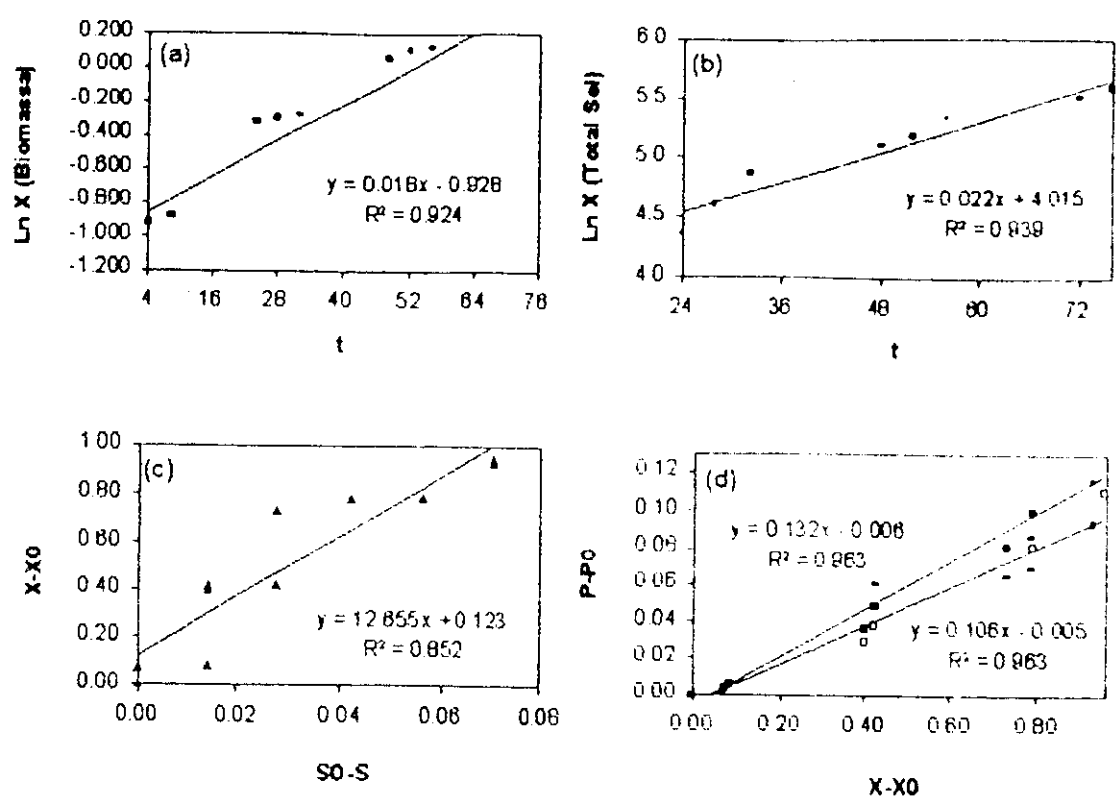
Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10 ⁸ CFU)	Total N (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
0	6.83	0.027	0.327	0.3	0.239	0.000	0.000
4	6.83	0.123	0.400	0.35	0.239	0.003	0.004
8	6.82	0.235	0.413	9	0.225	0.005	0.006
24	6.81	0.668	0.727	78	0.225	0.029	0.036
28	6.81	0.723	0.747	99	0.225	0.039	0.048
32	6.81	0.791	0.753	130	0.211	0.048	0.060
48	6.82	0.941	1.059	170	0.211	0.065	0.081
52	6.82	0.991	1.113	180	0.197	0.069	0.086
56	6.82	1.071	1.120	210	0.183	0.081	0.100
72	6.81	1.187	1.260	250	0.169	0.093	0.116
76	6.82	1.265	1.280	270	0.169	0.111	0.138
80	6.87	1.198	1.287	270	0.155	0.113	0.141
96	6.88	1.181	1.267	270	0.155	0.137	0.171
100	6.83	1.147	1.260	250	0.141	0.148	0.185
104	6.84	1.153	1.273	230	0.155	0.161	0.200

Lampiran 15. Kinetika PA₁₁ Menggunakan Media RCV

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)	X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Total N)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
0	-1.118	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000
4	-0.916	-1.050	0.073	0.000	0.003	0.004
8	-0.884	2.197	0.086	0.014	0.005	0.006
24	-0.319	4.357	0.400	0.014	0.029	0.036
28	-0.292	4.595	0.420	0.014	0.039	0.048
32	-0.284	4.868	0.426	0.028	0.048	0.060
48	0.057	5.136	0.732	0.028	0.065	0.081
52	0.107	5.193	0.786	0.042	0.069	0.086
56	0.113	5.347	0.793	0.056	0.081	0.100
72	0.231	5.521	0.933	0.070	0.093	0.116
76	0.247	5.598	0.953	0.070	0.111	0.138
80	0.252	5.598	0.960	0.084	0.113	0.141
96	0.237	5.598	0.940	0.084	0.137	0.171
100	0.231	5.521	0.933	0.098	0.148	0.185
104	0.241	5.438	0.946	0.084	0.161	0.200

Halaman ini adalah dokumen resmi yang diterbitkan oleh IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di www.ipb.ac.id.
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi dokumen ini tanpa izin tertulis dari penerbit.
 2. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh isi dokumen ini untuk keperluan komersial, politik, atau agama.
 3. Dilarang menggunakan sebagian atau seluruh isi dokumen ini untuk keperluan hukum, politik, atau agama.
 4. Pengutipan harus mencantumkan sumber dan tidak boleh diubah dari isi dokumen ini.
 5. Dokumen ini adalah dokumen resmi yang diterbitkan oleh IPB University.
 6. Dokumen ini adalah dokumen resmi yang diterbitkan oleh IPB University.
 7. Dokumen ini adalah dokumen resmi yang diterbitkan oleh IPB University.

Lampiran 16. Kurva Kinetika PA₁₁ Menggunakan Media RCV



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

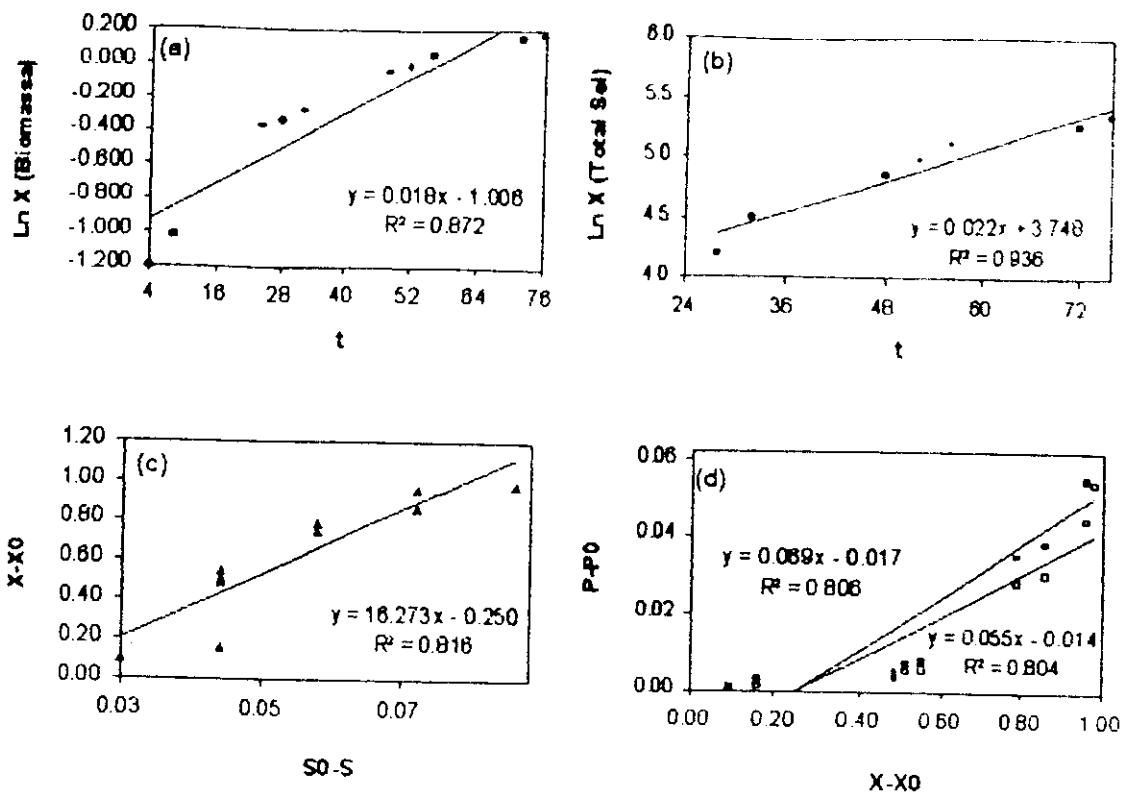
Halaman ini adalah bagian dari dokumen publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh IPB University. Seluruh isi dokumen ini adalah hak cipta IPB University dan tidak boleh disebarluaskan atau digunakan untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari IPB University.

Lampiran 17. Data Kultivasi PL₁ Menggunakan Media RCV

Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10 ⁸ CFU)	Total N (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
0	6.92	0.328	0.200	0.058	0.197	0.000	0.0000
4	6.89	0.394	0.300	0.063	0.169	0.001	0.001
8	6.89	0.435	0.360	0.3	0.155	0.002	0.003
24	6.88	0.560	0.687	40	0.155	0.004	0.005
28	6.88	0.629	0.713	67	0.155	0.006	0.007
32	6.88	0.665	0.753	90	0.155	0.006	0.008
48	6.87	0.924	0.953	130	0.141	0.007	0.009
52	6.86	0.960	0.991	150	0.141	0.028	0.035
56	6.85	0.994	1.060	170	0.127	0.030	0.038
72	6.88	1.112	1.160	200	0.127	0.044	0.055
76	6.88	1.153	1.180	210	0.113	0.054	0.067
80	6.89	1.178	1.172	210	0.113	0.070	0.087
96	6.89	1.185	1.160	220	0.099	0.067	0.083
100	6.92	1.221	1.147	220	0.085	0.065	0.081
104	6.93	1.158	1.120	210	0.085	0.069	0.086

Lampiran 18. Kinetika PL₁ Menggunakan Media RCV

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)	X-X ₀ (Biomassa)	S _n -S (Total N)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
0	-1.609	-2.847	0.000	0.000	0.000	0.000
4	-1.204	-2.765	0.100	0.028	0.001	0.001
8	-1.022	-1.204	0.160	0.042	0.002	0.003
24	-0.375	3.689	0.487	0.042	0.004	0.005
28	-0.338	4.205	0.513	0.042	0.006	0.007
32	-0.284	4.500	0.553	0.042	0.006	0.008
48	-0.048	4.868	0.753	0.056	0.007	0.009
52	-0.009	5.011	0.791	0.056	0.028	0.035
56	0.058	5.136	0.860	0.070	0.030	0.038
72	0.148	5.298	0.960	0.070	0.044	0.055
76	0.166	5.347	0.980	0.084	0.054	0.067
80	0.159	5.347	0.972	0.084	0.070	0.087
96	0.148	5.394	0.960	0.098	0.067	0.083
100	0.137	5.394	0.947	0.112	0.065	0.081
104	0.113	5.347	0.920	0.112	0.069	0.086

Lampiran 19. Kurva Kinetika PL₁ Menggunakan Media RCV

- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
 (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
 (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
 (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Lampiran 20. Data Kultivasi PA₁₁ Menggunakan Media LCT

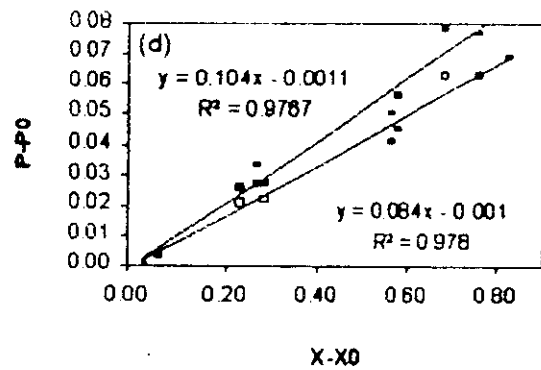
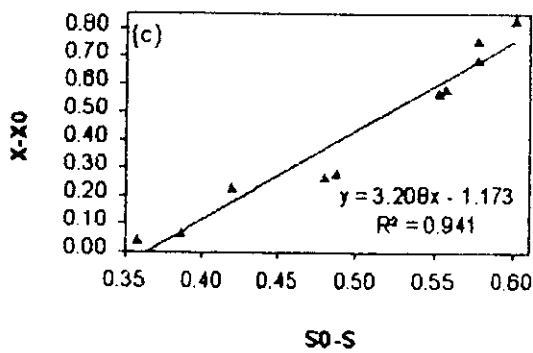
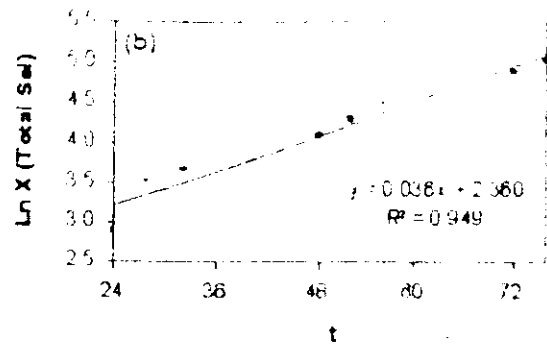
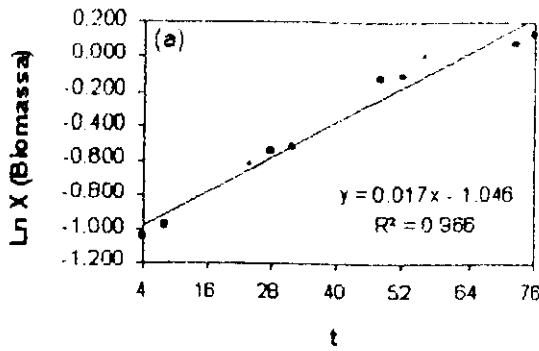
Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)	Protein (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
0	6.83	0.141	0.313	0.033	1.775	0.010	0.013
4	6.82	0.181	0.353	0.52	1.417	0.011	0.014
8	6.81	0.208	0.380	1.1	1.389	0.014	0.017
24	6.80	0.335	0.540	18	1.356	0.031	0.039
28	6.81	0.376	0.580	34	1.295	0.037	0.046
32	6.79	0.447	0.593	39	1.287	0.032	0.040
48	6.80	0.596	0.880	60	1.222	0.051	0.063
52	6.82	0.659	0.893	74	1.218	0.055	0.069
56	6.85	0.775	1.000	89	1.198	0.073	0.091
72	6.81	0.828	1.073	130	1.198	0.073	0.090
76	6.88	0.895	1.140	150	1.174	0.079	0.098
80	6.90	0.960	1.200	160	1.056	0.103	0.143
96	6.84	0.960	1.167	160	0.974	0.086	0.107
100	6.82	1.020	1.173	140	0.946	0.090	0.112
104	6.85	0.877	1.167	140	0.751	0.088	0.110

Lampiran 21. Kinetika PA₁₁ Menggunakan Media LCT

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)	X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Protein)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
0	-1.162	-3.411	0.000	0.000	0.000	0.000
4	-1.041	-0.654	0.040	0.358	0.001	0.001
8	-0.968	0.095	0.067	0.386	0.004	0.004
24	-0.616	2.890	0.227	0.419	0.021	0.026
28	-0.545	3.526	0.267	0.480	0.027	0.033
32	-0.523	3.664	0.280	0.488	0.022	0.027
48	-0.128	4.094	0.567	0.553	0.041	0.050
52	-0.113	4.304	0.580	0.557	0.045	0.056
56	0.000	4.489	0.687	0.577	0.063	0.078
72	0.070	4.868	0.760	0.577	0.063	0.077
76	0.131	5.011	0.827	0.601	0.069	0.085
80	0.182	5.075	0.887	0.719	0.093	0.130
96	0.154	5.075	0.854	0.801	0.076	0.094
100	0.160	4.942	0.860	0.829	0.080	0.099
104	0.154	4.942	0.854	1.024	0.078	0.097



Lampiran 22. Kurva Kinetika PA₁₁ Menggunakan Media LCT



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Lampiran 23. Data Kultivasi PL₁ Menggunakan Media LCT

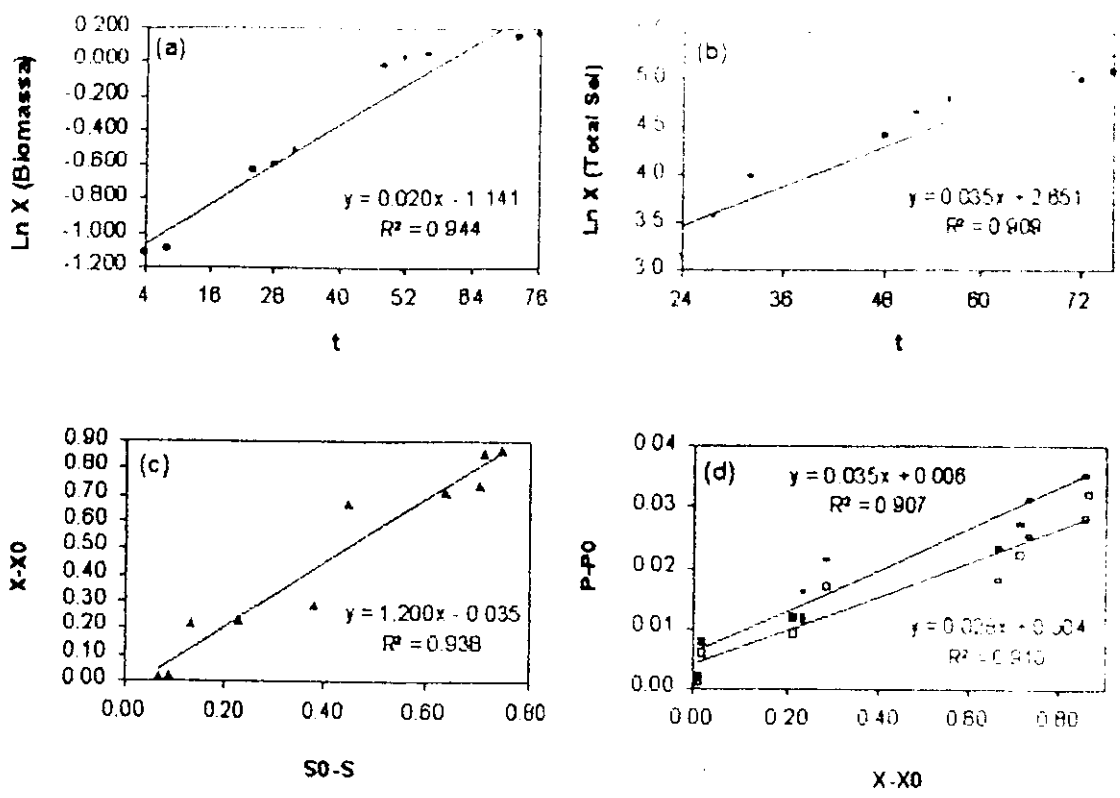
Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10 ⁸ CFU)	Protein (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
0	6.90	0.339	0.313	0.3	1.371	0.001	0.001
4	6.87	0.365	0.327	0.3	1.305	0.002	0.003
8	6.83	0.397	0.333	5	1.286	0.007	0.009
24	6.80	0.501	0.529	23	1.240	0.010	0.013
28	6.77	0.527	0.549	35	1.145	0.013	0.017
32	6.78	0.563	0.599	53	0.991	0.018	0.022
48	6.78	0.807	0.980	82	0.922	0.019	0.024
52	6.79	0.826	1.023	110	0.735	0.023	0.028
56	6.80	0.869	1.048	120	0.670	0.026	0.032
72	6.81	0.970	1.170	150	0.662	0.029	0.036
76	6.84	0.976	1.180	160	0.625	0.033	0.042
80	6.85	0.991	1.293	170	0.609	0.038	0.048
96	6.91	0.984	1.321	170	0.645	0.039	0.048
100	6.91	0.955	1.323	150	0.580	0.038	0.047
104	6.91	1.007	1.322	160	0.548	0.039	0.054

Lampiran 24. Kinetika PL₁ Menggunakan Media LCT

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)	X-X ₀ (Biomassa)	S _p -S (Protein)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
0	-1.162	-1.204	0.000	0.000	0.000	0.000
4	-1.118	-1.204	0.014	0.066	0.001	0.002
8	-1.100	1.609	0.020	0.085	0.006	0.008
24	-0.637	3.135	0.216	0.131	0.009	0.012
28	-0.600	3.555	0.236	0.226	0.012	0.016
32	-0.512	3.970	0.286	0.380	0.017	0.021
48	-0.020	4.407	0.667	0.449	0.018	0.023
52	0.023	4.700	0.710	0.636	0.022	0.027
56	0.047	4.787	0.735	0.701	0.025	0.031
72	0.157	5.011	0.857	0.709	0.028	0.035
76	0.166	5.075	0.867	0.746	0.032	0.041
80	0.257	5.136	0.980	0.762	0.037	0.047
96	0.278	5.136	1.008	0.726	0.038	0.047
100	0.280	5.011	1.010	0.791	0.037	0.046
104	0.279	5.075	1.009	0.823	0.038	0.053



Lampiran 25. Kurva Kinetika PL₁ Menggunakan Media LCT



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Halaman ini adalah dokumen resmi dari IPB University dan merupakan hak cipta IPB University. Tidak diperbolehkan untuk menyalin, mendistribusikan, atau melakukan tindakan lain yang melanggar hukum tanpa izin tertulis dari IPB University.

Lampiran 26. Data Kultivasi Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media RCV

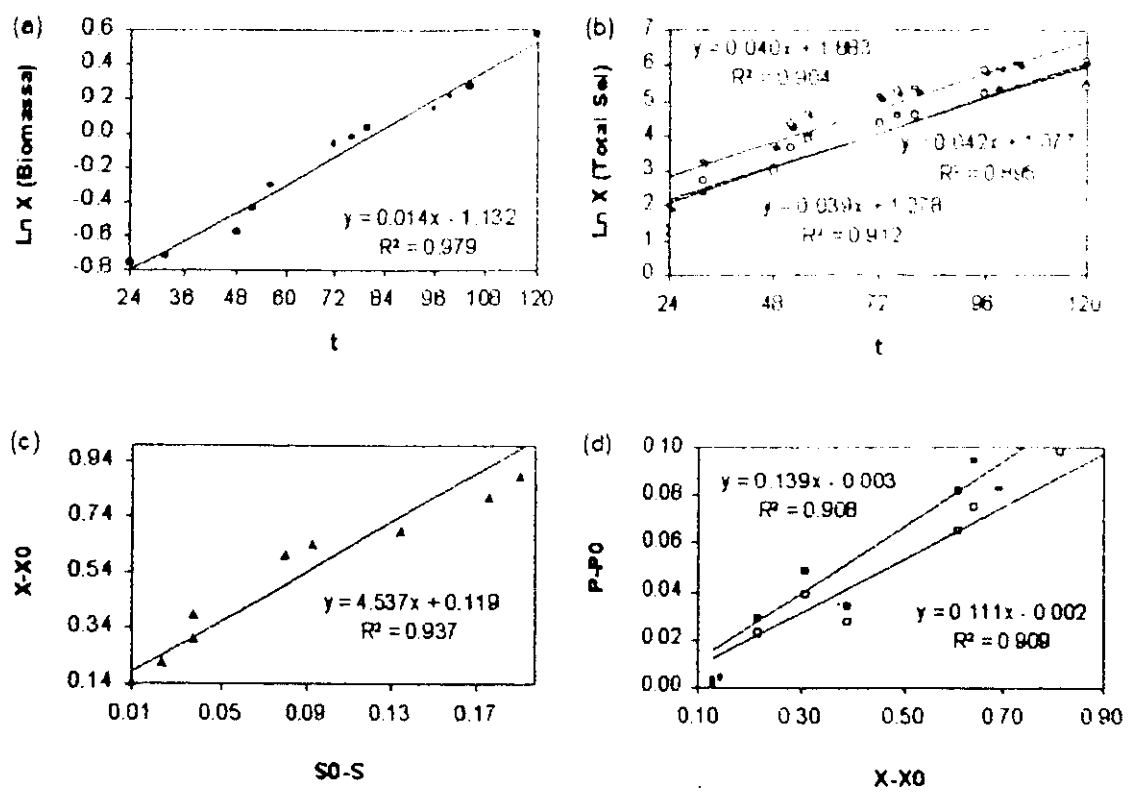
Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)			Total N (g/L)	Karetinoid Kuning (mg/L)	Karetinoid Merah (mg/L)
				PA ₁₁	PL ₁	Total			
0	6.79	0.299	0.340	0.42	0.51	0.93	0.345	0.000	0.000
24	6.78	0.426	0.473	3.1	4.1	7.2	0.331	0.005	0.007
32	6.78	0.469	0.487	11	15	26	0.331	0.018	0.022
48	6.82	0.542	0.560	21	19	40	0.317	0.038	0.047
52	6.81	0.586	0.647	37	39	76	0.304	0.076	0.094
56	6.81	0.632	0.733	53	47	100	0.304	0.080	0.100
72	6.87	0.787	0.947	83	76	160	0.262	0.093	0.116
76	6.89	0.860	0.980	97	89	190	0.248	0.118	0.147
80	6.87	0.895	1.033	100	95	200	0.206	0.129	0.161
96	6.86	0.938	1.153	180	170	350	0.166	0.139	0.174
100	6.85	0.976	1.233	190	180	370	0.152	0.155	0.192
104	6.86	1.232	1.307	200	210	410	0.138	0.190	0.236
120	6.90	1.307	1.780	230	220	450	0.097	0.215	0.268
124	6.91	1.523	1.793	230	210	440	0.097	0.202	0.251
128	6.90	1.522	1.787	230	210	440	0.097	0.172	0.214
148	6.92	1.524	1.773	230	200	430	0.083	0.164	0.203
152	6.92	1.525	1.780	230	210	440	0.083	0.119	0.148

Lampiran 27. Kinetika Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media RCV

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			N-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Total N)	P-P ₀ (Karetinoid Kuning)	P-P ₀ (Karetinoid Merah)
		PA ₁₁	PL ₁	Total				
0	-1.079	-0.868	-0.673	-0.073	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-0.749	1.131	1.411	1.574	0.133	0.014	0.002	0.003
32	-0.719	2.398	2.708	3.258	0.147	0.014	0.004	0.004
48	-0.580	3.045	2.944	3.689	0.220	0.028	0.023	0.029
52	-0.435	3.611	3.664	4.331	0.307	0.041	0.039	0.049
56	-0.311	3.970	3.850	4.605	0.393	0.041	0.027	0.034
72	-0.054	4.419	4.331	5.075	0.607	0.083	0.065	0.082
76	-0.020	4.575	4.489	5.247	0.640	0.097	0.075	0.094
80	0.032	4.605	4.554	5.298	0.693	0.139	0.083	0.104
96	0.142	5.193	5.136	5.858	0.813	0.179	0.098	0.123
100	0.209	5.247	5.193	5.914	0.893	0.193	0.113	0.141
104	0.268	5.298	5.347	6.016	0.967	0.207	0.123	0.154
120	0.577	5.438	5.394	6.109	1.440	0.248	0.129	0.161
124	0.584	5.438	5.347	6.087	1.453	0.248	0.133	0.166
128	0.581	5.438	5.347	6.087	1.447	0.248	0.156	0.195
148	0.573	5.438	5.298	6.064	1.433	0.262	0.168	0.209
152	0.577	5.438	5.347	6.087	1.440	0.262	0.192	0.240

Has Cipta Pionir dan Inovasi
 1. Dilakukan dengan menggunakan data hasil percobaan yang ada dan menggunakan metode yang sesuai
 2. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 3. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 4. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 5. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 6. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 7. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 8. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 9. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai
 10. Pengujian hasil percobaan menggunakan metode yang sesuai

Lampiran 28. Kurva Kinetika Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media RCV



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Halaman ini adalah dokumen resmi yang diterbitkan oleh IPB University. Seluruh isi dokumen ini adalah hak cipta IPB University. Tidak diperbolehkan untuk menyalin, mendistribusikan, atau melakukan tindakan lain yang melanggar hak cipta IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan hubungi IPB University.

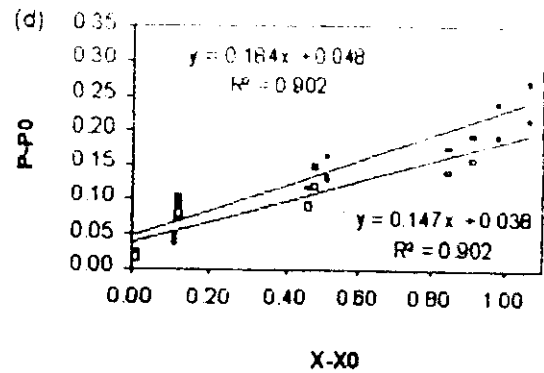
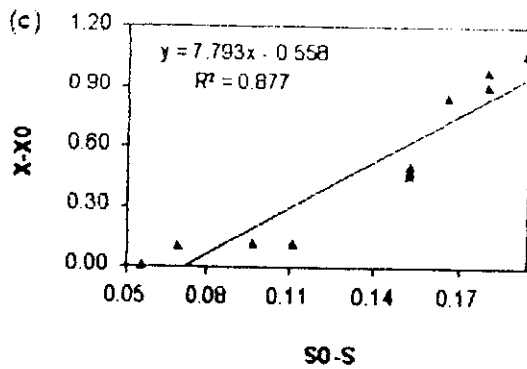
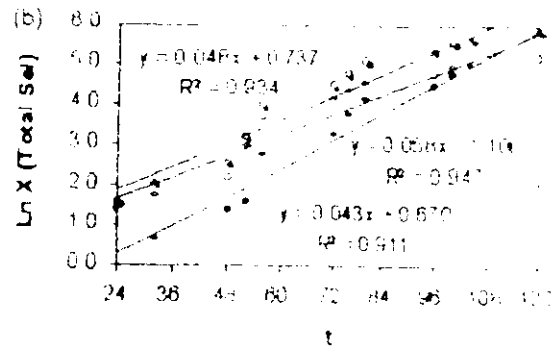
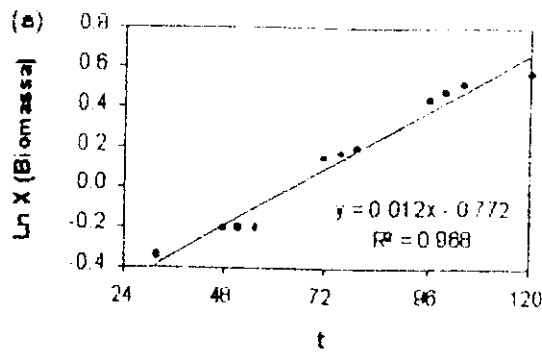
Lampiran 29. Data Kultivasi Kultur Campuran 1 : 3 Menggunakan Media RCV

Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)			Total N (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
				PA ₁₁	PL ₁	Total			
0	6.87	0.449	0.700	0.7	2.5	3.2	0.373	0.000	0.000
24	6.81	0.554	0.720	0.9	4	4.9	0.331	0.005	0.007
32	6.80	0.605	0.713	1.9	5.8	7.7	0.317	0.018	0.022
48	6.84	0.684	0.813	4.1	8.9	13	0.304	0.038	0.047
52	6.85	0.743	0.820	5	19	24	0.276	0.076	0.094
56	6.89	0.752	0.820	16	39	55	0.262	0.080	0.100
72	6.90	0.979	1.160	26	64	90	0.221	0.093	0.116
76	6.77	1.053	1.180	42	77	120	0.221	0.118	0.147
80	6.76	1.155	1.213	65	96	160	0.221	0.129	0.161
96	6.78	1.273	1.550	91	120	210	0.207	0.139	0.174
100	6.77	1.367	1.610	120	140	260	0.193	0.155	0.192
104	6.80	1.436	1.680	140	150	290	0.193	0.190	0.236
120	6.82	1.584	1.767	170	180	350	0.172	0.215	0.268
124	6.85	1.562	1.813	180	170	350	0.110	0.202	0.251
128	6.87	1.558	1.820	170	170	340	0.083	0.172	0.214
148	6.88	1.560	1.818	180	170	350	0.083	0.164	0.203
152	6.88	1.550	1.813	170	170	340	0.069	0.119	0.148

Lampiran 30. Kinetika Kultur Campuran 1 : 3 Menggunakan Media RCV

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Total N)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
		PA ₁₁	PL ₁	Total				
0	-0.357	-0.357	0.916	1.163	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-0.329	-0.105	1.386	1.589	0.020	0.042	0.005	0.007
32	-0.338	0.642	1.758	2.041	0.013	0.056	0.018	0.022
48	-0.207	1.411	2.186	2.565	0.113	0.069	0.038	0.047
52	-0.198	1.609	2.944	3.178	0.120	0.097	0.076	0.094
56	-0.198	2.773	3.664	4.007	0.120	0.111	0.080	0.100
72	0.148	3.258	4.159	4.500	0.460	0.152	0.093	0.116
76	0.166	3.738	4.344	4.787	0.480	0.152	0.118	0.147
80	0.193	4.174	4.564	5.075	0.513	0.152	0.129	0.161
96	0.438	4.511	4.787	5.347	0.850	0.166	0.139	0.174
100	0.476	4.787	4.942	5.561	0.910	0.180	0.155	0.192
104	0.519	4.942	5.011	5.670	0.980	0.180	0.190	0.236
120	0.569	5.136	5.193	5.858	1.067	0.194	0.215	0.268
124	0.595	5.193	5.136	5.858	1.113	0.263	0.202	0.251
128	0.599	5.136	5.136	5.829	1.120	0.290	0.172	0.214
148	0.598	5.193	5.136	5.858	1.118	0.290	0.164	0.203
152	0.595	5.136	5.136	5.829	1.113	0.304	0.119	0.148

Lampiran 31. Kurva Kinetika Kultur Campuran 1-3 Menggunakan Media RCV



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

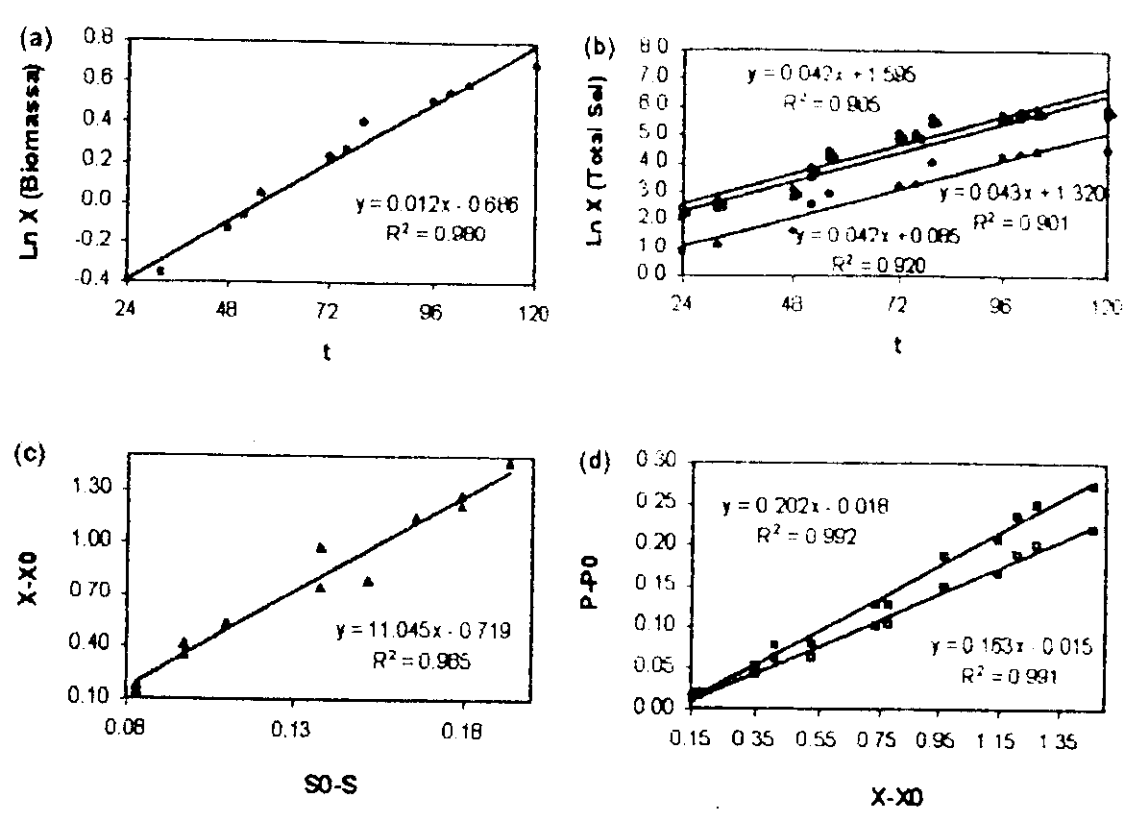
Lampiran 32. Data Kultivasi Kultur Campuran 3:1 Menggunakan Media RCV

Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)			Total N (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Keratin (g/L)
				PA ₁₁	PL ₁	Total			
0	6.94	0.406	0.520	3.2	1.3	5	0.276	0.003	0.004
24	6.88	0.602	0.673	8.3	2.4	11	0.193	0.015	0.019
32	6.85	0.625	0.700	11	3	14	0.193	0.019	0.024
48	6.89	0.758	0.873	16	5	21	0.179	0.045	0.056
52	6.86	0.802	0.933	32	13	45	0.179	0.065	0.081
56	6.80	0.892	1.047	65	19	84	0.166	0.066	0.083
72	6.85	1.058	1.260	130	25	160	0.138	0.104	0.130
76	6.83	1.067	1.301	130	26	160	0.124	0.106	0.131
80	6.86	1.287	1.490	210	57	270	0.138	0.153	0.190
96	6.92	1.369	1.667	240	69	310	0.110	0.168	0.210
100	6.95	1.420	1.733	260	76	340	0.097	0.192	0.239
104	6.83	1.468	1.793	280	83	360	0.097	0.204	0.254
120	6.90	1.528	1.983	300	91	390	0.083	0.222	0.276
124	6.91	1.629	2.000	340	110	450	0.069	0.272	0.339
128	6.92	1.751	2.060	380	120	500	0.069	0.290	0.361
148	6.93	1.642	2.020	340	110	450	0.055	0.273	0.340
152	6.87	1.605	1.973	330	100	430	0.055	0.273	0.340

Lampiran 33. Kinetika Kultur Campuran 3:1 Menggunakan Media RCV

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Total N)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
		PA ₁₁	PL ₁	Total				
0	-0.654	1.163	0.262	1.609	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-0.396	2.116	0.875	2.398	0.153	0.083	0.012	0.015
32	-0.357	2.398	1.099	2.639	0.180	0.083	0.016	0.020
48	-0.136	2.773	1.609	3.045	0.353	0.097	0.042	0.052
52	-0.069	3.466	2.565	3.807	0.413	0.097	0.062	0.077
56	0.046	4.174	2.944	4.431	0.527	0.110	0.063	0.079
72	0.231	4.868	3.219	5.075	0.740	0.138	0.101	0.126
76	0.263	4.868	3.258	5.075	0.781	0.152	0.102	0.127
80	0.399	5.347	4.043	5.598	0.970	0.138	0.150	0.186
96	0.511	5.481	4.234	5.737	1.147	0.166	0.165	0.206
100	0.550	5.561	4.331	5.829	1.213	0.179	0.189	0.235
104	0.584	5.635	4.419	5.886	1.273	0.179	0.201	0.250
120	0.685	5.704	4.511	5.966	1.463	0.193	0.219	0.272
124	0.693	5.829	4.700	6.109	1.480	0.207	0.269	0.335
128	0.723	5.940	4.787	6.215	1.540	0.207	0.287	0.357
148	0.703	5.829	4.700	6.109	1.500	0.221	0.270	0.336
152	0.680	5.799	4.605	6.064	1.453	0.221	0.270	0.336

Lampiran 34. Kurva Kinetika Kultur Campuran 3 : 1 Menggunakan Media RCV



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Halaman ini adalah bagian dari dokumen publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh IPB University. Seluruh isi dokumen ini dilindungi oleh undang-undang hak cipta. Tidak diperbolehkan untuk menyalin, mendistribusikan, atau melakukan tindakan lain yang melanggar hukum tanpa izin tertulis dari IPB University.

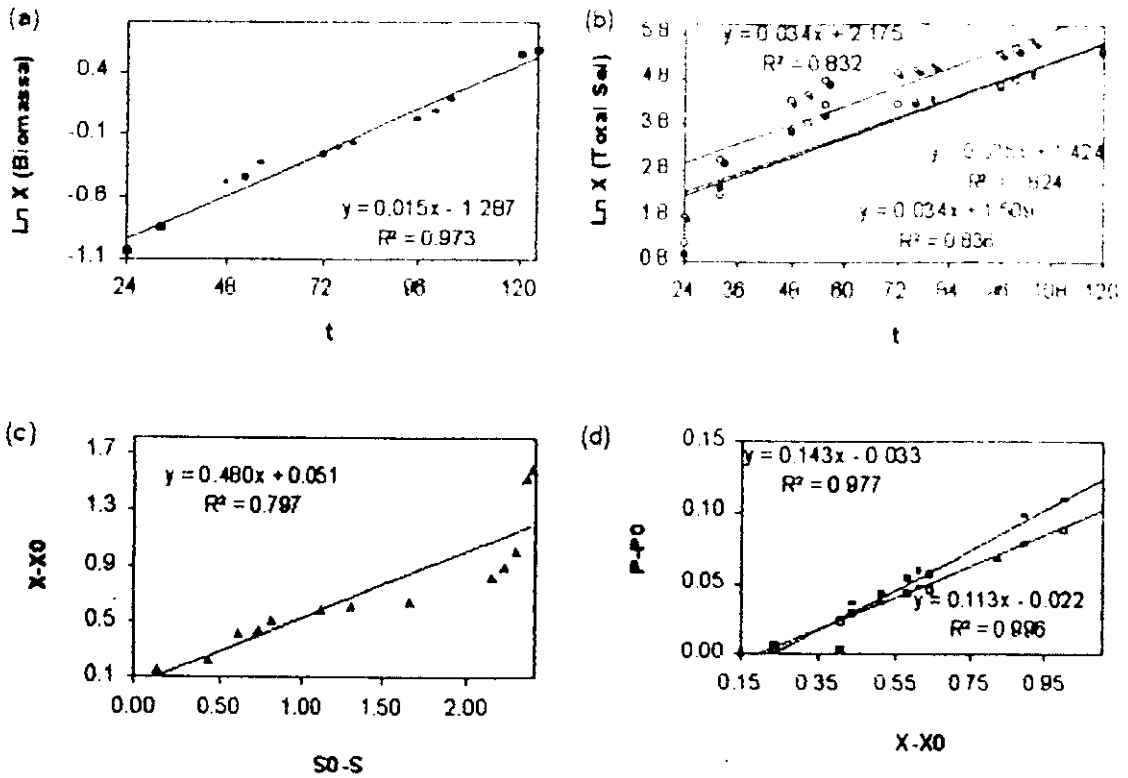
Lampiran 35. Data Kultivasi Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media LCT

Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)			Protein (g/L)	Karateno id Kuning (mg/L)	Karateno id Merah (mg/L)
				PA ₁₁	PL ₁	Total			
0	6.83	0.200	0.200	0.5	0.3	0.8	3.619	0.000	0.000
24	6.79	0.329	0.353	2.5	3.3	5.8	3.489	0.001	0.001
32	6.78	0.356	0.433	11	9.5	21	3.189	0.004	0.005
48	6.81	0.533	0.607	38	39	77	3.010	0.024	0.030
52	6.81	0.563	0.640	44	45	89	2.888	0.029	0.036
56	6.82	0.573	0.713	55	69	120	2.807	0.035	0.043
72	6.84	0.712	0.780	66	69	140	2.502	0.043	0.054
76	6.85	0.702	0.813	71	74	150	2.311	0.047	0.059
80	6.83	0.728	0.840	76	79	160	1.946	0.045	0.057
96	6.87	0.933	1.020	100	110	210	1.475	0.067	0.083
100	6.89	0.901	1.093	120	120	240	1.397	0.078	0.097
104	6.90	0.989	1.200	130	140	270	1.328	0.088	0.109
120	6.95	1.476	1.720	220	230	450	1.267	0.155	0.193
124	6.92	1.456	1.787	220	240	460	1.235	0.157	0.195
128	6.87	1.477	1.780	220	240	460	1.182	0.153	0.190
148	6.88	1.491	1.780	220	240	460	1.157	0.154	0.191
152	6.89	1.423	1.773	220	240	460	1.145	0.152	0.190

Lampiran 36. Kinetika Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media LCT

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Protein)	P-P ₀ (Karateno id Kuning)	P-P (Karateno id Merah)
		PA ₁₁	PL ₁	Total				
0	-1.609	-0.693	-1.204	-0.223	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-1.041	0.916	1.194	1.758	0.153	0.130	0.001	0.001
32	-0.837	2.398	2.251	3.045	0.233	0.430	0.005	0.004
48	-0.499	3.638	3.664	4.344	0.407	0.609	0.003	0.024
52	-0.446	3.784	3.807	4.489	0.440	0.731	0.036	0.029
56	-0.338	4.007	4.234	4.787	0.513	0.812	0.043	0.035
72	-0.248	4.190	4.234	4.942	0.580	1.117	0.054	0.043
76	-0.207	4.263	4.304	5.011	0.613	1.308	0.059	0.047
80	-0.174	4.331	4.369	5.075	0.640	1.673	0.057	0.045
96	0.020	4.605	4.700	5.347	0.820	2.144	0.067	0.067
100	0.089	4.787	4.787	5.481	0.893	2.222	0.097	0.078
104	0.182	4.868	4.942	5.598	1.000	2.291	0.109	0.088
120	0.542	5.394	5.438	6.109	1.520	2.352	0.193	0.155
124	0.581	5.394	5.481	6.131	1.587	2.384	0.195	0.157
128	0.577	5.394	5.481	6.131	1.580	2.437	0.190	0.153
148	0.577	5.394	5.481	6.131	1.580	2.462	0.191	0.154
152	0.573	5.394	5.481	6.131	1.573	2.474	0.190	0.152

Lampiran 37. Kurva Kinetika Kultur Campuran 1 : 1 Menggunakan Media LCT



- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
- (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
- (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
- (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

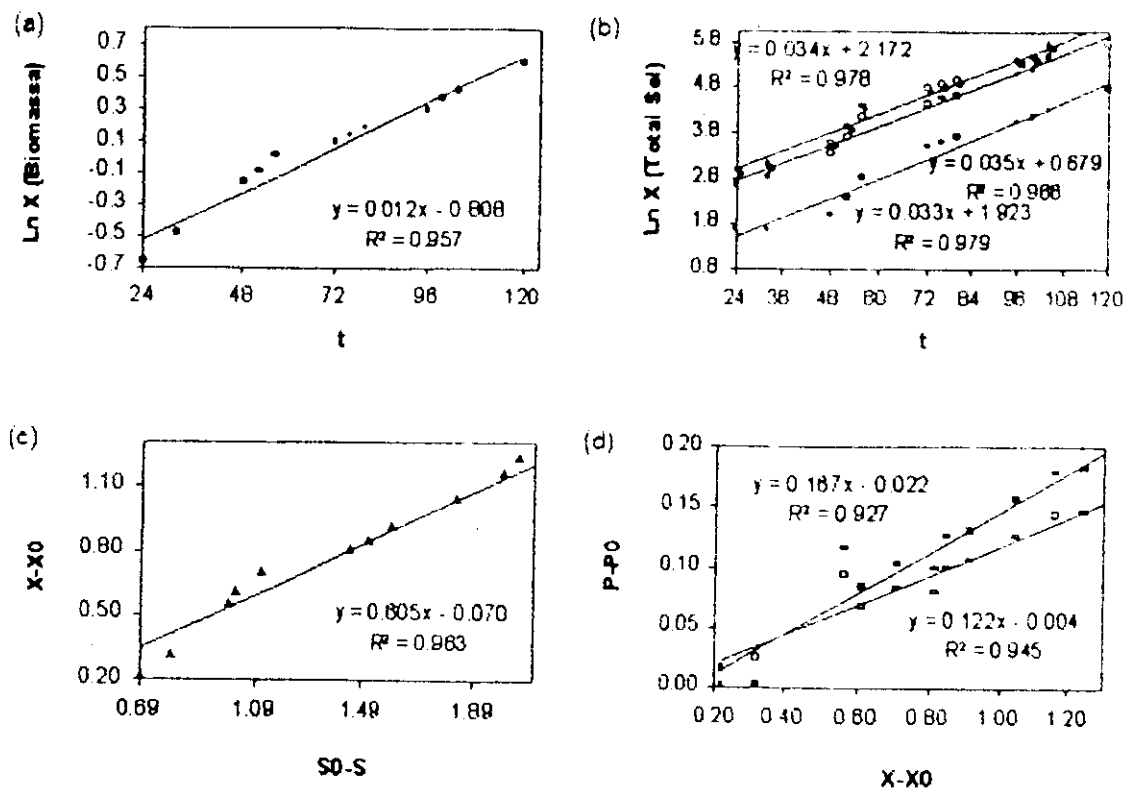
Lampiran 38. Data Kultivasi Kultur Campuran 1:3 Menggunakan Media LCT

Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^8 CFU)			Protein (g/L)	Karatenooid Kuning (mg/L)	Karatenooid Merah (mg/L)
				PA ₁₁	PL ₁	Total			
0	6.88	0.281	0.293	4.1	8.9	13	4.079	0.000	0.000
24	6.85	0.454	0.513	5.3	14	19	3.388	0.016	0.020
32	6.81	0.433	0.613	5.1	17	22	3.278	0.025	0.031
48	6.76	0.728	0.853	7.3	29	36	3.083	0.094	0.116
52	6.77	0.768	0.907	11	40	51	3.059	0.068	0.084
56	6.79	0.723	1.000	17	62	79	2.965	0.082	0.102
72	6.84	0.920	1.100	33	83	120	2.644	0.079	0.099
76	6.85	0.955	1.140	36	93	130	2.567	0.100	0.125
80	6.86	1.005	1.207	40	100	140	2.486	0.105	0.130
96	6.87	1.231	1.340	56	160	220	2.254	0.126	0.157
100	6.90	1.201	1.453	63	180	240	2.084	0.144	0.179
104	6.90	1.255	1.530	72	240	310	2.039	0.146	0.181
120	6.89	1.499	1.827	120	310	430	1.255	0.176	0.219
124	6.87	1.546	1.887	120	300	420	1.137	0.178	0.222
128	6.85	1.523	1.853	110	300	410	1.092	0.183	0.228
148	6.86	1.536	1.873	110	300	410	1.149	0.171	0.213
152	6.87	1.522	1.853	110	300	410	1.255	0.183	0.228

Lampiran 39. Kinetika Kultur Campuran 1:3 Menggunakan Media LCT

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Protein)	P-P ₀ (Karatenooid Kuning)	P-P ₀ (Karatenooid Merah)
		PA ₁₁	PL ₁	Total				
0	-1.228	1.411	2.186	2.565	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-0.667	1.668	2.639	2.944	0.220	0.691	0.016	0.002
32	-0.489	1.629	2.833	3.091	0.320	0.801	0.025	0.003
48	-0.159	1.988	3.367	3.584	0.560	0.996	0.094	0.116
52	-0.098	2.398	3.689	3.932	0.614	1.020	0.068	0.084
56	0.000	2.833	4.127	4.369	0.707	1.114	0.082	0.102
72	0.095	3.497	4.419	4.787	0.807	1.435	0.079	0.099
76	0.131	3.584	4.533	4.868	0.847	1.512	0.100	0.125
80	0.188	3.689	4.605	4.942	0.914	1.593	0.105	0.130
96	0.293	4.025	5.075	5.394	1.047	1.825	0.126	0.157
100	0.374	4.143	5.193	5.481	1.160	1.995	0.144	0.179
104	0.425	4.277	5.481	5.737	1.237	2.040	0.146	0.181
120	0.603	4.787	5.737	6.064	1.534	2.824	0.176	0.219
124	0.635	4.787	5.704	6.040	1.594	2.942	0.178	0.222
128	0.617	4.700	5.704	6.016	1.560	2.987	0.183	0.228
148	0.628	4.700	5.704	6.016	1.580	2.930	0.171	0.213
152	0.617	4.700	5.704	6.016	1.560	2.824	0.183	0.228

Lampiran 40. Kurva Kinetika Kultur Campuran 1.3 Menggunakan Media LCI



(a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
 (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
 (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
 (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p,x}$)

Halaman ini adalah bagian dari dokumen publikasi ilmiah yang diterbitkan oleh IPB University. Seluruh isi dokumen ini dilindungi oleh undang-undang hak cipta. Tidak diperbolehkan untuk menyalin, mendistribusikan, atau melakukan tindakan lain yang melanggar hukum tanpa izin tertulis dari IPB University.

Lampiran 41. Data Kultivasi Kultur Campuran 3 : 1 Menggunakan Media LCT

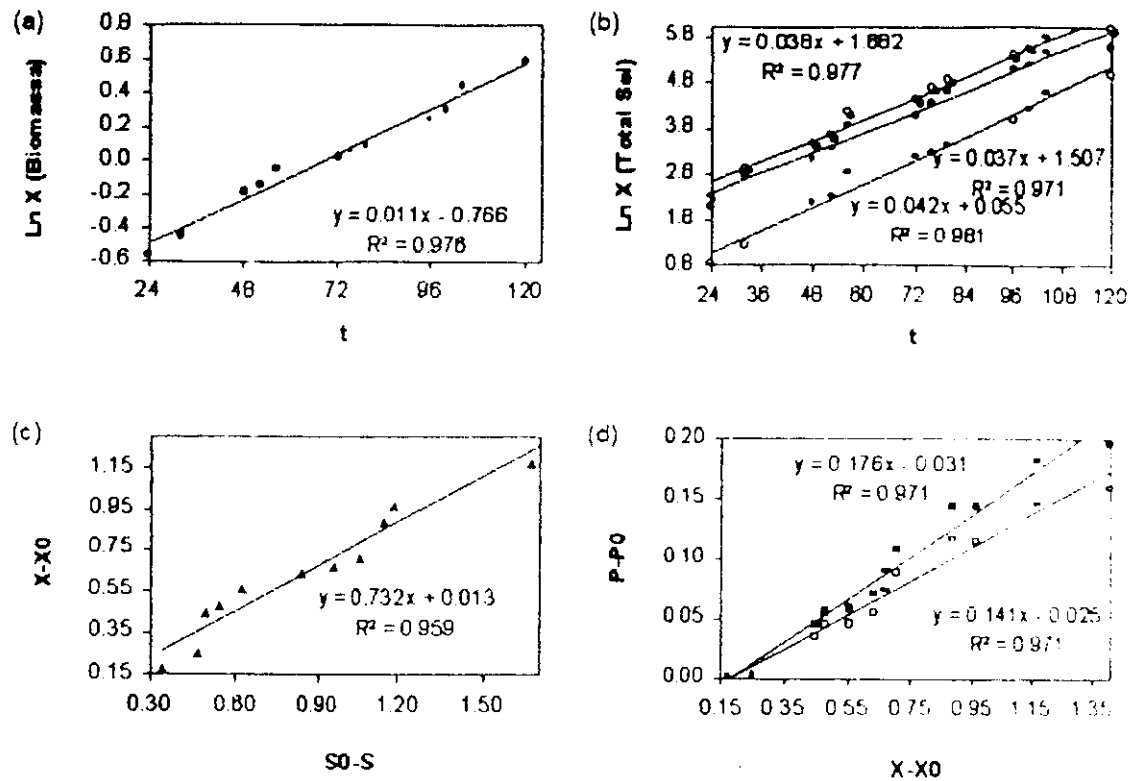
Waktu (Jam)	pH	OD (660 nm)	Biomassa (g/L)	Total Sel (10^9 CFU)			Protein (g/L)	Karotenoid Kuning (mg/L)	Karotenoid Merah (mg/L)
				PA _{II}	PL _I	Total			
0	6.76	0.295	0.393	4.1	1.3	5.4	3.477	0.014	0.017
24	6.75	0.354	0.567	8.1	2.3	10	3.136	0.016	0.019
32	6.79	0.381	0.647	16	3.4	19	3.014	0.016	0.020
48	6.81	0.696	0.840	23	8.9	32	2.986	0.049	0.061
52	6.80	0.731	0.873	29	10	39	2.933	0.059	0.073
56	6.83	0.800	0.953	49	17	66	2.856	0.061	0.076
72	6.84	0.867	1.027	60	24	84	2.64	0.069	0.086
76	6.85	0.899	1.060	79	26	110	2.514	0.086	0.107
80	6.85	0.934	1.100	100	31	130	2.413	0.101	0.125
96	6.87	1.244	1.280	160	56	220	2.327	0.129	0.160
100	6.87	1.211	1.360	180	68	250	2.291	0.128	0.160
104	6.89	1.356	1.567	230	98	330	1.803	0.160	0.199
120	6.88	1.584	1.800	260	140	400	1.604	0.173	0.214
124	6.87	1.571	1.787	260	130	390	1.279	0.176	0.219
128	6.86	1.562	1.793	260	130	390	1.259	0.178	0.221
148	6.88	1.567	1.767	260	130	390	1.239	0.169	0.211
152	6.85	1.495	1.793	260	130	390	1.247	0.171	0.213

Lampiran 42. Kinetika Kultur Campuran 3: 1 Menggunakan Media LCT

t	Ln X (Biomassa)	Ln X (Total Sel)			X-X ₀ (Biomassa)	S ₀ -S (Protein)	P-P ₀ (Karotenoid Kuning)	P-P ₀ (Karotenoid Merah)
		PA _{II}	PL _I	Total				
0	-0.934	1.411	0.262	1.686	0.000	0.000	0.000	0.000
24	-0.567	2.092	0.833	2.303	0.174	0.341	0.002	0.002
32	-0.435	2.773	1.224	2.944	0.254	0.463	0.002	0.003
48	-0.174	3.135	2.186	3.466	0.447	0.491	0.035	0.044
52	-0.136	3.367	2.303	3.664	0.480	0.544	0.045	0.056
56	-0.048	3.892	2.833	4.190	0.560	0.621	0.047	0.059
72	0.027	4.094	3.178	4.431	0.634	0.837	0.055	0.069
76	0.058	4.369	3.258	4.700	0.667	0.963	0.072	0.090
80	0.095	4.605	3.434	4.868	0.707	1.064	0.087	0.108
96	0.247	5.075	4.025	5.394	0.887	1.150	0.115	0.143
100	0.307	5.193	4.220	5.521	0.967	1.186	0.114	0.143
104	0.449	5.438	4.585	5.799	1.174	1.674	0.146	0.182
120	0.588	5.561	4.942	5.991	1.407	1.873	0.159	0.197
124	0.581	5.561	4.868	5.966	1.394	2.198	0.162	0.202
128	0.584	5.561	4.868	5.966	1.400	2.218	0.164	0.204
148	0.569	5.561	4.868	5.966	1.374	2.238	0.155	0.194
152	0.584	5.561	4.868	5.966	1.400	2.230	0.157	0.196

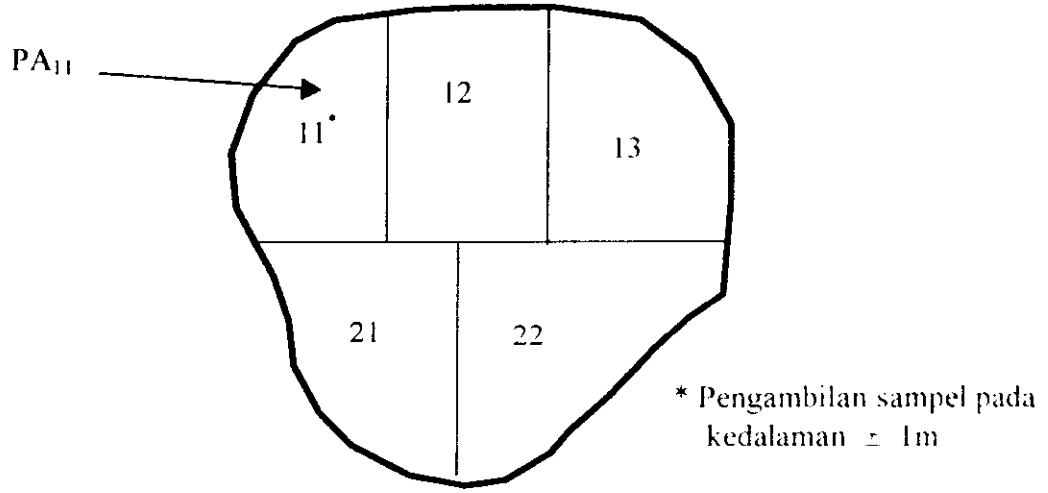


Lampiran 43. Kurva Kinetika Kultur Campuran 3 : 1 Menggunakan Media LCT

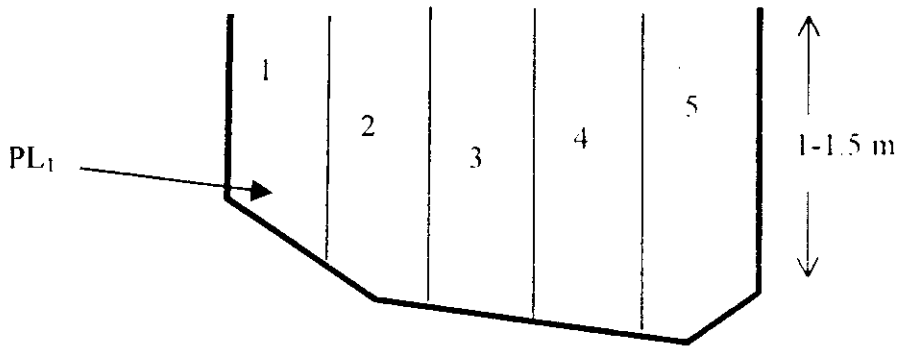


- (a) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Biomassa
 (b) Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) dengan Basis Penghitungan Total Sel
 (c) Rendemen Pertumbuhan ($Y_{x/s}$)
 (d) Kandungan Karotenoid ($Y_{p/x}$)

Lampiran 44. Pemetaan Isolasi PA₁₁ dan PL₁



Potongan Pemetaan Secara Horizontal untuk Mengisolasi BFA dari Air Danau



Potongan Pemetaan Secara Vertikal untuk Mengisolasi BFA dari Lumpur Danau