

Buku

by Mohamad Agus Salim

Submission date: 21-Apr-2023 01:25PM (UTC+0700)

Submission ID: 2071084266

File name: microalgae.pdf (3.38M)

Word count: 11468

Character count: 76948

MIKROALGA

dalam

Riset Biologi

Mohamad Agus Salim



Jurusan Biologi
Fakultas Sains & Teknologi
UIN SGD Bandung

Kata Pengantar

Dengan memanjatkan Puji Syukur Alhamdulillah buku yang berjudul “Mikroalga dalam Riset Biologi” telah berhasil diselesaikan. Buku ini dirancang untuk menemani mahasiswa dalam melaksanakan tugas akhirnya, khususnya yang menggunakan mikroalga sebagai kajiannya. Besar harapan penulis, buku ini juga menjadi referensi yang memadai bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah mikroalga karena berisi tema tema yang relevan untuk menguasai dan memahami materi perkuliahan mikroalga yang terus berkembang dari waktu ke waktu.

Sejak munculnya mikroalga ini dimuka bumi telah memberikan kontribusi yang sangat besar. Penyumbang oksigen terbesar sehingga berbagai organisme dapat hidup sampai sekarang. Kedudukannya yang sangat penting sebagai produsen menyediakan makanan bagi organisme konsumen bahkan manusia. Berjuta manfaat telah ditunjukkan mulai sebagai pangan, pakan, *nutraceutical*, farmasi, komestika dan yang terkini yaitu *biofuels* ramah lingkungan dan terbarukan.

Berkat dukungan dari semua pihak terutama mahasiswa bimbingan penulis, semangat dalam penyelesaian buku dicapai. Segala kritikan dan saran akan tetap menjadi suluh untuk membakar semangat berkreasi dan penyempurnaan buku ini di masa mendatang.

Bandung, 27 Agustus 2021



Dr. M. Agus Salim, Drs.MP.

Daftar Isi

Pengantar (i)

Daftar Isi (ii)

Daftar Gambar (iv)

Bab 1. Pendahuluan (1)

- A. Awal Kemunculan Mikroalga (2)
- B. Ledakan Populasi (bloom) Mikroalga (4)
- C. Pemanfaatan Mikroalga (7)
- D. Kandungan Senyawa Mikroalga (10)
- E. Mikroalga Potensial (14)

Bab 2. Tantangan dan Harapan (17)

- A. Kesadaran Pentingnya Mikroalga (18)
- B. Dukungan Bioteknologi (19)
- C. Dukungan Sistem Budidaya (21)
- D. Dukungan Akademisi dan Industri (22)
- E. Implementasi di Masa Depan (23)

Bab 3. Aplikasi Mikroalga (27)

- A. *Nutraceutical* (28)
- B. Pangan (32)
- C. Pakan (36)
- D. Lingkungan (41)
- E. *Biofuels* (47)
- F. Kesehatan (53)

Bab 4. Spesies Mikroalga Terpilih (63)

- A. *Ankistrodesmus* (64)
- B. *Botryococcus* (65)
- C. *Chaetoceros* (66)
- D. *Chlorella* (67)
- E. *Dunaliella* (68)
- F. *Haematococcus* (70)
- G. *Nannochloropsis* (71)
- H. *Porphyridium* (73)
- I. *Scenedesmus* (74)
- J. *Skeletonema* (76)
- K. *Spirulina* (78)
- L. *Tetraselmis* (79)
- M. *Thalassiosira* (81)

Daftar Pustaka (83)

Daftar Gambar

1.1.	Awal terbentuknya permukaan bumi.....	2
1.2.	Proses fotosintesis pada sel mikroalga.....	3
1.3.	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>	3
1.4.	Bukit kapur batu putih Sumenep madura.....	4
1.5.	Kedudukan mikroalga di dalam rantai makanan.....	5
1.6.	Red tide (gelombang pasang) yang berwarna warni terutama merah karena ledakan populasi mikroalga laut dari kelompok Dinoflagellata.....	6
1.7.	Ledakan populasi (blooming) mikroalga biru (cyanophyta) di perairan tawar.....	6
1.8.	Ilustrasi komponen utama sel mikroalga dari kelompok A. eukariot dan B. prokariot.....	7
1.9.	Pemanfaatan dari mikroalga.....	8
1.10.	Isolasi dan identifikasi mikroalga.....	9
1.11.	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	9
1.12.	Biomasa mikroalga yang memiliki potensi besar a. basah b. kering).....	10
1.13.	Mikroalga di dalam <i>microencapsulation</i>	11
1.14.	Kultur <i>Spirulina platensis</i> pada kontener plastik kapasitas 10 liter.....	12
1.15.	<i>Scenedesmus acutus</i>	12
1.16.	<i>Chlorella keslerii</i>	13
1.17.	Peran bioteknologi mengubah mikroalga menjadi produk bermanfaat.....	14
1.18.	mikroalga <i>Dunaliella salina</i> penghasil β -karoten (karotenoid) yang berlimpah.....	15
2.1.	Kegiatan industri penyebab pemanasan global.....	18
2.2.	Produksi biodiesel dengan 3 jalur.....	19
2.3.	Beragam penggunaan mikroalga.....	20
2.4.	Rekayasa genetik biosilika diatom yang melepaskan molekul obat pada sel target.....	20
2.5.	Kultur mikroalga untuk menghasilkan bahan bakar hayati.....	21
2.6.	Penelitian mikroalga sebagai obat diabetes di laboratorium fisiologi tumbuhan UIN Bandung.....	22

2.7. Bahan bakar hayati dari mikroalga.....	24
2.8. Pelaksanaan Kultur mikroalga di laboratorium.....	24
2.9. Rekayasa genetika mikroalga untuk menghasilkan produk bermanfaat.....	25
3.1. Zat bioaktif dari mikroalga yang berfungsi sebagai <i>nutraceutical</i>	28
3.2. Zat biokatif yang terkenal seperti klorofil, beta-karoten dan Astaxantin yang dihasilkan oleh mikroalga Chlorella, Spirulina, Dunaliella dan Haematococcus.....	29
3.3. Ikan memakan mikroalga sehingga mengandung DHA yang bermanfaat bagi kesehatan manusia.....	30
3.4. Mikroalga yang dikultur untuk menghasilkan DHA.....	30
3.5. Beberapa pigmen dari mikroalga.....	31
3.6. Manfaat zat bioaktif bagi kesehatan manusia.....	32
3.7. Rantai makanan dimulai dari mikroalga sampai dengan manusia.....	33
3.8. Biomasa Spirulina (mikroalga biru) yang dijadikan makanan.....	34
3.9. <i>Dunaliella salina</i> (mikroalga hijau).....	34
3.10. <i>Euglena gracilis</i> (Flagellata).....	35
3.11. Kultur mikroalga sampai panen.....	36
3.12. <i>Chaetoceros</i> sp (diatom) sebagai pakan.....	37
3.13. <i>Porphyridium</i> sp (mikroalga merah).....	38
3.14. Kultur mikroalga untuk dijadikan pakan.....	38
3.15. <i>Spirulina</i> sp (mikroalga biru) sebagai pakan unggas.....	40
3.16. Mikroalga sebagai pakan ikan.....	41
3.17. mikroalga Spirulina sp (mikroalga biru) sebagai pakan ruminansia.....	41
3.18. Mikroalga menggunakan CO2 untuk pertumbuhannya yang dihasilkan dari industry.....	42
3.19. Mikroalga dapat mengangkut CO2 ke laut dalam.....	42
3.20. Cahaya, nutrisi dan CO2 diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga.....	43
3.21. Mikroalga dapat mengubah warna lautan.....	44
3.22. Hara mineral diangkut mikroalga.....	45
3.23. Mikroalga dapat menyerap dan mengangkut besi.....	45

3.24. Mikroalga dapat menyerap gas dan logam berat yang berbahaya.....	46
3.25. <i>Euglena gracilis</i> (flagellate).....	47
3.26. Bioetanol dari jagung.....	47
3.27. Rumput gajah bahan baku bioethanol.....	48
3.28. Biofuels yang dihasilkan mikroalga setelah dikultur dengan pasokan mineral, karbondioksida dan cahaya matahari.....	49
3.29. <i>Gephyrocapsa oceanica</i> (haptophyte).....	49
3.30. <i>Dinophysis acuminata</i> (diatom).....	50
3.31. <i>Botryococcus braunii</i> (mikroalga hijau).....	50
3.32. Reaksi tranesterifikasi.....	51
3.33. Produksi biodiesel dan bioethanol dari mikroalga.....	51
3.34. Produksi minyak dari mikroalga dan tanaman penghasil minyak lainnya.....	53
3.35. Karotenoid mikroalga dan manfaatnya.....	54
3.36. struktur kimia kelompok karotenoid.....	54
3.37. Peran DHA-EPA pada manusia.....	55
3.38. <i>Parietochloris alveolaris</i> (mikroalga hijau).....	56
3.39. Potensi <i>Chlorella minutissima</i> (mikroalga hijau).....	57
3.40. <i>Nitzhia</i> salah satu anggota dari diatom.....	58
3.41. <i>Tetraselmis suecica</i> (mikroalga hijau).....	59
3.42. <i>Scenedesmus quadricauda</i> (mikroalga hijau).	60
3.43. <i>Phormidium</i> sp (mikroalga biru).....	60
3.44. <i>Dunaliella tertiolecta</i> (mikroalga hijau).....	61
3.45. <i>Lyngbya lagerheimii</i> (mikroalga biru).....	61
3.46. <i>Microcystis aeruginosa</i> (mikroalga biru).....	62
4.1. <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	64
4.2. <i>Botryococcus braunii</i>	65
4.3. <i>Chaetoceros gracilis</i>	66
4.4. <i>Chlorella vulgaris</i>	68
4.5. <i>Dunaliella salina</i>	69
4.6. <i>Haematococcus pluvialis</i>	70
4.7. <i>Nannochloropsis oculata</i>	72
4.8. <i>Porphyridium cruentum</i>	74
4.9. <i>Scenedesmus dimorphus</i>	75
4.10. <i>Skeletonema costatum</i>	77
4.11. <i>Spirulina platensis</i>	79

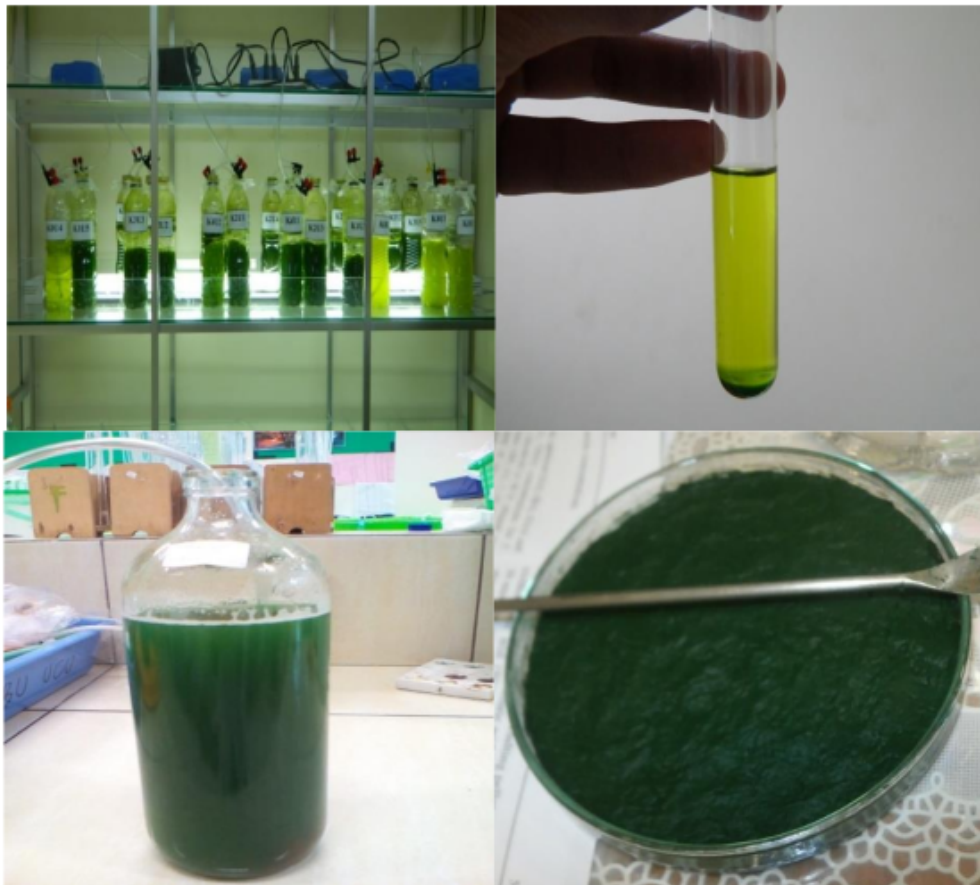
4.12. <i>Tetraselmis chuii</i>	80
4.13. <i>Thalassiosira pseudonana</i>	81

Bab 1

Pendahuluan

Pembahasan

- A. Awal Kemunculan Mikroalga
- B. Ledakan Populasi Mikroalga
- C. Pemanfaatan Mikroalga
- D. Kandungan Senyawa Mikroalga
- E. Mikroalga Potensial



A. Awal Kemunculan Mikroalga

Pada waktu bumi mulai mendingin dan lingkungannya memungkinkan untuk dapat ditempati maka mikroalga merupakan satu satunya organisme awal yang muncul saat itu. Organisme yang dikenal oleh banyak orang dengan sebutan fitoplankton ternyata memiliki klorofil sebagai pigmen fotosintesis. Melalui proses fisiologi yang dikenal dengan fotosintesis ini, mikroalga dapat menghasilkan oksigen yang berlimpah yang memenuhi seluruh wilayah atmosfer permukaan bumi.

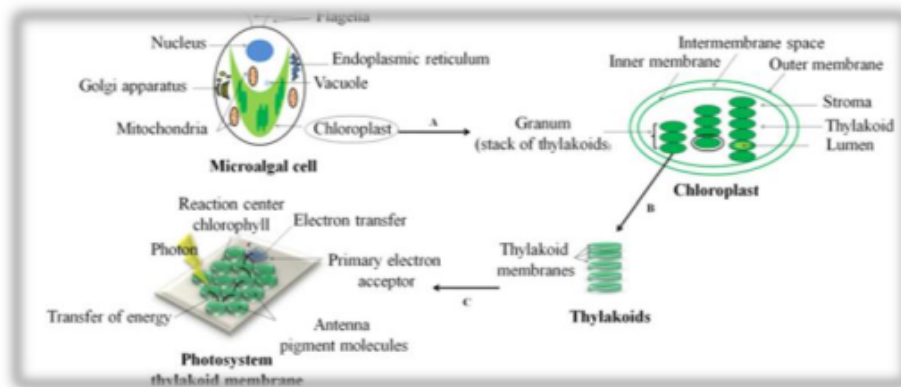


Gambar 1.1. Awal terbentuknya permukaan bumi.

[\[http://www.hexapolis.com/2015/10/20/life-on-earth-probably-started-4-1-billion-years-ago/\]](http://www.hexapolis.com/2015/10/20/life-on-earth-probably-started-4-1-billion-years-ago/)

Habitat perairan baik lautan maupun air tawar dihuni oleh sekitar 100.000 spesies mikroalga. Sejak lebih dari 3 milyar tahun yang lalu mikroalga ini tumbuh subur yang mampu merubah lingkungan atmosfer karena proses fotosintesisnya yang berkelanjutan sampai sekarang. Gas oksigen yang terbentuk bukan hanya menentukan komposisi udara di lapisan atmosfer bumi namun juga menambah kelarutannya di air laut. Dengan demikian

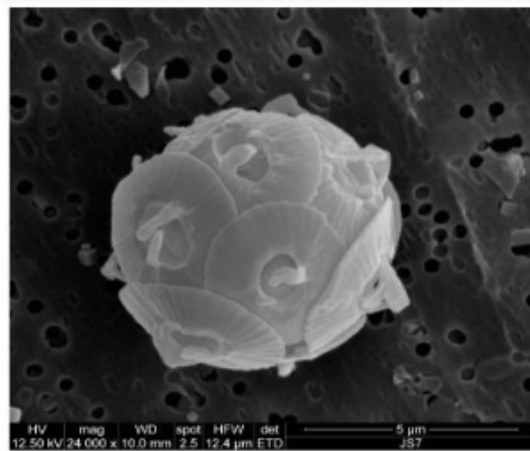
besi yang berada di laut akan teroksidasi dan menumpuk menjadi deposit bijih besi di dasar laut.



Gambar 1.24 Proses fotosintesis pada sel mikroalga

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1541-4337.12227>

Mikroalga yang telah mati akan menumpuk di dasar laut, dengan proses alam selama jutaan tahun maka akan membentuk minyak bumi. Mikroalga dari spesies *Gephyrocapsa sp* menghasilkan kalsium karbonat sebagai penyumbang unsur kalsium untuk bereaksi dengan karbon dioksida yang dapat membentuk cangkang luar hewan laut.



Gambar 1.3. *Gephyrocapsa oceanica*

<https://riscoff-culture-collection.org/rcc-strain-details/1302>

Tumpukan dari cangkang luar tersebut akan membentuk lapisan batu kapur yang dapat dilihat sampai sekarang seperti adanya bukit atau gunung kapur di daratan.

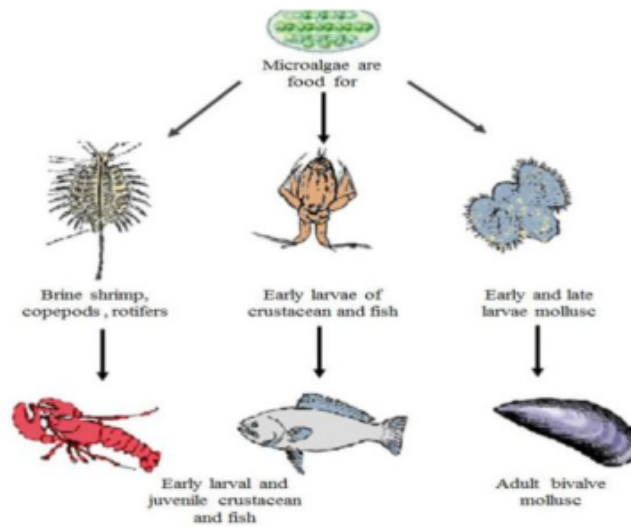


Gambar 1.4. Bukit kapur batu putih, Sumenep Madura.

<https://www.idntimes.com/travel/destination/>

B. Ledakan Populasi (*Blooming*) Mikroalga

Posisi mikroalga di dalam rantai makanan yaitu sebagai produsen yang sangat diperlukan konsumen tingkat pertama seperti zooplankton. Sedangkan secara bertahap zooplankton dimakan oleh ikan kecil, ikan kecil dimakan oleh ikan besar dan berakhir pada manusia. Dari pemahaman tersebut mikroalga sangat penting kedudukannya di alam karena memberi makan banyak organisme lain. Termasuk manusia sebagai organisme yang mendapatkan manfaat paling besar dari keberadaan mikroalga ini.



Gambar 1.5. Kedudukan mikroalga di dalam rantai makanan.

https://www.researchgate.net/publication/230566447_Microalgal_biofactories

Namun demikian ternyata dengan adanya polutan dan gangguan lain di lingkungan perairan dapat menyebabkan terjadinya ledakan populasi mikroalga yang disebut dengan *blooming* baik di laut maupun di air tawar. Kejadian *blooming* mikroalga dapat terjadi di laut seperti dari kelompok dinoflagellata penyebab *red tide*, sedangkan mikroalga air tawar yaitu dari kelompok mikroalga biru (cyanophyta). Salah satu penyebabnya yaitu meningkatnya aliran nutrisi seperti fosfor yang terkandung di dalam deterjen ke perairan tersebut. Dengan demikian habitatnya akan didominasi oleh salah satu kelompok mikroalga ini yang dapat menurunkan kelarutan oksigen di perairan tersebut. Disamping itu kelompok mikroalga ini memiliki racun yang dapat membunuh organisme lain yang ada di perairan tersebut.



Gambar 1.6. Red Tide (gelombang pasang) yang berwarna warni terutama merah karena ledakan populasi mikroalga laut dari kelompok dinoflagellata.

26

<http://www.watereyclopedia.com/A-Bi/Algal-Blooms-Harmful.html>

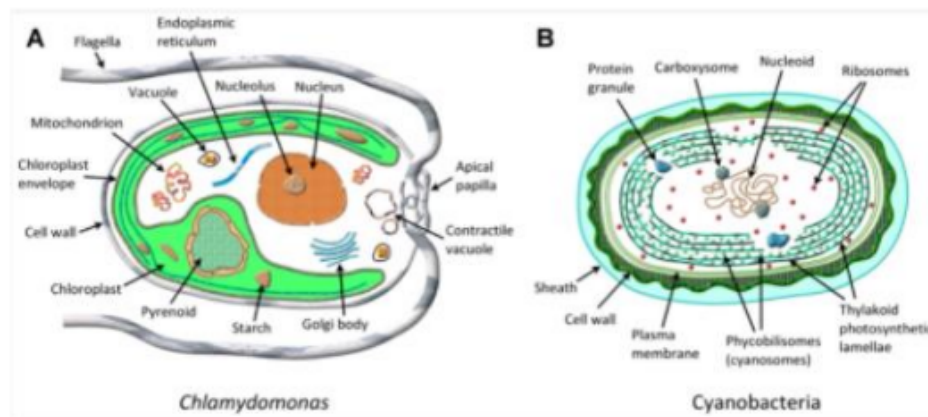


Gambar 1.7. Ledakan populasi (*blooming*) mikroalga biru (cyanophyta) di perairan tawar.

<https://pediaa.com/difference-between-algae-and-bryophytes/>

Mikroalga merupakan organisme berfotosintesis yang dapat ditemukan di banyak habitat perairan seperti kolam, sungai, danau, laut bahkan air limbah. Persyaratan faktor lingkungan yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme ini cukup lebar mulai dari beragamnya kisaran suhu, pH, salinitas dan intensitas cahaya. Begitupun kondisi lingkungan yang ekstrim misalnya gurun, mata air panas maupun es di kutub dapat ditemukan

mikroalga. Kelompok mikroalga dapat dijumpai mulai sebagai organisme prokariot seperti Cyanophyta sampai organisme eukariot seperti Chlorophyta, Bacillariophyta, Dinoflagellata, Rhodophyta dan Flagellata. Kelompok alga yang tidak ditemukan dalam bentuk mikroskopisnya yaitu Phaeophyta (alga coklat).



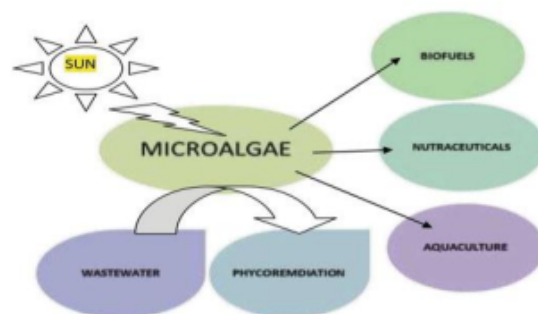
Gambar 1.8. Ilustrasi komponen utama sel mikroalga dari kelompok A. eukariot dan B. prokariot.

<https://www.mdpi.com/2218-1989/7/3/39/html>

C. Pemanfaatan Mikroalga

Sejak beberapa dekade telah dikenal secara luas bahwa mikroalga dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan seperti bahan bakar hayati, suplemen makanan, kosmetik maupun obat-obatan. Begitupun manfaat lain seperti pengolahan air limbah dan mitigasi CO₂ telah dikenal di masyarakat modern ini. Berbagai produk bermanfaat juga dapat dihasilkan dari mikroalga seperti polisakarida, lipida, pigmen, protein, vitamin dan berbagai senyawa bioaktif yang bersifat antioksidan. Saat ini mikroalga menjadi bahan baku dalam produksi bahan bakar hayati yang

terbarukan dan berkelanjutan. Oleh sebab itu teknik budidaya dan rekayasa genetik terus digalakan sehingga hasil bahan bakar hayati makin meningkat untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar yang ramah lingkungan. Budidaya mikroalga untuk mendapatkan biomasa yang berlimpah sebagai sumber makanan dan suplemen nutrisi yang bergizi, sedangkan ekstraknya difokuskan pada produksi biofarmaka dan kosmetik.



Gambar 1.9. Pemanfaatan dari mikroalga.

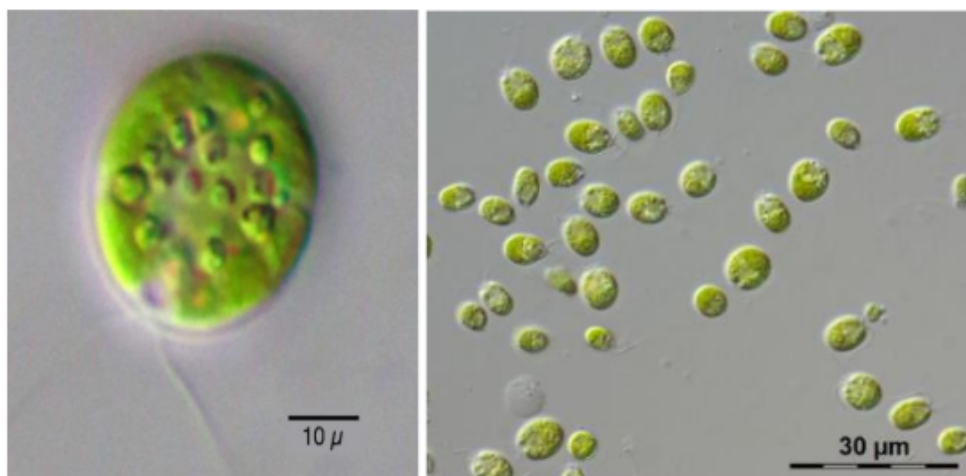
<https://www.intechopen.com/chapters/59007>

Menurut para ahli, mikroalga merupakan salah satu kelompok organisme yang belum banyak diketahui manfaatnya, bahkan sekitar 97% senyawa yang dikandungnya belum diisolasi dan diidentifikasi. Oleh sebab itu diperlukan penelitian berkelanjutan mengenai bioprospek seperti isolasi, identifikasi dan mengoptimalkan pertumbuhan mikroalga lokal yang prospektif. Penelitian diarahkan untuk penemuan metabolit baru yang bermanfaat bagi kesehatan umat manusia serta kandungan zat bioaktifnya yang tinggi agar mampu mengurangi biaya produksinya.



Gambar 1.10. Isolasi dan identifikasi mikroalga

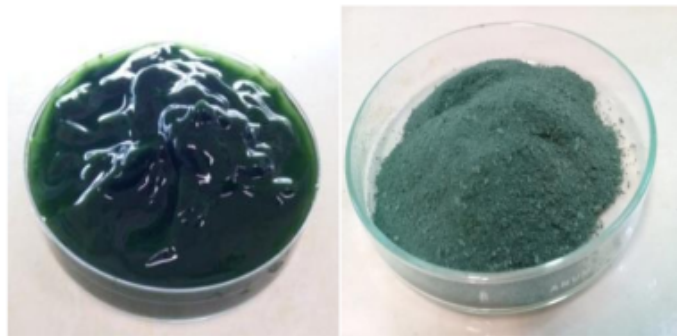
Kajian identifikasi urutan genom dari mikroalga *C reinhardtii* dan 30 spesies mikroalga lainnya sudah dilakukan, namun masih terasa kurang karena prediksi para ahli mengenai potensi mikroalga sangat berlimpah yang baru sedikit diketahui.



Gambar 1. 11. *Chlamydomonas reinhardtii*
https://sammlungen.uni-goettingen.de/objekt/record_DE-MUS-070420_34_89

Bila diketahui urutan genom maka akan diketahui karakteristik gen dan enzim yang terlibat pada produksi makanan fungsional/*nutraceutical* serta mekanisme pemicu produksinya seperti

kurangnya nutrisi, stress abiotik, biotik dan lain lain. Begitupun pada pengembangan bahan bakar hayati, peralatan yang digunakan untuk produksi, pemanenan, pengeringan dan ekstraksi memiliki desain dan fungsi yang dapat menurunkan biaya produksi sehingga energi murah dihasilkan.



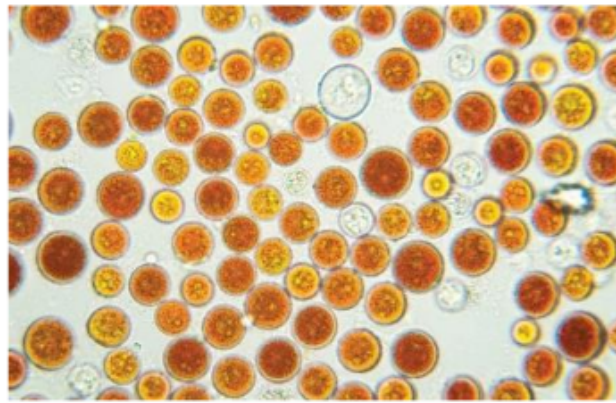
Gambar 1.12. Biomasa mikroalga yang memiliki potensi besar (a. basah b. kering).

D. Kandungan Senyawa Mikroalga

Fokus pada penelitian yang intensif mengenai kandungan senyawa fenolat dan senyawa *volatile* lainnya serta senyawa aldehid pada mikroalga akan sangat bermanfaat di bidang kesehatan. Namun hal itu sampai sekarang belum juga dilaksanakan mengingat teknik isolasi yang rumit disamping zat yang diperolehnya sangat sedikit.

Senyawa *poly unsaturated fatty acid*/PUFA yang terkandung pada ikan dilaut saat ini semakin sulit karena ada pembatasan penangkapan ikan. Alternatifnya adalah mikroalga, maka perlu dicari lagi berbagai spesies mikroalga yang mampu menghasilkan

senyawa PUFA. Begitupun kandungan protein mikroalga yang tinggi belum dapat diserap oleh pasar karena terkendala oleh bau amis dan warna hijau tua yang tidak disukai konsumen. Sehingga biomasa mikroalga saat ini masih terbatas untuk pangan kesehatan atau pangan fungsional tidak menjadi makanan utama.



Gambar 1. 13. Mikroalga di dalam *microencapsulation*

<https://www.nutritionaloutlook.com/view/encapsulated-algae-ingredients-expand-applications-increase-bioavailability-firms-say>

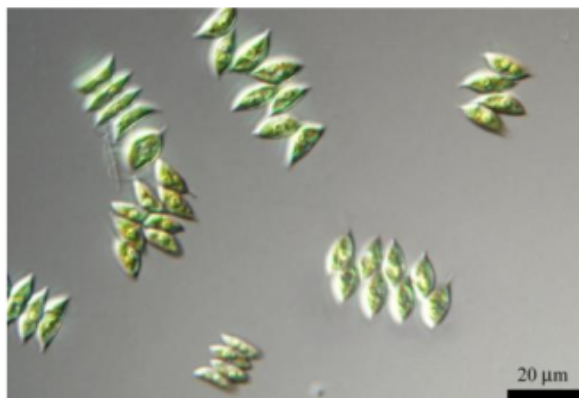
Untuk mengatasi bau dan warna biomasa mikroalga yang tidak menarik dapat diatasi dengan teknik mikroenkapsulasi yang menggabungkan dengan makanan lain, namun tentunya perlu penelitian lebih lanjut. Sebenarnya sudah sejak berabad abad yang lalu mikroalga dimanfaatkan sebagai makanan dan saat ini dibudidayakan lebih luas lagi. Sehingga dimasa mendatang pengembangan budidaya mikroalga akan semakin maju mengingat banyak orang yang berminat dan berinvestasi terhadap produksi biopabrik kecil ini dalam pengembangan industri energi, farmasi, kosmetik dan makanan.



Gambar 1.14. Kultur *Spirulina platensis* pada kontener plastik kapasitas 10 liter.

Mikroalga dapat menjadi sumber dalam produksi bahan bakar hayati ramah lingkungan seperti biodisel, gas hidrogen (H_2) dan larutan etanol. Begitupun aplikasi mikroalga dapat merambah sampai bidang kedokteran dan bioteknologi.

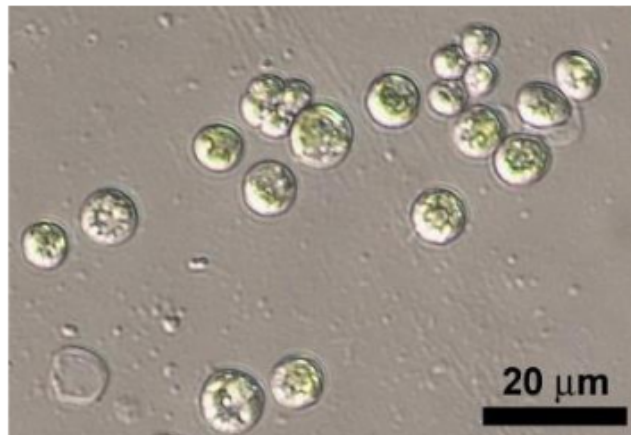
Senyawa bioaktif dari mikroalga ini dapat digunakan untuk pengobatan masalah kulit (peradangan, luka, luka bakar, eksim maupun lupus) serta penyakit ginekologi. Seperti mikroalga hijau dari genus *Scenedesmus* di Ceko Slowakia berhasil digunakan untuk pengobatan eksim. Begitupun di negara yang sama mikroalga hijau spesies *Chlorella vulgaris* digunakan untuk mengobati radang servik dan vagina.



Gambar 1.15. *Scenedesmus acutus*

<https://cala.butbn.cas.cz/en/scenedesmus-acutus>

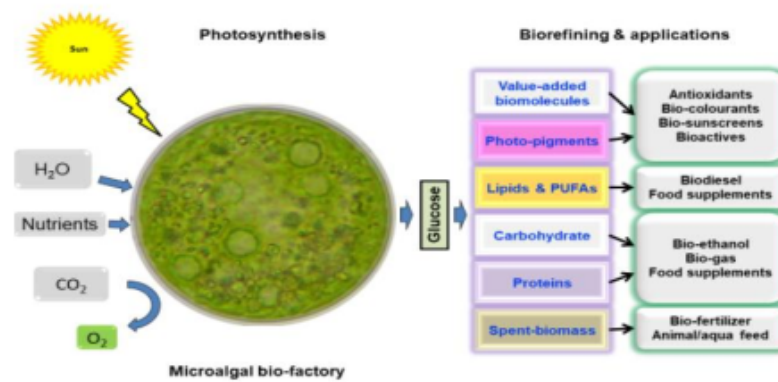
Selanjutnya *Scenedesmus acutus* dimanfaatkan untuk pengobatan varises. Kandungan steroid pada *Chlorella kessleri* dan *Scenedesmus* digunakan untuk mengobati peradangan kulit akibat lupus.



25 Gambar 1.16. *Chlorella kessleri*

<https://ccala.butbn.cas.cz/en/chlorella-kessleri-fott-novakova-krienitz>

Mikroalga dapat dimanfaatkan di bidang medis yaitu mengobati luka dan luka bakar. Di bidang kosmetika, biomasa mikroalga dapat digunakan sebagai biostimulator dan zat aditif aktif bahan dasar pasta gigi, lotion rambut dan kulit. Ekstrak dari *Chlorella* dapat menghilangkan kejang akibat tukak lambung. Begitupun *Chlorella* ini efektif selama pemulihan setelah operasi varises. Biomasa kering dari mikroalga dapat digunakan sebagai media pertumbuhan mikroorganisme karena sebagai pengganti sumber protein dari daging sapi. Satu kg biomasa mikroalga kering ini setara dengan 18,8 kg daging sapi.



Gambar 1.17. Peran bioteknologi mengubah mikroalga menjadi produk bermanfaat.

<https://www.shannonabc.ie/microalgal-biotechnology/>

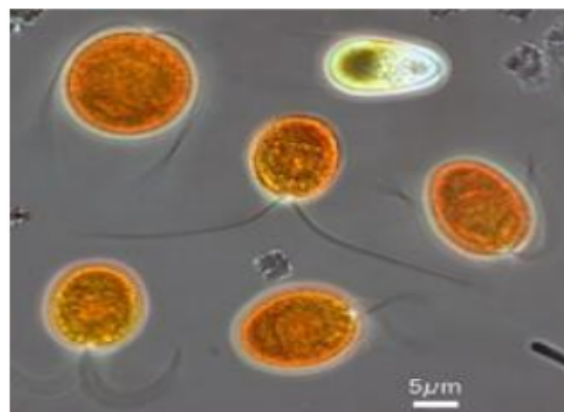
Penggunaan biomasa mikroalga untuk pakan ternyata beragam juga diantaranya dapat diberikan ke unggas, ikan, tiram (invertebrata laut) bahkan ulat bombyx (ulat sutra). Biomasa mikroalga juga mengandung senyawa kimia berharga seperti sterol yang dimanfaatkan di industri farmasi dan kosmetika. Sebagai contoh yaitu *Chondrillasterol* yang terkandung sekitar 0,54% dari biomasa kering mikroalga. Ternyata senyawa ini sebagai precursor hormon kortisol (atau nama dagangnya hidrokortisol). Senyawa lain seperti asam lichenat dan juga klorofil telah banyak negara menggunakannya dalam industri farmasi dan kosmetik. Produksi biomasa mikroalga harus diarahkan untuk memproduksi banyak produk bernilai dibandingkan memproduksi satu produk misalnya bahan bakar hayati/*biofuels* yang tentunya akan berbiaya sangat mahal.

E. Mikroalga Potensial

41

Kemampuan mikroalga untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia dengan efisiensi, reaksi fotosintesis sepuluh

kali lipat dari tumbuhan terrestrial. Spesies mikroalga yang telah dimanfaatkan secara komersial diantaranya dari kelompok Spirulina, Chlorella, Haematococcus, Dunaliella, Botryococcus, Phaeodactylum, Porphyridium, Chaetoceros, Cryptocodinium, Isochrysis, Nannochloris, Nitzschia, Schizochytrium, Tetraselmis, dan Skeletonema. Budidaya mikroalga tersebut ditujukan untuk menghasilkan biomasa dengan kandungan senyawa bioaktif yang berlimpah seperti asam lemak tak jenuh ganda PUFA, karotenoid, fikobilin, polisakarida dan fikotoksin. Secara garis besar biomasa mikroalga tersebut telah dimanfaatkan sebagai suplemen protein tinggi dan *nutraceutical* yang selain memenuhi kebutuhan pangan juga kesehatan manusia. Harga biomasa mikroalga bervariasi yang tergantung peruntukannya misalnya untuk konsumsi manusia seharga 100 Euro/kg, untuk pakan ternak dan ikan 5-20 Euro/kg, sebagai bahan kimia curah 1-5 Euro/kg, sedangkan untuk bahan bakar hayati seharga 0,4 Euro/kg.



Gambar 1.18 mikroalga *Dunaliella salina* penghasil β -karoten (karotenoid) yang berlimpah.

https://en.wikipedia.org/wiki/Dunaliella_salina

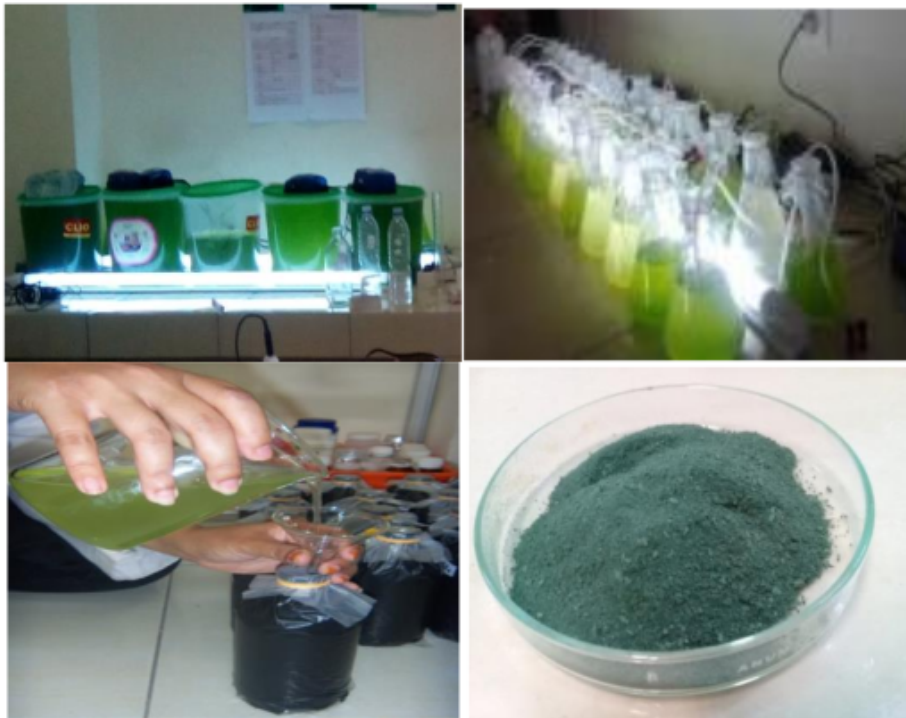
Mikroalga memiliki kandungan pigmen karotenoid yang berlimpah yang dapat digunakan pada industri kesehatan dan kosmetika. Selama ini penelitian yang menggunakan karotenoid hanya terbatas pada efek pencegahan dan perlindungan dari sel-sel yang diserang radikal bebas yang menyebabkan ³⁴ penyakit kronis seperti diabetes mellitus, sindrom metabolisme, kanker, dan penyakit kardiovaskular. Kajian terbaru ternyata karotenoid dapat dijadikan obat yang ampuh terhadap penyakit kronis tersebut. Keterlibatan karotenoid pada berbagai mekanisme tubuh seperti aktivitas pro-vitamin A, aktivitas metabolisme, efek pada sistem kekebalan dan endokrin serta efeknya pada siklus sel, regulasi, apoptosis, dan diferensiasi sel belum dikaji secara rinci. Penelitian perawatan kesehatan dan kecantikan dengan menggunakan karotenoid ini masih pengujian terhadap hewan model dan masih sangat sedikit pengujian terhadap manusia. Sehingga bila kajiannya menggunakan manusia, maka akan membantu untuk memahami manfaat dan potensi karotenoid terhadap pencegahan dan pengobatan penyakit.

Bab 2

Tantangan & Harapan

Pembahasan

- A. Kesadaran Pentingnya Mikroalga
- B. Dukungan Bioteknologi
- C. Dukungan Sistem Budidaya
- D. Dukungan Akademisi dan Industri
- E. Implementasi di Masa Depan



A. Kesadaran Pentingnya Mikroalga

Sejak awal perhatian manusia terhadap mikroalga sangat kecil walaupun sebenarnya sudah mengetahui peranannya yang sangat besar dimuka bumi ini. Setelah munculnya banyak permasalahan yang berkaitan dengan kepentingan umat manusia seperti menipisnya cadangan minyak, harga minyak mentah yang sangat tinggi, meningkatnya harga pangan, krisis penyediaan pangan dan meningkatnya pemanasan global karena meningkatnya kadar karbondioksida di atmosfer, baru mulailah perhatian yang lebih intensif kepada mikroalga.



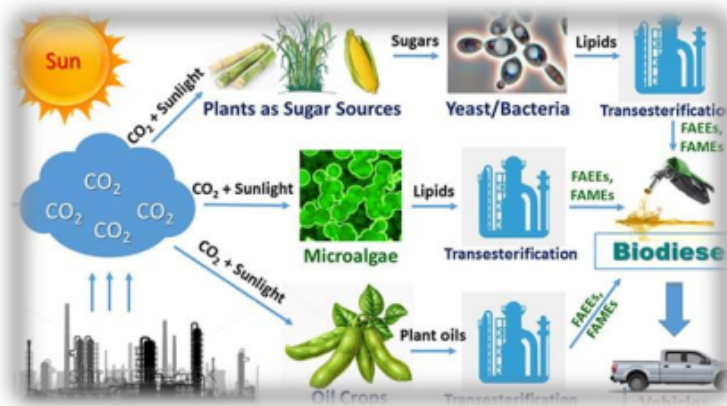
Gambar 2.1. Kegiatan industri penyebab pemanasan global.

21

<https://112.international/article/climate-change-how-global-warming-threatens-ukraine-28318.html>

Dengan meningkatnya populasi penduduk dunia dan industrialisasi, menurut para ahli cadangan minyak yang terbentuk dari mikroalga akan habis pada pertengahan abad ini. Karena mikroalga mampu membentuk minyak maka memunculkan

gagasan untuk “memaksa” mikroalga agar menghasilkan minyak kembali saat ini. Begitupun bahan bakar alternatif seperti bioetanol yang dihasilkan oleh jagung justru memicu meningkatnya harga pangan dan yang lebih parah lagi akan meningkatkan emisi CO₂ ke lingkungan. Mikroalga yang mampu menghasilkan bahan bakar hayati seperti biodiesel akan menggunakan gas CO₂ melalui fotosintesis dan dihasilkan gas O₂ yang sangat dibutuhkan oleh organisme lainnya.



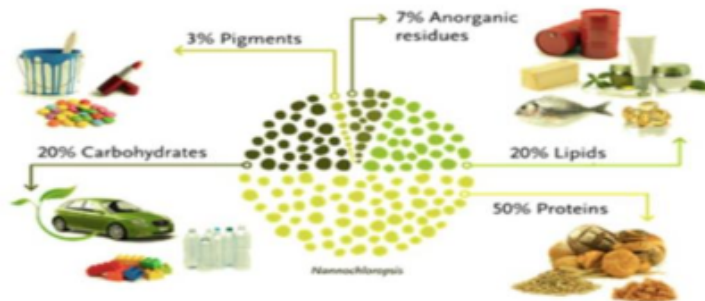
Gambar 2.2. Produksi biodiesel dengan 3 jalur.

https://www.frontiersin.org/files/Articles/307796/fbioe-05-00065-HTML/image_m/fbioe-05-00065-g001.jpg

B. Dukungan Bioteknologi

Gagasan tersebut menjadi layak dilaksanakan karena berkembangnya bioteknologi sehingga memungkinkan untuk memanfaatkan mikroalga bagi kepentingan umat manusia yang sedang menghadapi berbagai masalah saat ini. Bioteknologi yang dapat diterapkan dalam mendayagunakan mikroalga yaitu bioteknologi untuk pengembangan di bidang kesehatan yang berfokus pada zat fungsional yang dihasilkan oleh mikroalga

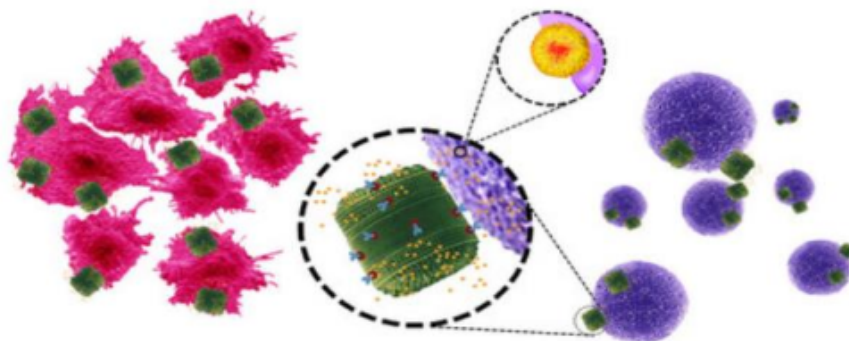
seperti obat-obatan, zat bioaktif dan *nutraceutical* (makanan fungsional).



Gambar 2.3 Beragam penggunaan mikroalga.

https://www.researchgate.net/publication/331843065_MICROALGAE_TO_ENERGY/figure?o=1

Bioteknologi yang berikutnya adalah bertujuan memanfaatkan mikroalga dalam pengembangan di bidang pertanian, air dan lingkungan. Bioteknologi ini bertujuan untuk menghasilkan pakan bagi ternak maupun ikan dan kerang dan juga bertujuan untuk membersihkan lingkungan dari polutan oleh zat fungsional yang dihasilkan mikroalga. Bioteknologi selanjutnya yaitu bioteknologi di bidang industri seperti produksi biomasa dan bahan bakar hayati. Bioteknologi ini diarahkan untuk pengembangan produksi menggunakan mikroalga.



Gambar 2.4. Rekayasa genetik biosilika diatom yang melepaskan molekul obat pada sel target.

<http://www.labiotech.eu/in-depth/algae-review-industry-biotech-greentech-biofuels-nutrition-scrubbing/>

C. Dukungan Sistem Budidaya

Pengembangan budidaya mikroalga yang menjamin untuk mendapatkan perbanyakan yang murni dari spesies tunggal dan keamanan dalam memproduksi obat-obatan, makanan dan pakan maka sistem budidaya tertutup lebih diutamakan. Sedangkan budidaya skala besar dan berbiaya murah menggunakan sistem budidaya terbuka yang bertujuan untuk produksi biomassa sebagai bahan baku bahan bakar hayati. Sampai sekarang sistem budidaya tersebut belum efisien sehingga masih perlu kajian yang berkesinambungan untuk mendapatkan sistem yang paling tepat, efisien dan dengan biaya yang murah.



Gambar 2.5. Kultur mikroalga⁹ untuk menghasilkan bahan bakar hayati.

<https://www.labiotech.eu/in-depth/algae-review-industry-biotech-green-tech-biofuels-nutrition-scrubbing/>

Dengan masih mahalnya biaya produksi mikroalga maka perlu pengembangan dari berbagai sektor. Misalnya pengembangan galur mikroalga yang menghasilkan produk dengan kuantitas yang besar. Begitupun perlu meningkatkan teknik dan metode mengekstrak maupun pemurnian produk tersebut secara lebih efisien. Sehingga pengembangan budidaya mikroalga ini dapat menggunakan berbagai bioteknologi seperti bioteknologi merah (kedokteran dan kesehatan), bioteknologi

hijau (pertanian, perikanan dan lingkungan) dan bioteknologi putih (industri dan energi)

D. Dukungan Akademisi dan Industri.

Untuk kemajuan pengembangan budidaya mikroalga ini perlu adanya penelitian yang seimbang antara bidang ilmu dasar dan terapan. Perlu dipikirkan pada pengembangan tersebut adanya beragam produk yang menjadi pusat kajian, bukan hanya terfokus pada satu produk, karena bila diaplikasikan satu produk akan membutuhkan biaya yang besar. Begitupun spesies mikroalga yang digunakan juga harus mencakup mikroalga laut dan air tawar, karena akan mendapatkan alternatif beragam spesies mikroalga yang potensial. Adanya kerjasama antara dunia kampus dan dunia industri sehingga hasil penelitian dasar akan dapat diaplikasikan segera untuk lebih bermanfaat bagi masyarakat yang akan menggunakan produk mikroalga tersebut.

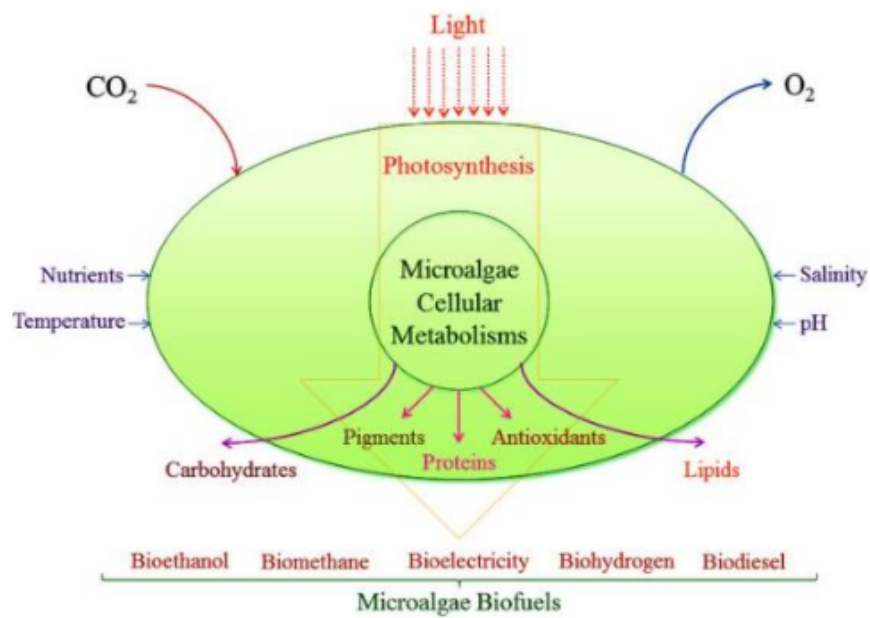


Gambar 2.6. Penelitian mikroalga sebagai obat diabetes di laboratorium fisiologi tumbuhan UIN Bandung.

Berbagai industri yang dapat menggunakan mikroalga mencakup industri dibidang kedokteran, kesehatan, lingkungan, energi, pertanian dan perikanan. Sebelum industri terdapat akademisi yang akan melaksanakan berbagai penelitian dasar dalam berbagai kajian yang melibatkan mikroalga. Sedangkan pemerintah yang akan menjalankan kebijakan mengenai pengembangan mikroalga ini. Oleh sebab itu untuk melakukan akselerasi pengembangan mikroalga di berbagai bidang ini perlu adanya kerjasama yang baik antara akademisi, industri dan pemerintah. Kerjasama dari ketiga pihak tersebut dimaksudkan untuk dapat mengaplikasikan mikroalga bagi pengembangan (1). Teknologi untuk memprediksi kondisi lingkungan perairan (2). Teknologi bahan bakar hayati yang berkelanjutan (3). Teknologi produksi senyawa bioaktif dan (4). Teknologi aplikasi di bidang pertanian.

E. Implementasi di Masa Depan

Pengembangan mikroalga perlu dibuatkan peta jalan (*road map*) yang dimulai dari penelitian dasar yang dilakukan dunia akademisi sampai produksi di dunia industri. Peta jalan yang komprehensif mencakup berbagai kajian untuk mengembangkan mikroalga dan menghasilkan beragam produk berharga. Kajian mikroalga tersebut dapat berupa berbagai metode untuk menghasilkan produk bernilai tinggi seperti obat-obatan, *nutraceutical* dan bahan bakar hayati.



Gambar 2.7. Bahan bakar hayati dari mikroalga.

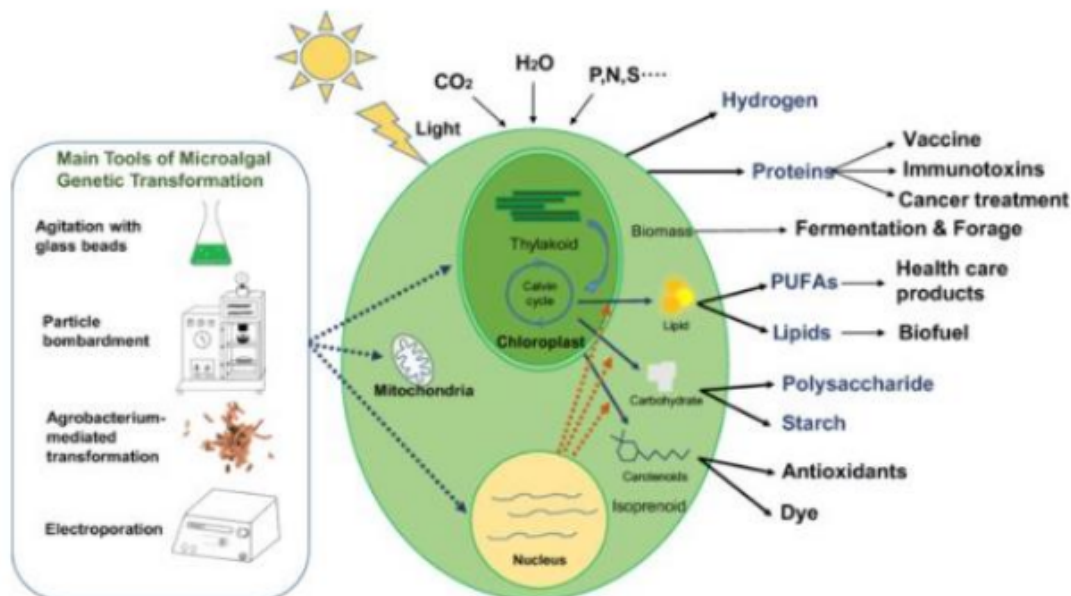
https://www.researchgate.net/publication/342231540_Ecological



Gambar 2.8. Pelaksanaan Kultur mikroalga di laboratorium

Kemajuan teknologi memungkinkan produksi bahan bakar hayati yang berkualitas dari mikroalga. Namun sampai sekarang

produk bahan bakar hayati dari mikroalga dirasakan masih terlalu mahal. Ditemukan berbagai faktor penyebab diantaranya dalam budidaya mikroalga diperlukan pengontrolan suhu dan faktor pembatas pertumbuhan seperti CO_2 , H_2O , energi, nitrogen dan fosfor yang semuanya itu membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Selain itu dalam budidaya mikroalga sering masuknya pengotor yang jumlahnya kadang kadang lebih banyak dari biomasa mikroalga itu sendiri. Setelah dipanen biomasa mikroalga harus dikeringkan, artinya ada biaya cukup tinggi yang harus dikeluarkan.



Gambar 2.9. Rekayasa genetika mikroalga untuk menghasilkan produk bermanfaat.

https://www.researchgate.net/publication/348960605_Transgenic_eukaryotic_microalgae

Begitupun hasil panen mikroalga kering akan difraksinasi menjadi karbohidrat, lipid dan protein. Teknologi fraksinasi dan

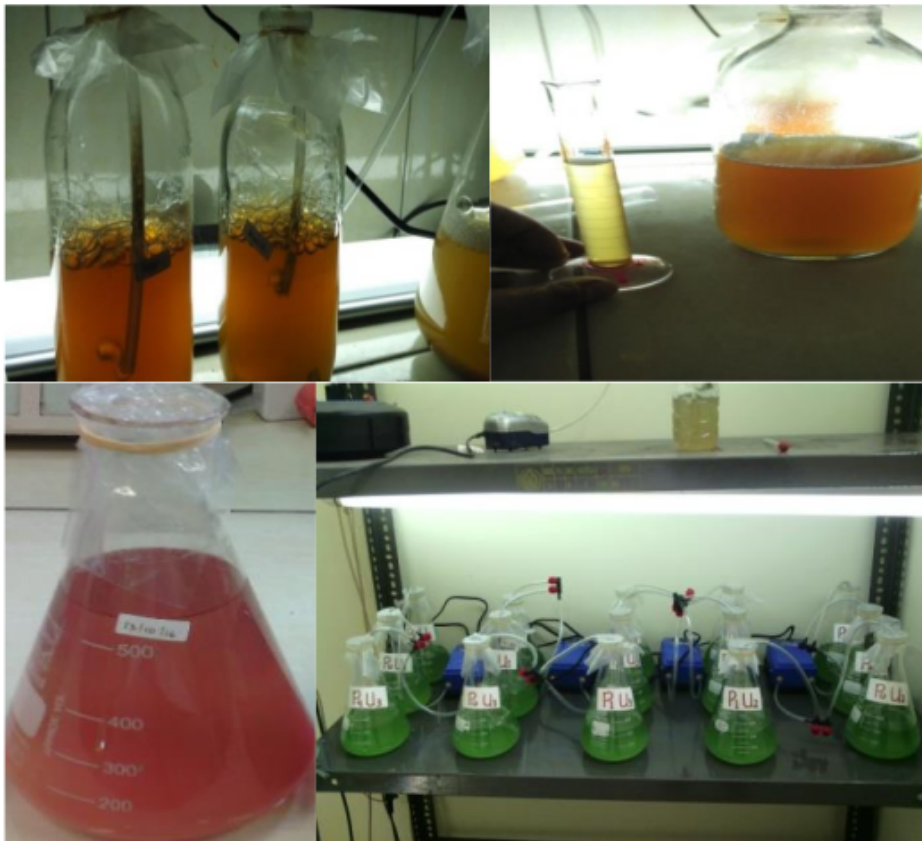
ekstraksi perlu biaya, input energi dan peningkatan skala produksi. Biodisel yang sudah dihasilkan pun masih menghadapi beberapa kendala misalnya stabilitas biodiesel di penggunaan saat cuaca dingin, kompatibilitas dengan mesin mobil, pangsa pasar dan harganya. Perlu dipikirkan juga manajemen penyimpanan biomasa, bahan bakar dan produk lainnya yang menjadi masalah yang luar biasa. Begitupun peraturan pemerintah dan standar industri pun harus dipenuhi oleh produk dari mikroalga ini.

Bab 3

Aplikasi Mikroalga

Pembahasan

- A. Nutraceutical
- B. Pangan
- C. Pakan
- D. Lingkungan
- E. Biofuels
- F. Kesehatan



A. Nutraceutical

35

Pada abad ke 21 ini berbagai masalah kesehatan muncul seperti beragam penyakit terutama penyakit degeneratif. Adanya kesalahan dalam mengatur gaya hidup seperti sering mengonsumsi *junkfood* yang tinggi lemak, gula, garam, pengawet serta jarang berolahraga. Dalam hal ini untuk mengatasinya, lebih terfokus pada pencegahan dan menjaga kesehatan daripada pengobatan yang belum tentu mampu menghilangkan penyakit tersebut.

Hasil kajian ilmiah saat ini tersedia makanan yang mengandung zat bioaktif. Sehingga makanan tersebut selain menyediakan nutrisi namun juga mampu berfungsi dalam mengobati berbagai penyakit. Makanan tersebut dikenal dengan *nutraceutical* atau makanan fungsional yang mulai mendapat perhatian masyarakat dunia.



Gambar 3.1. Zat bioaktif dari mikroalga yang berfungsi sebagai *nutraceutical*.

7

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5017-1_12

Perhatian luar biasa besarnya diberikan terhadap mikroalga karena organisme ini diketahui menghasilkan berbagai zat bioaktif yang tentunya sangat bermanfaat bagi kesehatan manusia. Hal tersebut didukung oleh fakta bahwa mikroalga keberadaannya di alam raya ini sangat penting yaitu sebagai dasar di dalam rantai makanan.

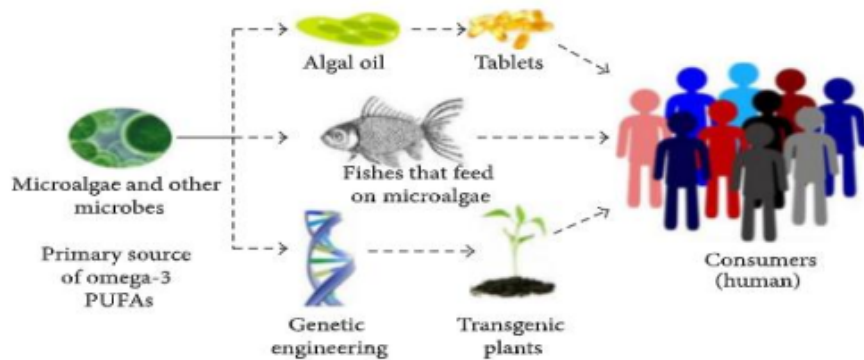


Gambar 3.2. Zat bioaktif yang terkenal seperti klorofil, beta-karoten dan Astaxantin yang dihasilkan oleh mikroalga Chlorella, Spirulina, Dunaliella dan Haematococcus.

<https://algaeprinting.files.wordpress.com/2014/05/nutraceuticals-from-algae-1.jpg>

Diketahui bahwa ikan laut dalam di Pasifik seperti ikan saury dan sarden mengandung banyak *docosahexaenoic acid* (DHA). Sebagai asam lemak tak jenuh, DHA ini dikenal juga sebagai asam lemak omega yang sangat baik bagi kesehatan, perkembangan otak dan mata bayi serta efektif mencegah arteriosklerosis. Faktanya ikan-ikan tersebut tidak menghasilkan DHA sedikitpun di dalam tubuhnya. Tetapi para ahli

menyimpulkan bahwa DHA yang terkumpul di dalam tubuh ikan tersebut berasal dari makanannya yaitu mikroalga.



Gambar 3.3. Ikan memakan mikroalga sehingga mengandung DHA yang bermanfaat bagi kesehatan manusia.

<https://www.hindawi.com/journals/hmri/2017/7348919/>

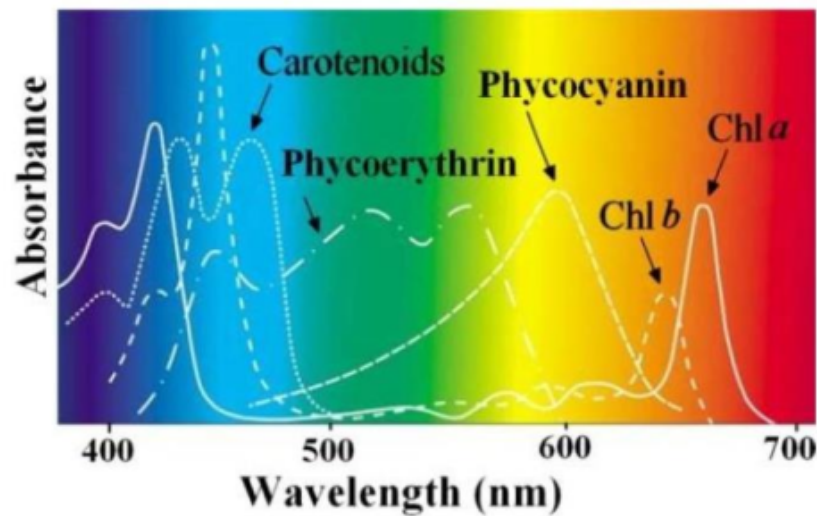
Berdasarkan pengamatan para ahli, bahwa mikroalga lah yang memproduksi DHA yang berlimpah. Didorong semakin mahalnya harga minyak ikan yang disebabkan oleh menurunnya tangkapan ikan dan terjadinya polusi laut, maka budidaya mikroalga penghasil DHA mulai digiatkan bahkan sampai skala industri. Seperti yang dilakukan oleh perusahaan di Columbia, Maryland Amerika Serikat yaitu Martek Biosciences Corp terus melakukan budidaya mikroalga pada kontener berukuran 80-260 m² untuk mendapatkan minyak DHA dengan cara mengekstraksi mikroalga tersebut.



Gambar 3.4. Mikroalga yang dikultur untuk menghasilkan DHA.

<https://novamed.com.sg/cerebrate-malaysia/>

Mikroalga selain menghasilkan DHA juga menghasilkan beragam pigmen yang beraktivitas sebagai antioksidan. Pigmen yang berwarna hijau seperti klorofil, yang berwarna merah kuning sampai oranye yang berasal dari kelompok pigmen karotenoid.

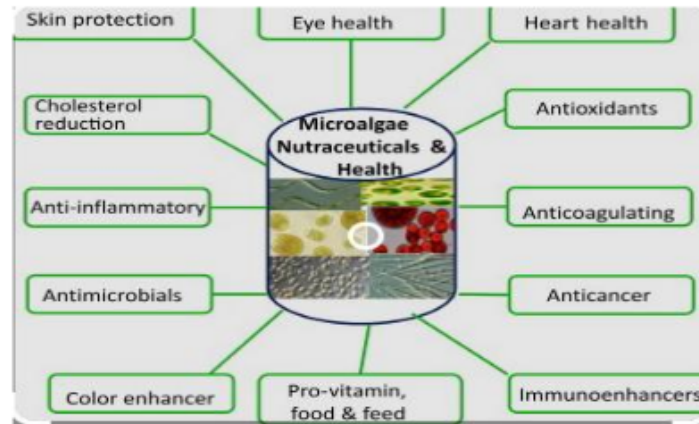


Gambar 3.5. Beberapa pigmen dari mikroalga

13

<https://www.wur.nl/en/show/Natural-food-colorants-from-microalgae-1.htm>

Astasantin sebagai salah satu anggota kelompok karotenoid semakin dikenal sebagai senyawa antioksidan yang dihasilkan oleh mikroalga dari spesies *Haematococcus sp.* Astasantin dari mikroalga ini telah banyak digunakan di dunia kesehatan yang berfungsi sebagai antiaging, anti-katarak, anti-arteriosklerosis, anti-tumor dan lain lain. Karena habitat mikroalga yang begitu luas dari air laut sampai air tawar yang diperkirakan berjumlah lebih dari 100.000 spesies, mengandung senyawa bioaktif yang beragam. Sebagai harta karun yang masih belum tereksplor zat zat kandidat obat-obatan dan bahan fungsional lainnya.



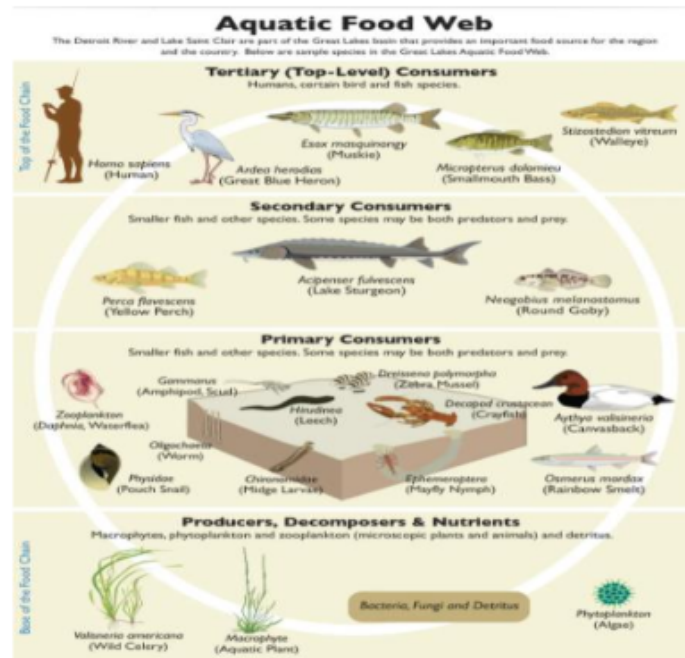
Gambar 3.6. Manfaat zat bioaktif bagi kesehatan manusia.

7

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128007761000169>

B. Pangan

Umat manusia dihadapkan pada tantangan untuk berusaha mengamankan makanan berkualitas sekaligus mampu melestarikan lingkungannya. Hal tersebut dapat tercapai bila kita memanfaatkan mikroalga. Seperti diketahui, organisme di muka bumi ini menikmati manfaat dari sinar matahari sebagai sumber energi. Mikroalga memfiksasi gas karbondioksida atmosfer untuk menghasilkan bahan organik berupa karbohidrat dengan memanfaatkan energi dari sinar matahari. Mikroalga adalah produsen utama bahan organik di muka bumi. Mereka berperan sebagai mangsa zooplankton, kerang dan ikan kecil, yang pada gilirannya dimangsa pula oleh ikan dan hewan yang lebih besar. Manusia berdiri di puncak rantai makanan ini.



Gambar 3.7. Rantai makanan dimulai dari mikroalga sampai dengan manusia.

3

<https://theconversation.com/micro-solutions-for-a-macro-problem-how-marine-algae-could-help-feed-the-world-85702>

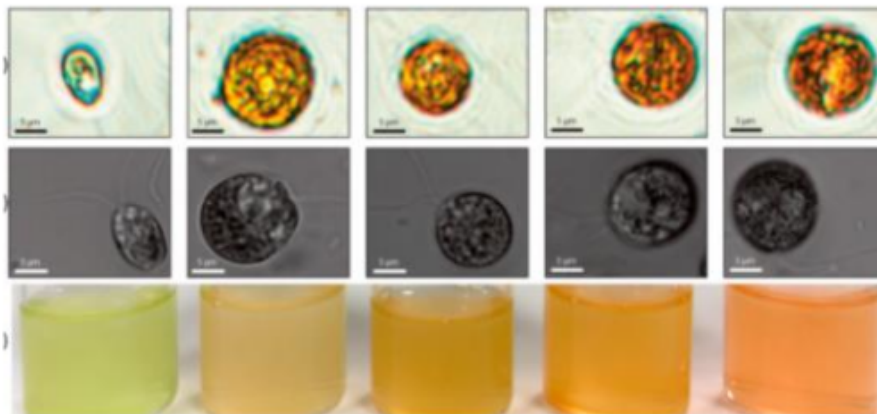
Dengan demikian, tidak berlebihan untuk mengatakan bahwa mikroalga sampai saat ini telah menopang semua organisme di muka bumi. Apalagi saat ini ada kebutuhan sosial yang sangat besar dalam menyediakan makanan serta bahan makanan yang aman dan stabil. Mikroalga jawabannya, seperti spesies mikroalga *Spirulina platensis* yang telah sejak lama digunakan sebagai pangan sekaligus obat di Amerika Selatan dan Afrika.



Gambar 3.8. Biomasa Spirulina (mikroalga biru) yang dijadikan makanan

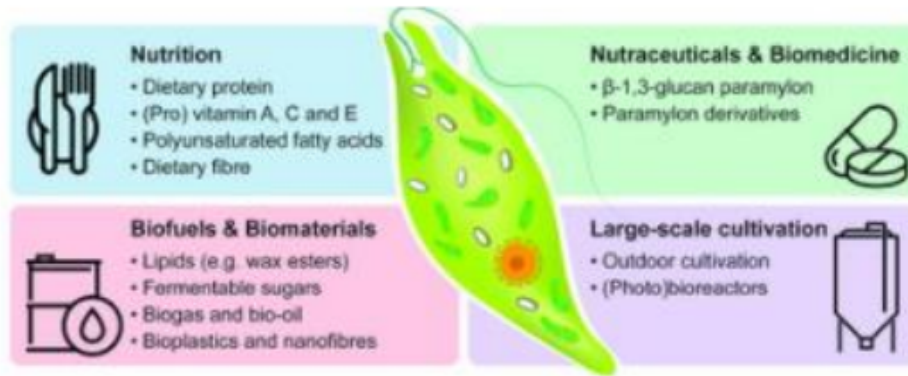
<https://vivaglammagazine.com/why-spirulina-is-popping-up-all-over-instagram/>

Pada saat ini penelitian terhadap spesies mikroalga ini terus dilakukan untuk mengamati kandungan nutrisi dan zat bioaktifnya. Begitupun penggunaan spesies mikroalga lainnya seperti *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella tertiolecta* dan *Euglena gracilis* yang digunakan secara luas sebagai makanan kesehatan oleh penduduk di negara Jepang. Bangsa tersebut telah lama menyadari bahwa mikroalga efektif untuk memelihara kesehatan dan mencegah penyakit. Saat ini, penelitian sedang digiatkan untuk menggunakan mikroalga sebagai sumber bahan pangan baru dan terbaharukan.



Gambar 3.9. *Dunaliella salina* (mikroalga hijau)

<https://www.mdpi.com/2079-7737/7/1/14/html>



Gambar 3.10. *Euglena gracilis* (Flagellata)

https://www.researchgate.net/publication/333119266_Bioproductions_From_Euglena_gracilis

Sementara itu, mikroalga beracun terkadang tumbuh subur di Pasifik Selatan. Karena mikroalga membentuk dasar rantai makanan, racun terkonsentrasi di tubuh ikan yang memakan mikroalga tersebut. Orang yang makan ikan seperti itu terkadang mengalami kelumpuhan atau gejala keracunan makanan lainnya.

Contoh khas dari racun tersebut adalah racun ciguatera. Sampai saat ini, kasus keracunan terkait toksin ciguatera dilaporkan hanya di wilayah Pasifik selatan. Namun, karena pemanasan global baru-baru ini, mikroalga yang mengandung racun ciguatera telah mulai bergerak ke utara, meningkatkan kemungkinan ikan yang terkontaminasi oleh racun yang ditangkap di laut dekat pantai Jepang. Profesor Shoichiro Suda dari Universitas Ryukyus telah mulai mengumpulkan mikroalga beracun. Dari sudut pandang memastikan bahwa makan ikan itu aman, perlu untuk mempromosikan penelitian dan mengumpulkan informasi tentang mikroalga di perairan perikanan.

C. Pakan

Saat ini, pemanfaatan mikroalga sebagai pakan dibidang perikanan terus dikembangkan. Baik perikanan air laut maupun air tawar, telah menggunakan mikroalga sebagai pakan tambahannya. Mikroalga tersebut dapat berupa sel yang hidup maupun yang sudah mati berupa biomasa kering. Penggunaan mikroalga sebagai pakan hidup sangat dipengaruhi kondisi lingkungan dan perubahan iklim. Oleh sebab itu kultur mikroalga sangat penting baik pada kolam tertutup maupun terbuka untuk menyediakan pakan berupa biomasa kering. Sebagai contoh penduduk kota Akkeshi di Hokkaido Jepang, telah menggunakan mikroalga hidup spesies *Chaetoceros calcitrans* sejak awal budidaya kerang.

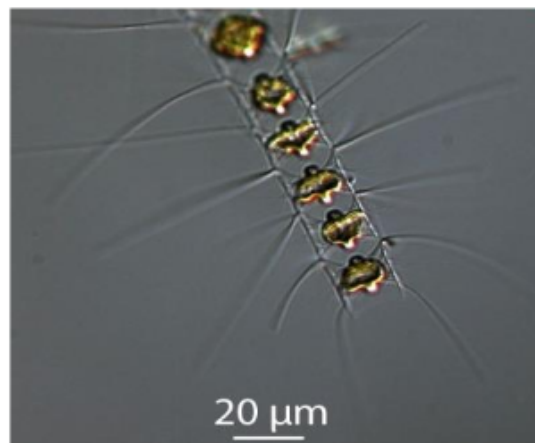


38 Gambar 3. 11. Kultur mikroalga sampai panen.

https://www.researchgate.net/publication/48340344_Modeling_and_optimization_of_algae_growth

Selain itu penggunaan mikroalga terus diperhitungkan mengingat semakin mahalnya pakan yang berasal dari jagung dan

biji bijian terutama untuk ternak ruminansia. Diperlukan sekitar 11 kg biji bijian yang setara dengan satu kg daging sapi. Jagung dan biji bijian juga masih sangat dibutuhkan oleh manusia. Sehingga menjadi ironis bila untuk memberi makan ternak menggunakan makanan yang seharusnya dikonsumsi manusia. Apalagi banyak diberbagai belahan bumi yang mengalami kekurangan makanan bahkan kelaparan. Oleh sebab itu penggunaan mikroalga sangat tepat karena kandungannya yang seimbang seperti karbohidrat, protein, lemak, mineral dan vitamin yang dibutuhkan ternak untuk meningkatkan berat daging.

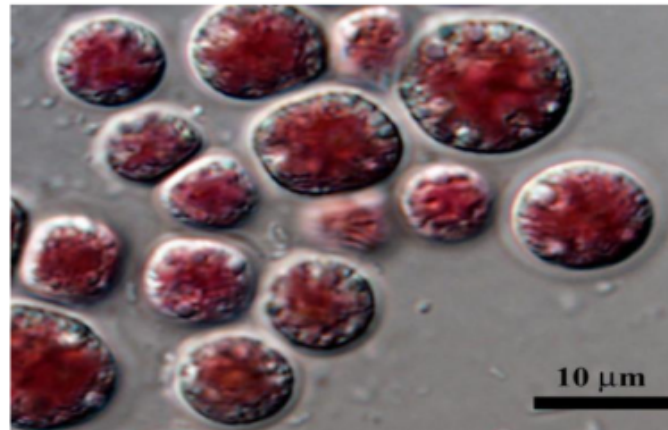


Gambar 3. 12. *Chaetoceros* sp (diatom) sebagai pakan.

https://planktonnetawide/sci_images_detail.php?itemid=60077

Dari kajian nutrisi dan toksikologi ternyata mikroalga terbukti sebagai pakan yang paling cocok untuk diberikan ke ternak peliharaan. Kandungan vitamin, mineral dan asam lemak esensial pada mikroalga akan mampu meningkatkan respons imun, kesuburan serta penampilan luar seperti kulit yang sehat maupun bulu ternak yang berkilau. Protein pada mikroalga dapat digunakan sebagai pengganti protein konvensional yang biasanya

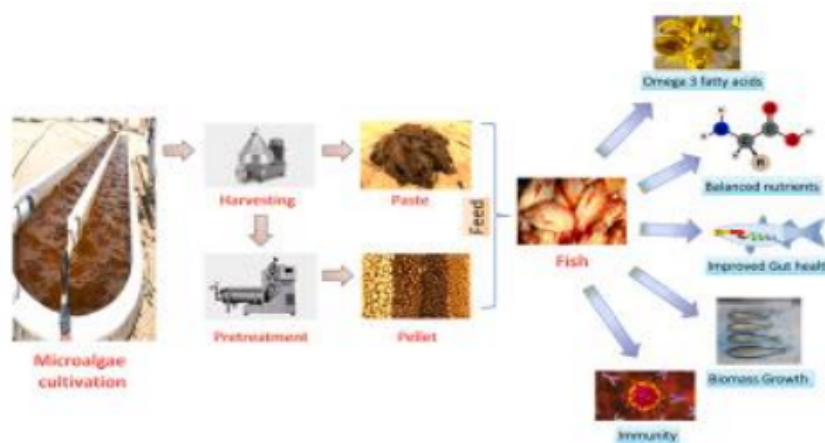
terkandung pada pakan unggas sebesar 5-10%. Sehingga aplikasi mikroalga sebagai pakan unggas sangat menjanjikan bagi pengusaha pakan ternak yang komersil.



Gambar 3.13. *Porphyridium* sp (mikroalga merah)

<https://stringfixer.com/files/21789861.jpg>

Begitupun unggas yang mendapat tambahan biomasa mikroalga *Porphyridium* sp pada pakannya, menunjukkan kadar kolesterol yang menurun 10% pada kuning telurnya berwarna lebih kuning keemasan (tidak kuning pucat) yang menunjukkan kadar karotenoidnya lebih tinggi.



Gambar 3.14. Kultur mikroalga untuk dijadikan pakan

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165621002376>

Ternyata sudah 30% mikroalga yang diproduksi dunia digunakan sebagai pakan tambahan untuk ternak, misalnya ternak ayam yang sudah diberi makan tambahan dari mikroalga *Chlorella* sp. Sehingga telur dari ayam yang mendapatkan pakan mikroalga tersebut pada kuning telurnya kaya kandungan asam linolenat dan asam dokosaheksaenoat. Hasil yang sama bila mikroalga dari spesies lain yang diberikan seperti *Spirulina* sp. Begitupun ternak domba yang diberi mikroalga akan menunjukkan kandungan lemak pada ototnya didominasi oleh asam lemak tak jenuh baik omega 3 maupun omega 6. Pada ternak kelinci dewasa yang mendapat pakan tambahan dari spesies *Spirulina* menunjukkan meningkatnya kolesterol baiknya atau *high density lipoprotein* (HDL) dan menurunkan kolesterol jahatnya atau *low density lipoprotein* (LDL) serta meningkatnya kandungan pencernaan protein kasar. Hasil kajian lain menunjukkan bahwa pakan tambahan berupa biomasa mikroalga spesies *Chlorella* sp dan *Scenedesmus* sp telah berhasil terhadap penggemukan anak sapi. Hal tersebut terjadi karena penambahan mikroalga akan menambah pencernaan serat kasar pada pakannya yang berakibat pengurangan total biaya untuk pakan yang dibandingkan dengan penambahan minyak biji wijen.

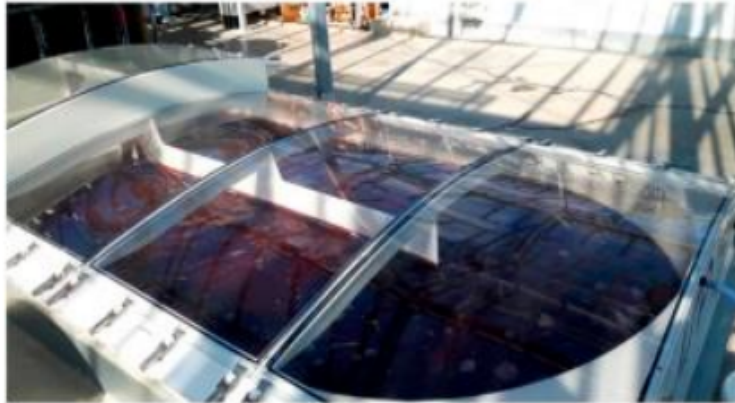


Gambar 3.15 *Spirulina* sp (mikroalga biru) sebagai pakan unggas.

<https://indonesian.alibaba.com/g/cattle-feed-spirulina.html>

Kebutuhan tepung ikan pada pakan ikan dapat digantikan oleh mikroalga. Penambahan biomasa mikroalga selain ekonomis dan ramah lingkungan juga hampir mengandung semua nutrisi yang dibutuhkan ikan. Penambahan biomasa *Chlorella* pada pakan dari ikan mas gibel (*Carassius auratus gibelio*) menunjukkan adanya peningkatan efisiensi pertumbuhan dan parameter fisiologinya. Pada ikan mas yang telah diberi tambahan pakan mikroalga tersebut terjadi peningkatan kandungan Lysozim pada darah yang artinya akan memperlancar metabolisme protein/lipida dan meningkatkan kekebalannya. Pada ikan tersebut hasil pengujian kandungan enzim pencernaannya juga meningkat seperti amilase, lipase dan protease. Ternyata keberadaan biomasa mikroalga pada pakan ikan akan berkerja sebagai stimulant imun alami. Akhirnya hasil kajian para ilmuan dunia menyimpulkan bahwa penambahan biomasa mikroalga pada pakan ikan akan

meningkatkan pertumbuhan dan produksi benih ikan dengan kualitas kandungan nutrisi yang lebih baik.



Gambar 3.16. Mikroalga sebagai pakan ikan.

<file:///C:/Users/Mohamad%20Agus%20Salim/Downloads/324596.pdf>



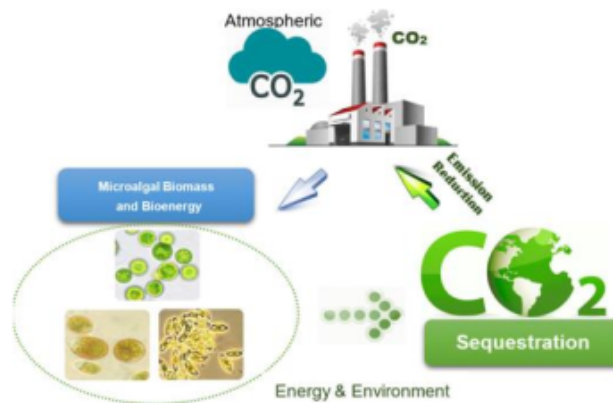
Gambar 3.17. mikroalga *Spirulina* sp (mikroalga biru) sebagai pakan ruminansia.

<https://indonesian.alibaba.com/g/cattle-feed-spirulina.html>

D. Lingkungan

Mikroalga sudah sejak lama berkontribusi terhadap pembentukan atmosfer bumi. Hal ini terjadi karena mikroalga

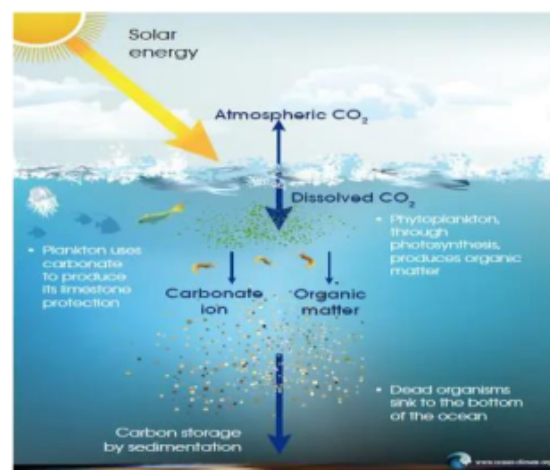
masih menjadi bagian mekanisme penyerapan gas karbondioksida dari atmosfer.



Gambar 3.18. Mikroalga menggunakan CO₂ untuk pertumbuhannya yang dihasilkan dari industri.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926420306214>

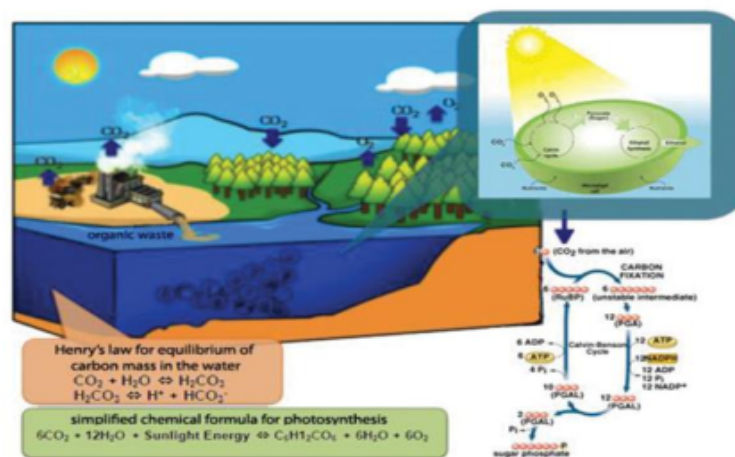
Gas karbondioksida yang berasal dari pernapasan hewan, aktivitas industri dan kendaraan bermotor dapat diserap oleh permukaan laut. Ternyata mikroalga yang menghuni permukaan laut lah yang berperan dalam menyerap gas karbondioksida tadi. Karena gas ini diperlukan oleh mikroalga untuk pertumbuhan selnya melalui proses fotosintesis.



11 Gambar 3. 19. Mikroalga dapat mengangkut CO₂ ke laut dalam.

<https://i0.wp.com/ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/09/wsi-imageoptim-ocean-climate-climate-change-7.jpg?ssl=1>

Selanjutnya mikroalganya sendiri yang telah menyerap gas karbondioksida tadi dimangsa oleh zooplankton dan ikan serta organisme laut lainnya. Karbondioksida terkandung pada organisme permukaan laut akan diangkut ke bagian yang lebih dalam dari laut oleh ikan-ikan dan organisme lainnya yang mati dan juga kotorannya. Hal ini yang dikenal dengan pompa biologi. Dengan mekanisme ini dapat difahami bahwa mikroalga sangat terlibat dalam pengangkutan karbondioksida dari permukaan ke bagian laut yang lebih dalam.



Gambar 3.20. Cahaya, nutrisi dan CO₂ diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga

<https://www.intechopen.com/chapters/51008>

Saat ini, keberadaan mikroalga di laut dapat diamati secara global berkat kemajuan teknologi. Peralatan sensor yang dipasang pada satelit dapat mengenali warna di permukaan laut. Sehingga perkembangan dan distribusi mikroalga dapat dipantau dengan baik. Seperti diketahui, klorofil a yang terkandung pada mikroalga laut dapat menyerap warna biru pada panjang gelombang 443 nm

dan memantulkan cahaya hijau dengan panjang gelombang 550 nm. Berdasarkan alasan ini, laut menjadi biru saat sedikit mikroalga dan menjadi hijau saat banyak mikroalganya. Dengan menganalisis warna laut, kita dapat mengetahui kondisi nyata dan waktu yang tepat dari perkembangan mikroalga.

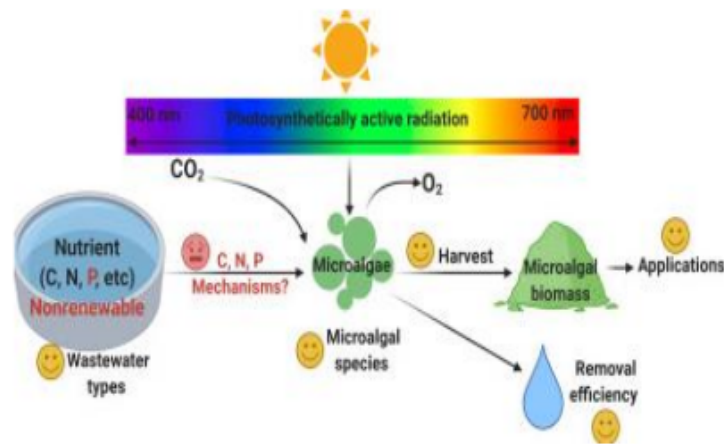


Gambar 3. 21. Mikroalga dapat mengubah warna lautan.

20

<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-chlorophyll/>

Sebaran mikroalga di perairan sangat dipengaruhi oleh ketiga faktor lingkungan yaitu cahaya, suhu air dan hara mineral. Sehingga tidak aneh bila mikroalga banyak dijumpai di daerah pesisir, karena terkumpulnya hara mineral yang berasal dari aliran sungai. Di wilayah subarktik juga mikroalga berkumpul karena berlimpahnya hara mineral. Daerah berikutnya adalah perairan di sekitar khatulistiwa terutama bagian timur karena adanya arus yang naik ke atas permukaan yang membawa hara mineral.

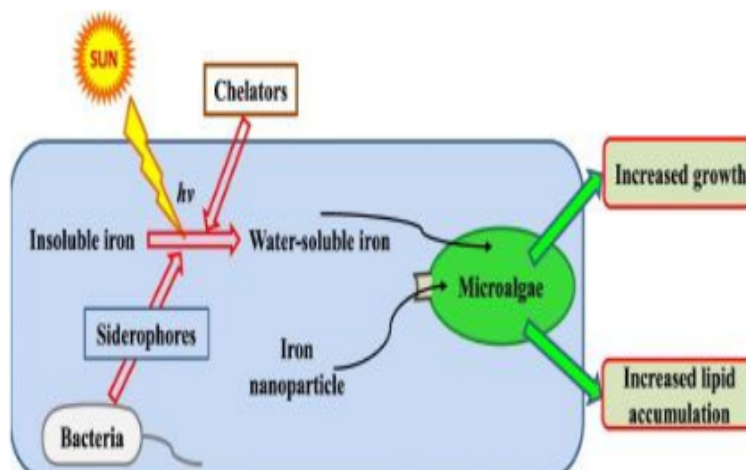


Gambar 3.22. Hara mineral diangkut mikroalga.

5

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0048969720381213-ga1.jpg>

Mineral besi yang tersebar cukup di lautan dapat menopang pertumbuhan mikroalga. Begitupun sebaliknya perairan yang sedikit bahkan kurang kadungan mineral besi, mikroalga akan sulit tumbuh. Mineral besi berasal dari daratan yang terbawa bersama aliran sungai atau hembusan angin membawa pasir yang mengandung mineral besi ke arah lautan.



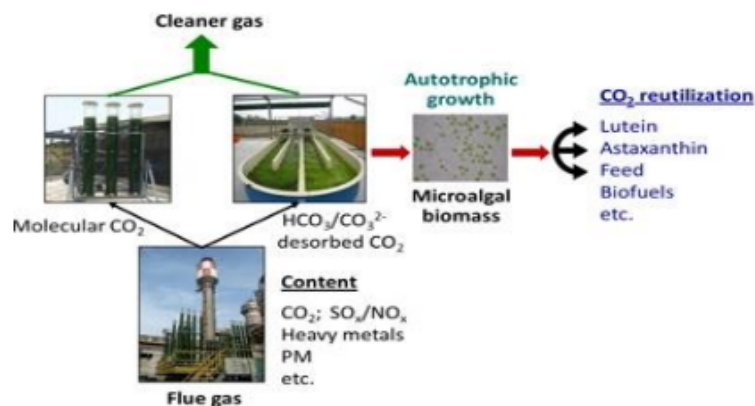
Gambar 3.23. Mikroalga dapat menyerap dan mengangkut besi.

5

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2211926421002770-ga1.jpg>

Ternyata mikroalga dapat digunakan untuk memurnikan air. Kandungan nitrogen dan fosfor dapat diserap oleh sel

mikroalga. Hal ini penting bagi budidaya udang karena membutuhkan air murni yang tidak tercemar oleh kedua macam unsur tersebut. Disini mikroalga berperan dalam menyerap dan menghilangkan kelebihan hara mineral yang dapat membahayakan pertumbuhan udang. Dalam hal ini mikroalga memiliki fungsi dalam pemurnian sehingga diperoleh air yang berkualitas.



Gambar 3.24. Mikroalga dapat menyerap gas dan logam berat yang berbahaya

32

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/biot.201400707>

Kemampuan mikroalga dalam menyerap gas karbondioksida telah dibuktikan oleh perusahaan euglena Co. Ltd di Jepang. Kultur mikroalga *Euglena gracilis* dihubungkan dengan gas buang dari industri yang mengandung karbondioksida. Gas buang tersebut kalau tidak langsung ke tangki biakan mikroalga akan dioksidasi oleh berbagai oksida. Sehingga bila diinjeksikan ke kultur, mikroalga akan segera mati. Namun bila gas buangan tersebut langsung diinjeksikan ke kultur maka akan meningkatkan pertumbuhan mikroalga tersebut. Hal tersebut membuktikan bahwa mikroalga spesies *Euglena gracilis* dapat dimanfaatkan untuk menyerap gas karbondioksida.



Gambar 3. 25. *Euglena gracilis* (flagellate)

<https://www.pinterest.com/pin/406168460113841766/>

E. Bahan Bakar Hayati (*Biofuels*)

33

Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil, manusia harus segera mendapatkan alternatifnya. Pengembangan bioethanol dari jagung menimbulkan konflik kepentingan, apa kita memilih “pangan atau bahan bakar” ?. Jagung sebagai salah satu bahan pangan yang penting dan harganya sekarang tambah mahal. Lagi pula di belahan bumi lain ada masyarakat yang kekurangan makan bahkan kelaparan. Maka hilanglah harapan masyarakat di berbagai negara untuk mempertahankan pasokan pangan yang stabil.



Gambar 3.26. Bioethanol dari jagung

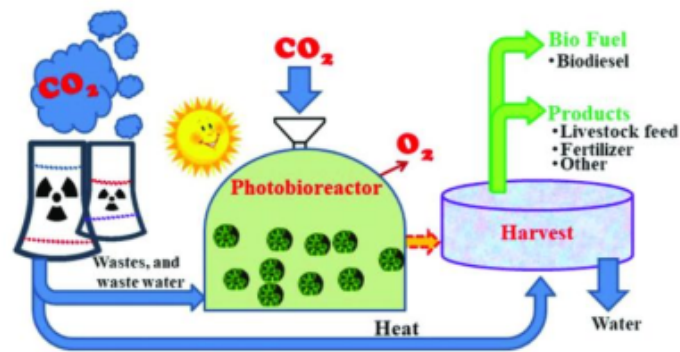
<https://www.dreamstime.com/photos-images/ethanol.html>

Terdapat alternatif lain dalam pengembangan bioethanol yaitu menggunakan selulosa. Bahan ini berupa bahan organik yang tidak dapat dimakan oleh manusia seperti rumput rumputan. Namun kenyataannya tetap menimbulkan konflik berkepanjangan. Petani dihadapkan pada pilihan untuk menanam jagung atau rumput. Tinggal tanaman mana yang lebih menguntungkan dengan harga jual yang lebih mahal. Hal ini juga akan berakibat dalam memutuskan luasan lahan yang akan ditanami oleh kedua jenis tanaman ini.



15 Gambar 3.27. Rumput gajah bahan baku bioethanol
<https://www.bukalapak.com/p/hobi-koleksi/berkebun/bibit-tanaman/yqzoz-jual-stek-bibit-rumput-gajah>

Dengan permasalahan yang dihadapi manusia sekarang ini, maka pengembangan mikroalga menjadi layak. Mikroalga tidak menimbulkan persaingan pangan, karena masih bukan makanan pokok manusia. Untuk pertumbuhannya, mikroalga membutuhkan karbondioksida, hara mineral dan cahaya. Sehingga selama air dan sinar matahari tersedia, maka mikroalga dapat dibudidayakan dengan baik. Disamping itu budidaya mikroalga tidak memerlukan lahan yang subur yang diperlukan oleh sektor pertanian.



Gambar 3.28. Biofuels yang dihasilkan mikroalga setelah dikultur dengan pasokan mineral, karbondioksida dan cahaya matahari.

<https://www.researchgate.net/figure/Carbon-dioxide-capture-by-microalgae-for-biomass-and-value-added-product>

Mikroalga memiliki minyak atau lipida pada selnya. Tumpukan sel mikroalga yang tersimpan ratusan miliar tahun yang lalu menjadi minyak bumi saat ini. Spesies khusus mikroalga seperti *Gephyrocapsa*, *Dinophysis acuminata*, dan *Bacillariophyceae*, dikenal mengandung lipida yang berlimpah.



Gambar 3.29. *Gephyrocapsa oceanica* (haptophyta)

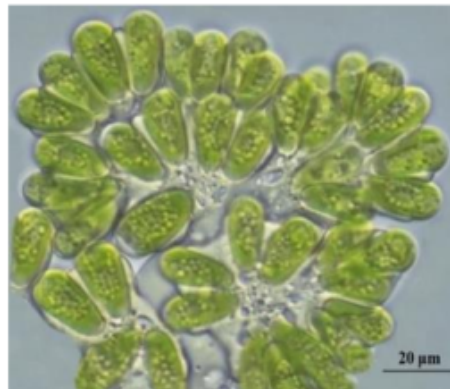
28

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gephyrocapsa_oceanica_color.jpg



Gambar 3.30. *Dinophysis acuminata* (diatom)

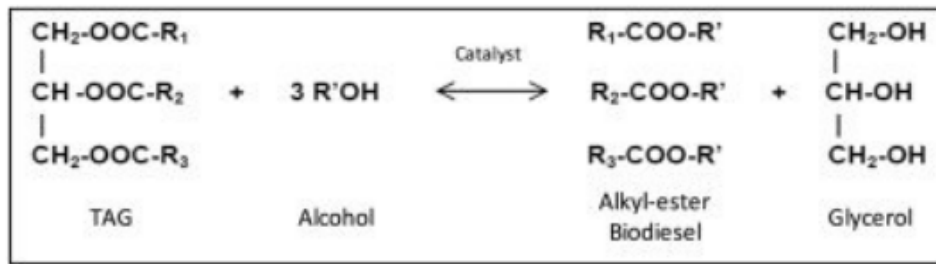
http://media.nordicmicroalgae.org/original/Dinophysis%20acuminata_2.jpg



Gambar 3.31. *Botryococcus braunii* (mikroalga hijau)

https://www.researchgate.net/publication/305046617_Emer_Life_Sci_Res_

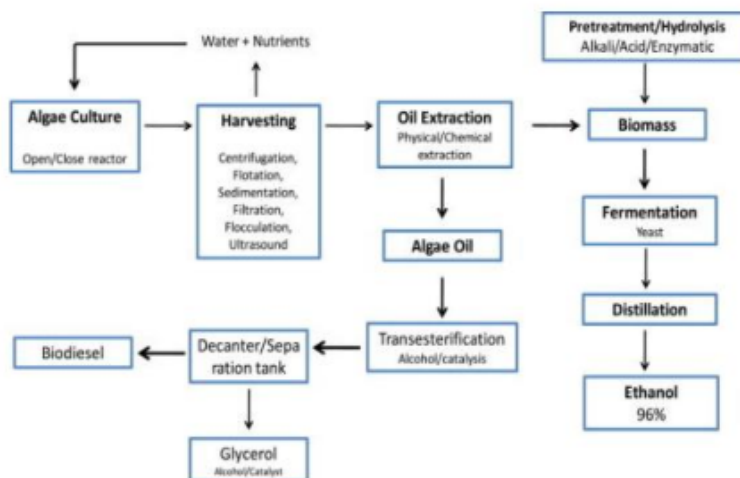
Oleh sebab itu terus dikembangkan budidaya mikroalga spesies tersebut untuk menghasilkan bahan bakar hayati (*biofuels*). Begitupun mikroalga dari genus *Botryococcus* mengandung minyak hidrokarbon dengan angka karbon 30 sampai 40. Kandungan minyak dari mikroalga ini sampai 75% dari berat keringnya.



Gambar 3.32. Reaksi tranesterifikasi

https://www.researchgate.net/publication/260996156_Photosynthetic_Bioenergy_Utilizing_CO2

Permasalahan yang dihadapi dari produksi biofuel yang berasal dari mikroalga adalah dibutuhkan jumlah volume yang besar dengan harga yang murah. Di sisi lain peralatan untuk membudidayakan dan memproduksi biofuel ini sangat mahal dibandingkan peralatan untuk industri lainnya. Maka jalan keluarnya adalah diusahakan untuk meningkatkan produktivitasnya.



Gambar 3.33. Produksi biodiesel dan bioethanol dari mikroalga

https://www.researchgate.net/publication/260996156_Photosynthetic_Bioenergy_Utilizing_CO2

Telah diketahui untuk organisme penghasil biodiesel selain mikroalga yaitu tanaman kelapa sawit, bunga matahari dan lobak.

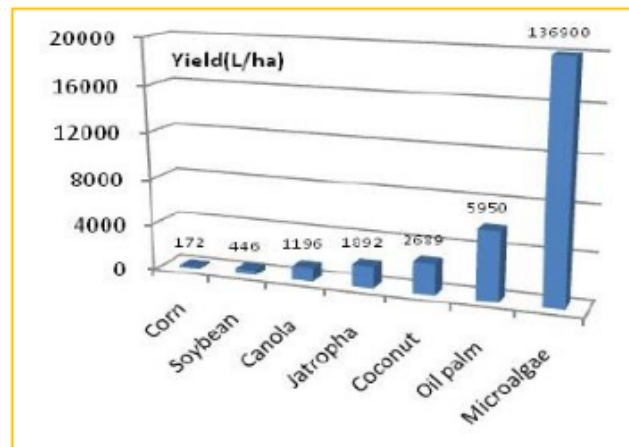
Namun mengusahaan mikroalga tetap lebih unggul dibandingkan tanaman penghasil minyak lainnya. Budidaya mikroalga dapat dikerjakan sepanjang tahun tidak terpengaruh perubahan musim selama tersedia cahaya. Diketahui efisiensi produksi *biofuel* mikroalga sepuluh kali lipat dibandingkan kelapa sawit. Padahal kelapa sawit sampai saat ini sebagai penghasil *biofuels* paling efisien di muka bumi.

Tabel 1 . hasil minyak yang diperoleh dari mikroalga dan tanaman penghasil minyak lainnya.

Crop	Oil yield [l/acre]
* Microalgae	23781-55416
Palm oil	2407
Coconut	1086
Jatropha	764
Canola	480
Soybeans	181
Corn	68

https://www.researchgate.net/publication/324153832_A_preliminary_study_on_some_Chlorella

Selanjutnya untuk mengkultur mikroalga tidak memerlukan lahan yang subur bahkan di gurun sekalipun dapat dilaksanakan. Begitupun mikroalga ini lebih produktif dari organisme lain penghasil *biofuels*. Karena biodisel yang dihasilkan oleh mikroalga sangat mirip dengan minyak disel maka segala infrastruktur produksinya yang digunakan juga sama. Sehingga biodiesel yang dihasilkannya juga dapat digunakan oleh kendaraan yang sama dengan minim modifikasi mesin.



Gambar 3.34. Produksi minyak dari mikroalga dan tanaman penghasil minyak lainnya.

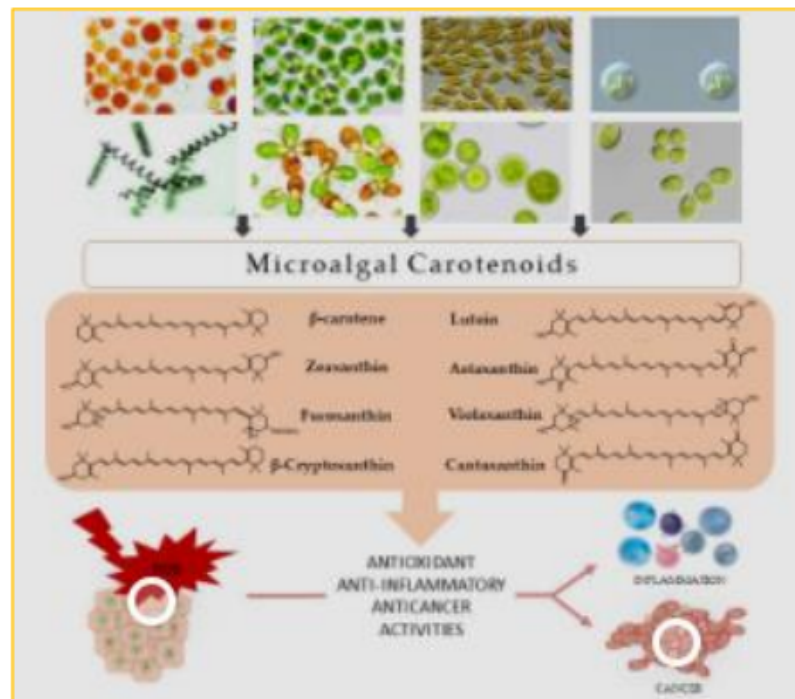
https://www.researchgate.net/publication/230688917_Potency_of_Microalgae_as_Biodiesel_Source_in_Indonesia

Terlihat bahwa konversi mikroalga menjadi biodiesel akan lebih mudah daripada menjadi bioethanol. Sehingga infrastruktur sebelumnya yang digunakan untuk memproduksi minyak disel dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel dari mikroalga. Menjadi sangat layak untuk mewujudkan kemandirian bahan bakar dari mikroalga.

F. Kesehatan

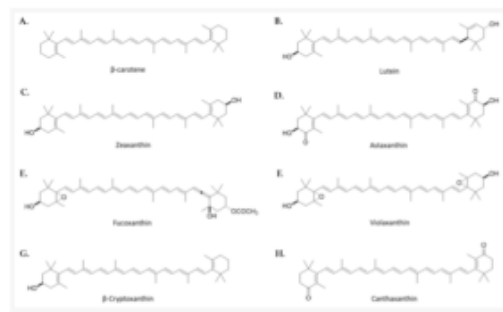
Karotenoid merupakan kelompok pigmen besar yang larut lemak (lipofilik), terdapat juga pada mikroalga. Sebagian besar dari kelompok pigmen ini memiliki sifat terapeutik (efek mengobati) seperti perannya sebagai anti-inflamasi dan anti-kanker. Potensi karotenoid ini dihubungkan dengan kemampuannya dalam meredam radikal bebas karena sebagai senyawa antioksidan yang kuat yang dapat melindungi organisme terhadap stress oksidatif.

Lebih dari 400 jenis yang termasuk kelompok karotenoid ini seperti beta karoten dan astaxantin yang secara luas telah dipasarkan, begitupun lutein dan zeaxantin yang masih kurang produksinya.



Gambar 3.35. Karotenoid mikroalga dan manfaatnya.

<https://www.mdpi.com/1660-3397/19/10/531/htm>

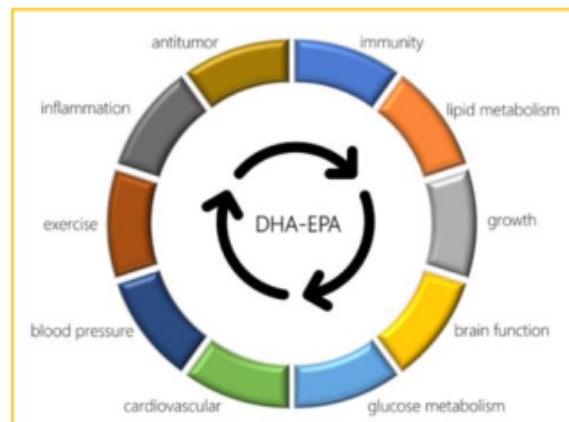


Gambar 3.36. struktur kimia kelompok karotenoid

<https://www.mdpi.com/1660-3397/19/10/531/htm>

Saat ini sumber PUFA yang paling dikenal yaitu dari ikan. Namun para ahli menyebutkan bahwa ikan tersebut telah memakan banyak mikroalga. Oleh sebab itu dipertimbangkan bahwa sumber

PUFA yang potensial adalah mikroalga. Sedangkan fungsi PUFA berperan penting dalam metabolisme tubuh diantaranya regulasi fluiditas membran, transport elektron dan oksigen serta adaptasi termal. Diketahui asam lemak tak jenuh ini dapat mengatasi hiperglikemia dengan cara menurunkan kadar lipida seperti kolesterol dan trigliserida sehingga akan menurunkan resiko penyakit jantung dan arterosklerosis. Jenis dari PUFA yaitu EPA dan DHA yang dikenal melengkapi nutrisi manusia yang sangat menarik. Fungsi DHA sebagai asam lemak struktural penting yaitu mendukung perkembangan otak dan mata pada bayi, menjaga kesehatan kardiovaskuler pada orang dewasa. DHA ini dapat ditemukan pada lemak ikan, daging dan ASI namun tidak ditemukan pada susu sapi.



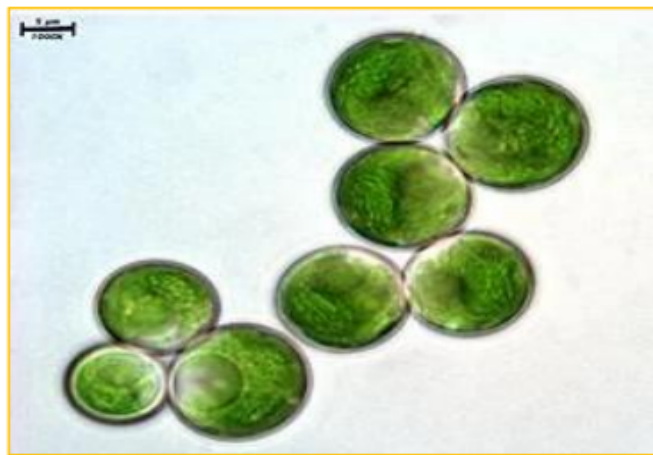
Gambar 3.37. Peran DHA-EPA pada manusia

19

<https://www.globalseafood.org/advocate/study-replaces-dietary-fish-oil-with-microalgal-oil/>

Jenis lain dari PUFA adalah GLA yang berguna dalam membantu mengobati berbagai penyakit seperti radang sendi, penyakit jantung, obesitas, depresi, alkoholisme, skizofrenia, Parkinson, sklerosis multiple, defisiensi zeng dan penyakit lainnya

yang biasa muncul di usia tua. Mikroalga yang menghasilkan asam lemak esensial seperti DHA, EPA, dan GLA diantaranya yaitu *Cryptocodinium*, *Schizochytrium*, *Thraustochytrids* dan *Ulkenia*. *Cryptocodinium cohnii* dikenal sebagai mikroalga yang menghasilkan 40-50% DHA namun tidak mengandung EPA maupun PUFA rantai panjang lainnya. Sedangkan *Schizochytrium* mampu menghasilkan DHA maupun EPA yang telah digunakan sebagai suplemen makanan, minuman, pakan ternak, marinkultur, keju, yogurt, saus dan produk sereal. Asam lemak esensial seperti DHA dan EPA sangat diperlukan oleh wanita hamil dan menyusui juga pasien kardiovaskuler.

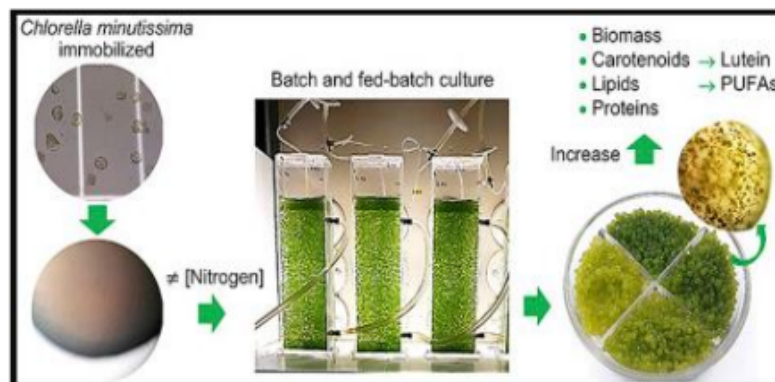


Gambar 3.38. *Parietochloris alveolaris* (mikroalga hijau)

<https://utex.org/products/utex-b-0836?variant=30991575089242>

Mikroalga dari jenis *Chlorella minutissima* dapat menghasilkan EPA yang banyak dan akan semakin banyak jumlahnya bila mikroalga ini mendapatkan stress suhu yang rendah dan salinitas yang meningkat. Jenis jenis lainnya dari mikroalga yang menghasilkan banyak EPA yaitu *Nannochloropsis*

sp, *Aurora sp* dan *Nitzchia sp*. Sedangkan *Parietochloris incisa* mampu menghasilkan lipida total dan AA dalam jumlah yang banyak. Sedangkan *Spirulina platensis* dikenal sebagai mikroalga biru penghasil asam klinolenat terbaik. Komponen asam lemak yang terkandung pada mikroalga biru yaitu asam lemak rantai 16 dan 18 karbon yang sering digunakan pada makanan. Begitupun GLA dapat dihasilkan cukup banyak pada mikroalga biru seperti *Spirulina* dan *Nostoc*. WHO dan FAO menyarankan untuk mengosumsi makanan dengan rasio asam lemak tak jenuh ganda : asam lemak jenuh diatas 1,4 dan mikroalga memiliki rasionya antara 1,65 sampai dengan 3,71.

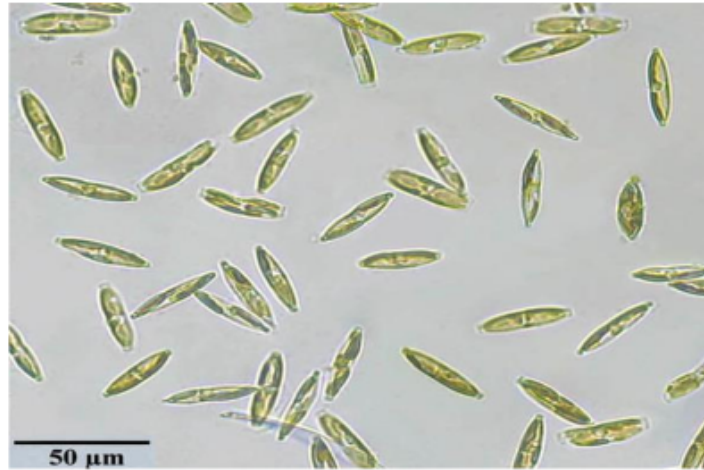


Gambar 359. Potensi *Chlorella minutissima* (mikroalga hijau)

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S187881812030044X-fx1.jpg>

Senyawa antioksidan yang terkandung pada mikroalga dianggap sebagai sistem antioksidan multi komponen yang sangat ampuh karena adanya interaksi dari setiap komponen senyawa antioksidan yang terkandungnya. Disamping itu mikroalga kaya akan vitamin seperti α dan β -tokoferol serta α -tokotrienol (vitamin E) dan fenol larut lemak yang semuanya memiliki sifat antioksidan. Diketahui vitamin E memiliki khasiat terapeutik (pengobatan)

terhadap kanker, penyakit hati, mata, Alzheimer, Parkinson, dan yang lainnya. Biomasa mikroalga telah digunakan pada industri makanan, sebagai pengawet, aditif yang berguna meningkatkan kesehatan dan proteksi dari paparan sinar UV ke kulit.

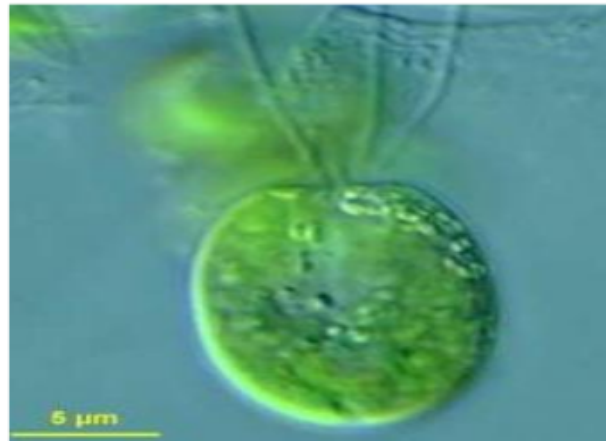


Gambar 3.40. *Nitzschia* salah satu anggota dari diatom.

<https://users.ugent.be/~pchaerle/strains/pics2/Nitzschia%20sp.-culture.jpg>

Mikroalga dari spesies *D. tertiolecta* dan *Tetraselmis suecica* akan menghasilkan vitamin E yang berlimpah bila dikultur pada kondisi defisiensi nitrogen. Begitupun *Euglena gracilis* diketahui mengandung α -tokoferol konsentrasi tinggi ($3,7 \pm 0,2$ mg/g). Kobalamin (vitamin B12) sebagai vitamin yang larut air dapat diproduksi oleh mikroalga misalnya *Spirulina sp* mensintesis B12 dalam jumlah besar dibandingkan sumber makanan lainnya. Begitupun asam askorbat (vitamin C) sebagai vitamin yang larut dalam air dapat dihasilkan oleh mikroalga *Chlorella sp* dan *Dunaliella sp* dalam jumlah besar. Vitamin C penting dalam pembentukan kolagen, karnitin dan biosintesis neurotransmitter. Vitamin ini sering digunakan sebagai aditif makanan dan

berpengaruh baik bagi kesehatan diantaranya mencegah kanker dan aterosklerosis serta berperan sebagai imunomodulator.



Gambar 3.41. *Tetraselmis suecica* (mikroalga hijau)

<https://eol.org/media/10646421>

Ternyata mikroalga *B braunii* dapat menghasilkan *butylated hydroxytoluene* (BHT) senyawa antioksidan lipofilik dalam jumlah yang besar. BHT sebagai senyawa antioksidan yang digunakan sebagai aditif makanan pada berbagai produk. Begitupun *Dunaliella* sp dapat menghasilkan glutathione (GSH) dalam jumlah tinggi. GSH ini sebagai senyawa thiol non protein yang bersifat antioksidan enzimatis yang meredam ROS sehingga mencegah kerusakan sel penyebab beberapa penyakit degeneratif. GSH ini digunakan pada industri farmasi, produksi makanan dan kosmetika.

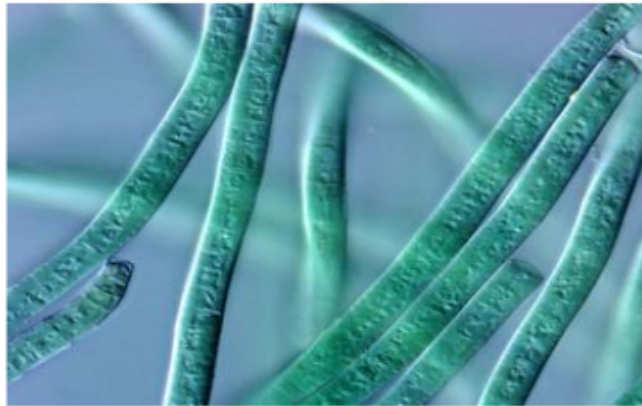


Gambar 3.42. *Scenedesmus quadricauda* (mikroalga hijau)

29

<http://algaebac.cn/english/algaedetail.aspx?id=812>

Metabolit sekunder dari mikroalga kelompok Cyanobacteria yang telah diidentifikasi sebagai organisme penting karena menghasilkan senyawa bioaktif. Beberapa cyanobacteria, seperti *Spirulina*, *Anabaena*, *Nostoc* dan *Oscillatoria*, menghasilkan banyak varietas metabolit sekunder dan senyawa bioaktif.

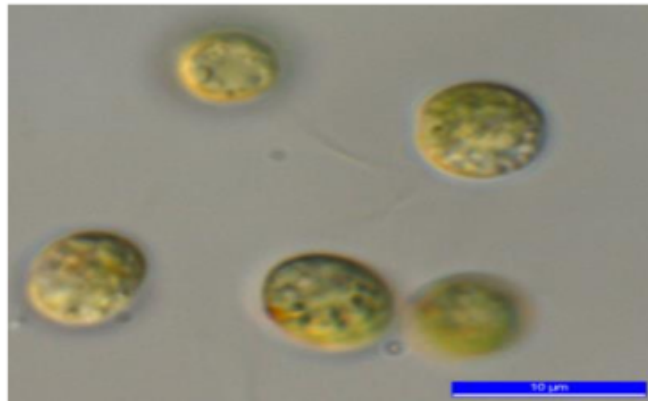


Gambar 3.43. *Phormidium* sp (mikroalga biru)

<https://mp.ccnccoll.edu/Silicasecchidisk/LucidKeys>

Sintetase peptida dihasilkan secara umum pada cyanobacteria dan terlibat dalam biosintesis senyawa bioaktif tertentu (misalnya, microcystins). Sedangkan *Chlorella* spp. dan *Scenedesmus*

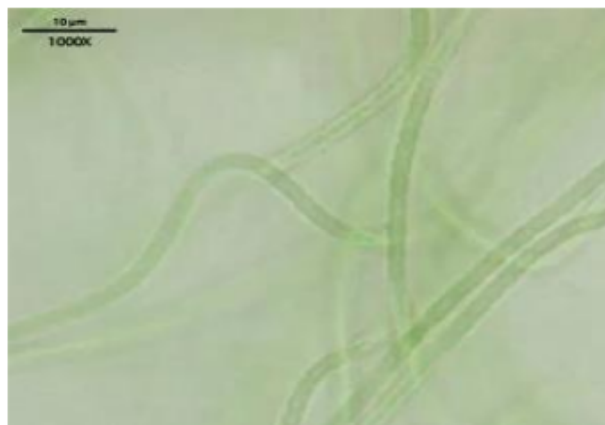
quadricauda menghasilkan polisakarida yang berfungsi sebagai agen pelindung terhadap stres oksidatif.



Gambar 3.44. *Dunaliella tertiolecta* (mikroalga hijau)

<https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-19-27>

Lyngbya lagerheimii dan *Phormidium tenue* menghasilkan senyawa bioaktif sulfolipid dengan ester asam lemak yang berbeda. Cryptophycin adalah senyawa alami yang diisolasi dari mikroalga biru *Nostoc* sp., yang telah terbukti ampuh dalam spektrum luas aktivitas anti-tumor dalam model praklinis in vitro dan in vivo.

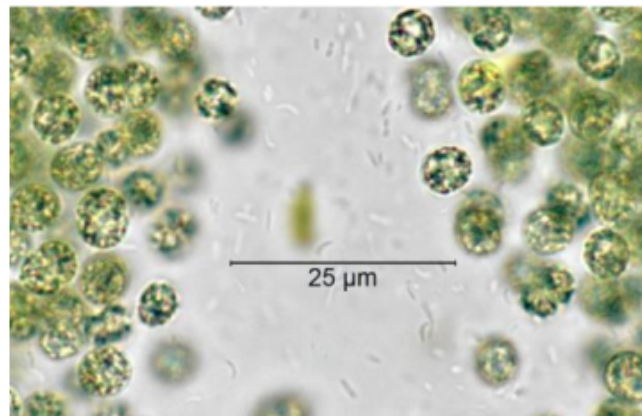


Gambar 3.45. *Lyngbya lagerheimii* (mikroalga biru)

<https://utex.org/products/utex-b-2574?variant=30991549005914>

Di antara mikroalga eukariotik, glikoprotein yang dihasilkan dari supernatan kultur *Chlorella vulgaris* menunjukkan aktivitas

protektif terhadap metastasis tumor dan immunosupresi yang diinduksi kemoterapi pada tikus. Beberapa peptida dan depsipeptida siklik atau linier yang diisolasi dari cyanobacteria adalah inhibitor protease, digunakan untuk pengobatan penyakit seperti stroke, oklusi arteri koroner dan emfisema paru. Senyawa aeruginosin yang diisolasi dari *Microcystis aeruginosa* telah terbukti memiliki sifat penghambatan terhadap trombin, plasmin dan tripsin. Depsipeptida lain, seperti mikropeptin, mikrositilida, sianopeptolin, oscillapeptin, dan nostocyclin merupakan penghambat enzim seperti tripsin, plasmin, trombin, dan kimotripsin.



Gambar 3.46. *Microcystis aeruginosa* (mikroalga biru)

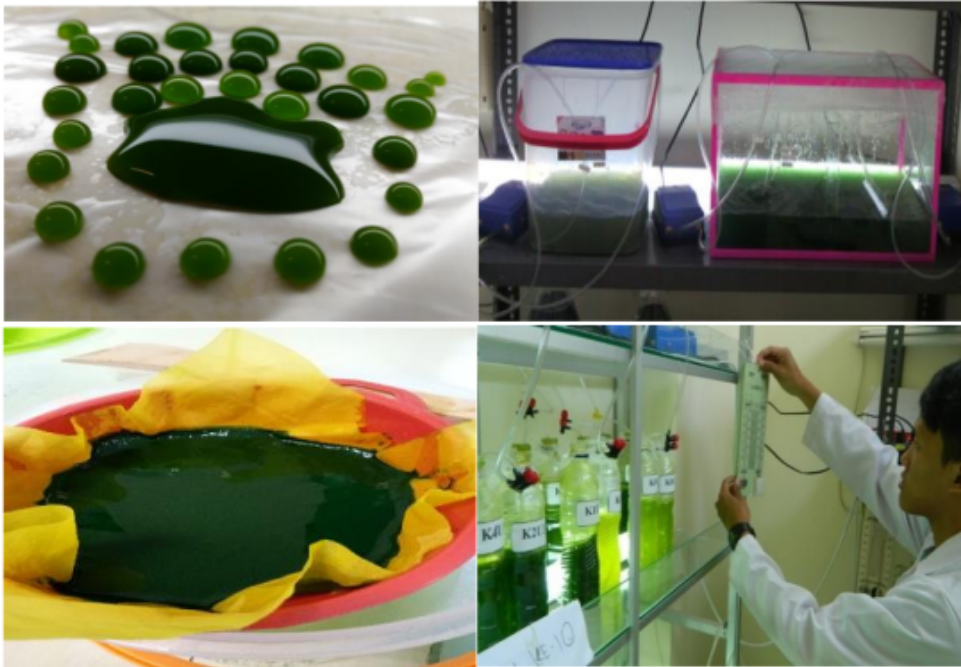
<https://alchetron.com/Microcystis-aeruginosa>

Bab 4

Spesies Mikroalga Terpilih

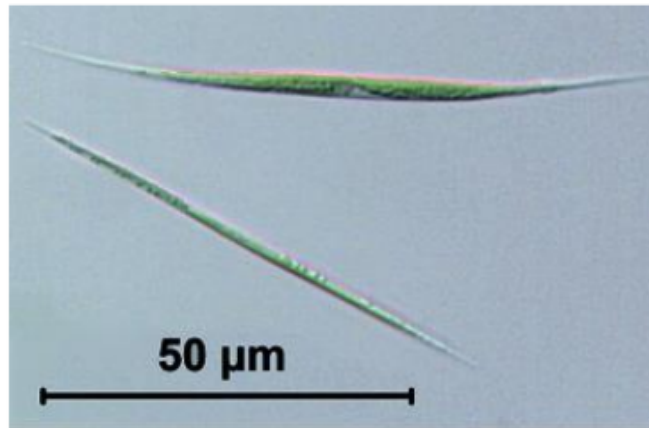
Pembahasan

- A. *Ankistrodesmus*
- B. *Botryococcus braunii*
- C. *Chaetoceros gracilis*
- D. *Chlorella vulgaris*
- E. *Dunaliella salina*
- F. *Haematococcus pluvialis*
- G. *Nannochloropsis oculata*
- H. *Porphyridium cruentum*
- I. *Scenedesmus dimorphus*
- J. *Skeletonema costatum*
- K. *Spirulina platensis*
- L. *Tetraselmis chuii*
- M. *Thalassiosera pseudonana*



A. Ankistrodesmus

Sel-sel Ankistrodesmus panjang dan berbentuk jarum atau gelendong, atau kadang-kadang melengkung dan sedikit berbentuk bulan sabit. Sel-sel memiliki sedikit lendir dan dapat ditemukan secara individual, berkerumun, memutar satu sama lain, atau dalam jumbai di antara mikroalga lainnya. Kloroplas parietal terkadang memiliki pirenoid.



Gambar 4.1. *Ankistrodesmus falcatus*

6

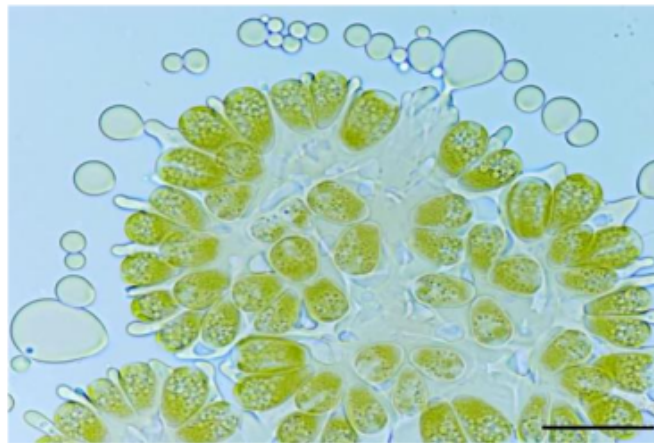
https://mpc.ornccol.edu/Silicasecchidisk/LucidKeys3.5/Keys_v3.5/Carolina35

Klasifikasi

- Filum : Chlorophyta
- Classis : Chlorophyceae
- Ordo : Chlorococcales
- Familia : Oocystaceae
- Genus : Ankistrodesmus
- Spesies : *Ankistrodesmus convolutus*

B. Botryococcus

Botryococcus adalah genus mikroalga hijau. Sel-sel membentuk agregat berbentuk tidak teratur. Filamen tipis menghubungkan sel. Badan sel berbentuk lonjong, panjang 6 sampai 10 μm , dan lebar 3 sampai 6 μm . Kloroplas seperti jaring dengan pirenoid tunggal. Fosil genus yang ditemukan menunjukkan mikroalga ini telah hidup sejak zaman Prakambrium, dan merupakan penyumbang terbesar dan komponen utama untuk terbentuknya deposit minyak mentah di perut bumi.



Gambar 4.2. *Botryococcus braunii*

1 bar = 20 μm

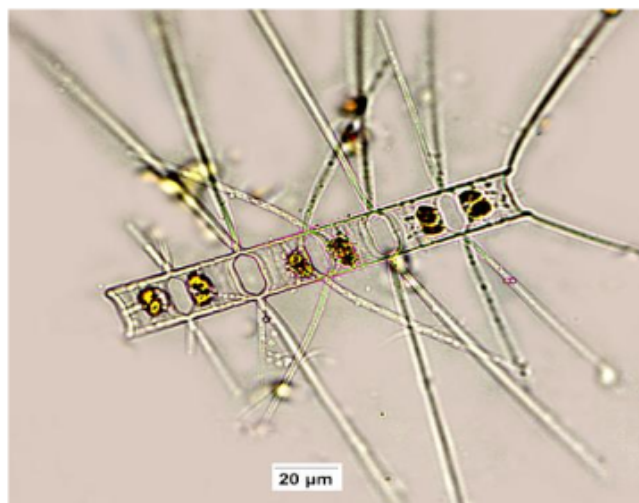
http://plankton.image.coocan.jp/algae2-10_ver2016_03.jpg

Klasifikasi :

- Filum : Chlorophyta
- Classis : Trebouxiophyceae
- Ordo : Trebouxiales
- Familia : Botryococcaceae
- Genus : *Botryococcus*
- Spesies : *Botryococcus braunii*

C. Chaetoceros

Genus ini termasuk pada mikroalga diatom yang terbesar karena ditemukan sekitar 400 spesies. Antar species Chaetoceros terasa sulit untuk membedakan satu dengan yang lainnya. Beberapa upaya untuk merestrukturisasi genus yang besar ini agar dapat dijelaskan perbedaan antar species namun sampai saat ini masih dikerjakan. Pekerjaan untuk mendeskripsikan anggota genus Chaetoceros ini telah banyak dilakukan untuk daerah boreal karena bersifat kosmopolitan namun untuk spesies yang ada di tropis masih banyak yang belum terdeskripsikan. Catatan fosil yang ditemukan di Swedia diperkirakan genus Chaetoceros sudah ada sejak masa kuartar.



Gambar 4.3. *Chaetoceros gracilis*

30

<http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Bacillariophyceae/Centric/Centric>

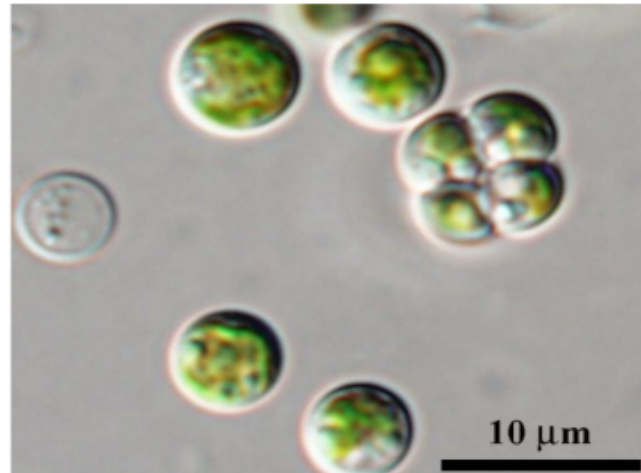
Klasifikasi :

Filum	: Ochrophyta
Clasis	: Bacillariophyceae
Ordo	: <i>Incertae sedis</i>
Familia	: Chaetocerotaceae
Genus	: Chaetoceros
Spesies	: <i>Chaetoceros gracilis</i>

D. Chlorella

Genus Chlorella ini memiliki sekitar 13 species yang termasuk mikroalga hijau dan berada pada divisio Chlorophyta. Sel-selnya berbentuk bulat, berdiameter sekitar 2 sampai 10 μm , dan tanpa flagella. Kloroplasnya memiliki klorofil a dan b. Genus ini berkembang biak dengan cepat pada kondisi yang ideal dengan terpenuhinya kebutuhan karbondioksida, cahaya matahari dan sedikit mineral. Chlorella berasal dari Bahasa Yunani yaitu Chloros yang artinya hijau dan ella dari Bahasa Latin yang artinya kecil. Otto Heinrich Warburg seorang ahli biokimia dan fisiologi sel Jerman dianugrahi hadiah Nobel pada 1931 karena karyanya mengenai respirasi sel dan fotosintesis pada Chlorella. Begitupun Melvin Calvin dari universitas California mendapat hadiah Nobel bidang kimia karena penelitiannya tentang jalur asimilasi karbondioksida pada Chlorella. Chlorella dianggap sebagai sumber makanan dan energi yang potensial, karena efisiensi

fotosintesisnya mencapai 8% melampaui efisiensi tumbuhan terbaik saat ini yaitu tebu.



Gambar 4.4. *Chlorella vulgaris*

<https://ccala.butbn.cas.cz/en/chlorella-vulgaris-beije/rinck-6>

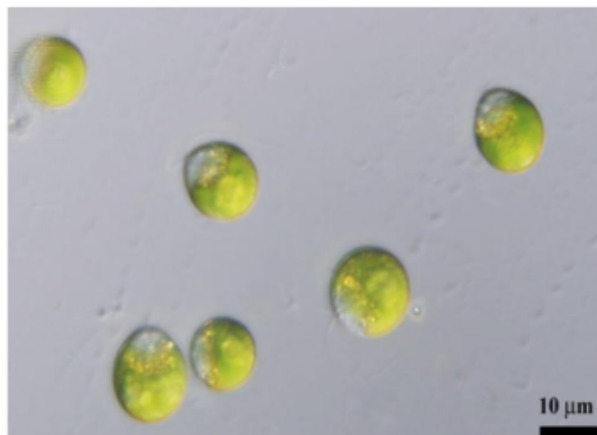
Klasifikasi

- Filum : Chlorophyta
- Classis : Trebouxiophyceae
- Ordo : Chlorellales
- Familia : Chlorellaceae
- Genus : Chlorella
- Spesies : *Chlorella vulgaris*

E. Dunaliella

Dunaliella merupakan mikroalga hijau bersel tunggal dengan kemampuan untuk hidup pada lingkungan hipersalin. Genus ini banyak ditemukan ⁴² di laut dan ada pula di air tawar namun jarang. Genus ini dikenal mampu menghasilkan karotenoid dan gliserol yang sangat banyak pada kondisi lingkungan yang

penyakit dengan cekaman/stres seperti intensitas cahaya tinggi, kadar garam tinggi, kadar oksigen dan nitrogen yang rendah. Spesies dari genus ini sulit dibedakan pada tingkat morfologi dan fisiologi karena kurangnya dinding sel tiap jenis. Analisis filogeni molekuler dapat membantu pengenalan setiap jenis dari *Dunaliella* ini. Genus ini sering dijadikan sebagai model organisme penting untuk kajian adaptasi terhadap kadar garam tinggi. Kajian terhadap *Dunaliella* ini banyak dilakukan dengan bantuan aplikasi bioteknologi untuk pengembangan produk kosmetik, makanan, obat-obatan dan bahan bakar hayati.



Gambar 4.5. *Dunaliella salina*

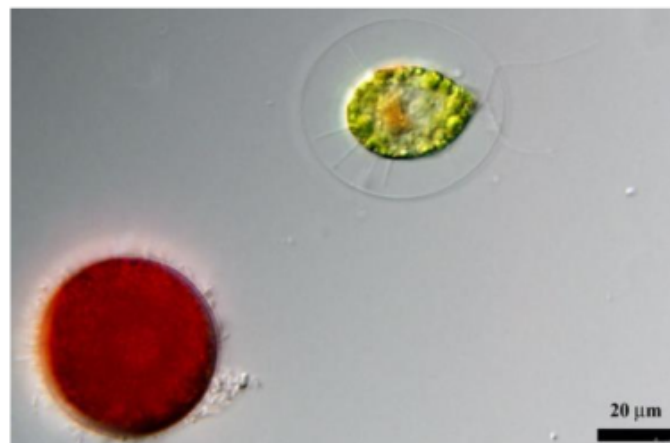
<https://c.cala.butbn.cas.cz/en/dunaliella-salina-teodoresco>

Klasifikasi:

- Filum : Chlorophyta
- Clasis : Chlorophyceae
- Ordo : Chlamydomonadales
- Familia : Dunaliellaceae
- Genus : *Dunaliella*
- Species : *Dunaliella salina*

F. Haematococcus

Genus *Haematococcus* merupakan mikroalga air tawar yang termasuk ke dalam divisio Chlorophyta. Genus ini sangat dikenal dengan baik karena produksi yang berlipah yaitu astasantin. senyawa antioksidan yang sangat kuat dari antasantin sering digunakan dalam aquakultur maupun bahan kosmetik. Astasantin dalam jumlah yang besar dihasilkan saat sel haematococcus dalam bentuk kista saat kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan untuk pertumbuhan sel yang normal. Kondisi lingkungan yang memicu meningkatnya kandungan astasantin yaitu intensitas cahaya yang tinggi, salinitas yang tinggi atau ketersediaan unsur hara yang rendah. Di dunia, genus ini sering ditemukan di wilayah teperata. Sel kista yang berwarna merah darah tersebut sering dijumpai di bawah bebatuan kolam, bahkan di bak tempat mandi burung. Warna merah dari astasantin ini diduga sebagai perlindungan dari sel kista tersebut terhadap sengatan radiasi UV saat terkena cahaya matahari secara langsung.



Gambar 4.6. *Haematococcus pluvialis*

<https://ccala.butbn.cas.cz/en/haematococ-us-sp>

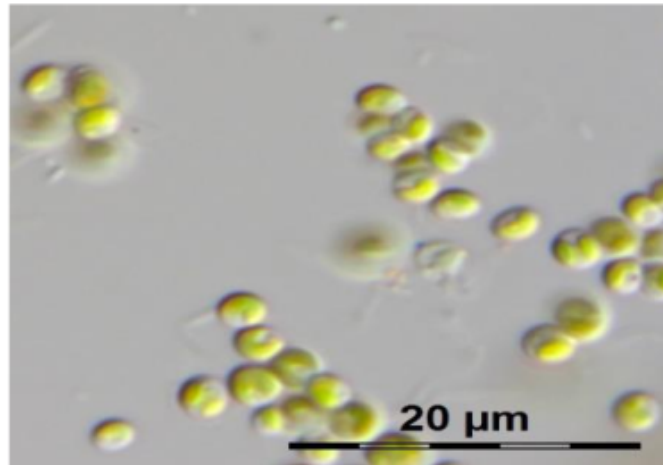
Klasifikasi:

Filum	: Chlorophyta
Classis	: Chlorophyceae
Ordo	: Chlamydomonadales
Familia	: Haematococcaceae
Genus	: Haematococcus
Species	: <i>Haematococcus pluvialis</i>

G. Nannochloropsis

² Nannochloropsis adalah genus mikroalga yang terdiri dari enam spesies yang diketahui. Genus dalam klasifikasi taksonomi saat ini pertama kali disebut oleh Hibberd pada tahun 1981. Spesies ini sebagian besar telah ditemukan dari laut tetapi juga dapat ditemukan di air tawar dan payau. Semua spesies berbentuk bulat kecil nonmotil yang tidak sulit dibedakan morfologi baik yang diamati dibawah mikroskop cahaya maupun elektron. Karakterisasi hanya dapat dikenali dari ² gen *rbcl* dan analisis sekuens 18S rRNA. Mikroalga genus Nannochloropsis berbeda dari mikroalga lainnya karena genus ini hanya ² memiliki klorofil a dan sama sekali tidak memiliki klorofil b dan klorofil c. Selain itu genus ini mampu memproduksi konsentrasi tinggi berbagai pigmen seperti astaxanthin, zeaxanthin dan canthaxanthin. Genus Nannochloropsis memiliki diameter sekitar 2 sampai 3 μm dan

ultrastruktur yang sangat sederhana dengan elemen struktural sedikit bila dibandingkan dengan mikroalga lain. *Nannochloropsis* dianggap sebagai mikroalga yang menjanjikan untuk aplikasi industri karena kemampuannya untuk mengakumulasi dalam jumlah banyak asam lemak tak jenuh ganda. Selain itu, genus ini menunjukkan karakteristik yang menjanjikan yang dapat memungkinkan manipulasi genetik yang ditujukan untuk perbaikan genetik dari genus ini. Berbagai spesies *Nannochloropsis* memang dapat ditransfeksi dan ada bukti bahwa beberapa spesies mampu melakukan rekombinasi homolog. Saat ini terutama digunakan sebagai sumber pakan kaya energi untuk larva ikan dan rotifera. Namun demikian, telah meningkatkan minat juga untuk penelitian produksi bahan bakar hayati. *Nannochloropsis* sebenarnya digunakan sebagai aditif makanan untuk nutrisi manusia dan juga disajikan di Restoran di Spanyol.



Gambar 4.7. *Nannochloropsis oculata*

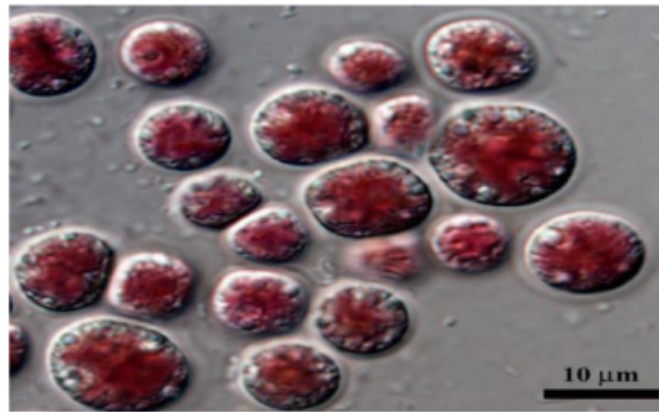
http://sagdb.uni-goettingen.de/detailed_list.php?str_number=38.85

Klasifikasi:

Filum	: Ochrophyta
Classis	: Eustigmatophyceae
Ordo	: Eustigmatales
Familia	: Monodopsidaceae
Genus	: <i>Nannochloropsis</i>
Species	: <i>Nannochloropsis oculata</i>

H. Porphyridium

Genus *Porphyridium* termasuk ke dalam alga merah yang mikroskopis (mikroalga) yang pada umumnya alga merah berupa alga didominasi sebagai alga makroskopis (makroalga). *Porphyridium* dikenal sebagai sumber beberapa produk seperti asam lemak, lipida, polisakarida dinding sel dan pigmen. Polisakarida yang terkandung pada genus ini berupa stuktur tersulfat sehingga cukup luas penggunaannya di bidang industri dan farmasi. Kandungan karbohidrat dari *Porphyridium* dapat mencapai 57% dari berat keringnya. Dengan demikian gabungan antara karbohidrat pada biomasanya dan eksopolisakarida dari mikroalga ini berpotensi sebagai sumber bahan bakar hayati dan farmasi. Genus *Porphyridium* diklasifikasikan diantara alga biru, merah dan alga hijau.



Gambar 4.8. *Porphyridium cruentum*

<https://ccala.butbn.cas.cz/en/porphyridium-cruentum-agnag>

Klasifikasi:

- Filum : Rhodophyta
- Classis : Porphyridiophyceae
- Ordo : Porphyridiales
- Familia : Porphyridiaceae
- Genus : *Porphyridium*
- Species : *Porphyridium cruentum*

I. Scenedesmus

¹ Scenedesmus adalah salah satu mikroalga air tawar yang paling umum; namun, morfologi yang sangat beragam yang ditemukan dalam spesies sehingga identifikasi menjadi sulit. Sementara sebagian besar spesies ditemukan di seluruh dunia, spesies tertentu hanya ada di populasi lokal seperti *S. intermedius* dan *S. serratus* yang ditemukan di Selandia Baru. ¹ Sel memiliki

mekanisme pertahanan diri lain selain kolonisasi. *Scenedesmus* dapat dibagi menjadi dua subgenera, *Scenedesmus* yang tidak berduri dan *Desmodesmus* yang berduri. Meskipun tidak bertulang, sel-sel subgenera *Scenedesmus* memiliki dinding dan lendir sel yang tebal, yang dapat membuatnya tahan terhadap pencernaan. Beberapa senyawa kimia di *Scenedesmus* bahkan bisa menjadi racun bagi organisme tertentu saat dikonsumsi. Bulu hingga 100 μm dapat membentuk jaring baik pada varietas berduri maupun tidak berduri untuk mencegah pemangsa lebih jauh. Sel secara defensif membentuk bulu-bulu ini ketika kairomones terdeteksi, sebuah infokimia yang dikeluarkan oleh *Daphnia* yang telah dikembangkan oleh *Scenedesmus* untuk dikenali sebagai sinyal peringatan.



Gambar 4.9. *Scenedesmus dimorphus*

<https://alchetron.com/Scenedesmus#scenedesmus-879879d5-47c5-4350-99b7-6e1117fb9d-resize-750.jpeg>

Klasifikasi:

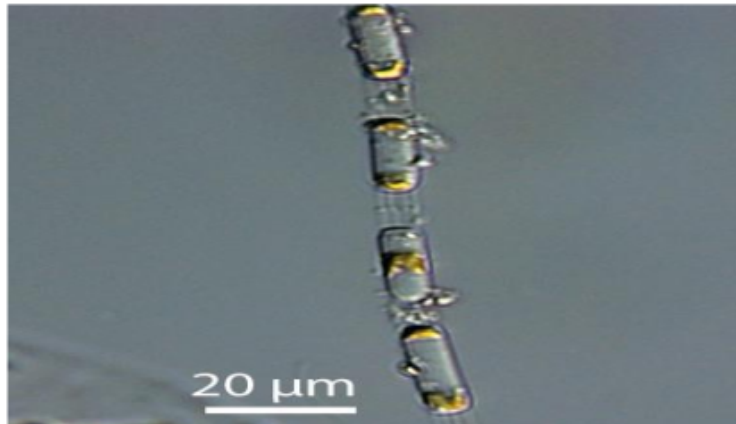
- Filum : Chlorophyta
 Classis : Chlorophyceae
 Ordo : Sphaeropleales

Familia : Scenedesmaceae
Genus : Scenedesmus
Spesies : *Scenedesmus dimorphus*

J. Skeletonema

Skeletonema adalah genus diatom dalam familia Skeletonemataceae. Genus Skeletonema ditemukan oleh R. K. Greville pada tahun 1865 untuk satu spesies, *S. barbadense*, yang ditemukan di deposit Barbados. Diatom ini adalah organisme fotosintesis, yang berarti mereka menyerap karbon dioksida dari lingkungan sekitarnya dan menghasilkan oksigen bersamaan dengan produk sampingan lainnya. Reproduksi secara seksual (reproduksi seksual adalah oogami) dan asexual. Skeletonema termasuk dalam kategori morfologi yang disebut sebagai diatom sentris. Ini diklasifikasikan dengan memiliki katup dengan simetri radial dan sel tidak memiliki motilitas yang signifikan. Skeletonema berbentuk silinder dengan frustule silika. Sel bergabung dengan proses marginal yang panjang untuk membentuk filamen. Panjangnya berkisar antara 2-61 μm , dengan diameter berkisar antara 2-21 μm . Mereka biasanya ditemukan di zona neritik laut dan sangat padat populasinya di sistem pesisir. Genus ini dianggap kosmopolitan, menunjukkan kisaran toleransi yang luas terhadap salinitas dan suhu. Misalnya, mereka telah ditemukan di berbagai lingkungan perairan seperti payau atau air tawar. Kerangkanya ditemukan di seluruh dunia tidak termasuk

perairan Antartika. Beberapa efek berbahaya yang mungkin dimiliki diatom ini pada ekosistem dikaitkan dengan peristiwa hipoksia di sistem pesisir. Selain itu, mereka diketahui menyebabkan perubahan warna air.



Gambar 4.10. *Skeletonema costatum*

https://planktonnet.awi.de/sci_images_detail.php?itemid=59775

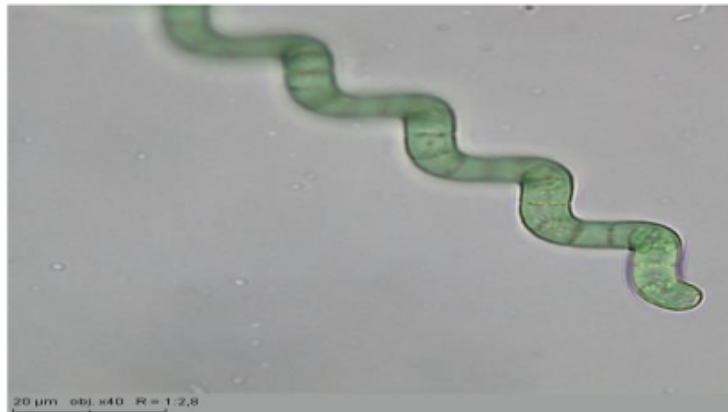
Klasifikasi:

- Filum : Ochrophyta
- Classis : Bacillariophyceae
- Ordo : Thalassiosirales
- Familia : Skeletonemataceae
- Genus : Skeletonema
- Spesies : *Skeletonema costatum*

K. Spirulina

Spirulina sebagai mikroalga yang masuk ke dalam alga biru (Cyanophyta) berbentuk silindris, trikome multiseluler dan helik yang memutar ke kiri. Genus ini sering ditemukan di danau tropis maupun subtropis dengan derajat pH tinggi, dan konsentrasi karbonat dan bikarbonat yang tinggi pula. Spirulina dijumpai di banyak negara di Asia, Afrika, Amerika Selatan dan Tengah. Spirulina biasanya dibudidayakan pada kolam pacuan/raceway yang terbuka dengan roda pedal untuk mengaduk airnya. Spirulina ini lebih suka hidup pada pH sekitar 8,5 bahkan lebih tinggi lagi dan temperatur sekitar 30 °C. Spirulina ditemukan berlimpah di Danau Texcoco oleh para peneliti Prancis pada 1960-an, tetapi tidak ada referensi untuk penggunaannya oleh suku Aztec sebagai sumber makanan sehari-hari yang dibuat setelah abad ke-16, mungkin karena pengeringan danau di sekitarnya untuk pertanian dan pembangunan perkotaan. Dihe yang dikonsumsi oleh suku Kanembu, yang memanennya dari Danau Chad di negara Afrika. Dangeard mempelajari sampel dihe kering pada musim semi. Dihe digunakan untuk membuat kaldu dari makanan, dan juga dijual di pasar. Spirulina dipanen dari danau kecil dan kolam di sekitar Danau Chad. Selama tahun 1964 dan 1965, ahli botani Jean Leonard menegaskan bahwa dihe terdiri dari spirulina, dan kemudian mempelajari tumbuhnya mikroalga di fasilitas produksi natrium hidroksida. Akibatnya, studi sistematis dan terperinci

pertama tentang persyaratan pertumbuhan dan fisiologi spirulina dilakukan sebagai dasar untuk menetapkan produksi skala besar.



17 Gambar 4.11. *Spirulina platensis*

<https://forums-naturalistes.forums-ac.fis.com/t1483-arthrospira-sp-anc-spirulina-sp-cyanobacterie>

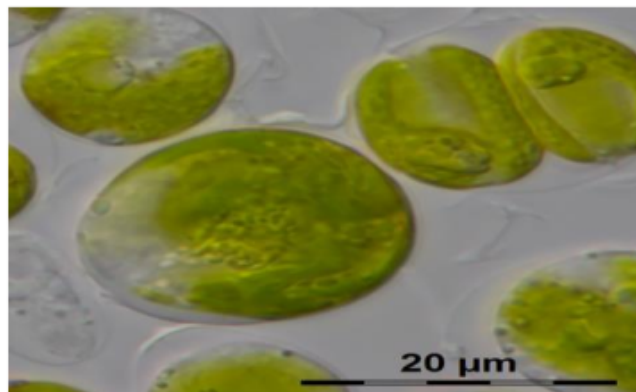
Klasifikasi:

Filum	: Cyanobacteria
Classis	: Cyanophyceae
Ordo	: Oscillatoriales
Familia	: Microcoleaceae
Genus	: <i>Spirulina</i>
Spesies	: <i>Spirulina platensis</i>

L. Tetraselmis

Tetraselmis termasuk salah satu genus dari kelompok mikroalga hijau. Genus mikroalga ini memiliki ciri berkloroplas sehingga terlihat berwarna sangat hijau. Sel dari mikroalga ini memiliki flagel dan pirenoid pada kloroplasnya. Spesies dari mikroalga ini banyak ditemukan baik di ekosistem air tawar maupun laut di seluruh dunia. Kedalaman perairan merupakan faktor lingkungan yang membatasi hidupnya karena akan

mengganggu proses fotosintesis sebagai proses fisiologi yang utama. Dengan demikian mikroalga spesies ini akan hidup pada kisaran yang luas pada lingkungan yang kaya nutrisi dan cukup cahaya matahari. Beberapa spesies *Tetraselmis* telah banyak dimanfaatkan pada skala penelitian dan skala industri. Kajian yang menggunakan mikroalga spesies *Tetraselmis* ini untuk memahami tingkat pertumbuhan mikroalga serta kejadian evolusi multiseluler. Akhir akhir ini spesies mikroalga ini digunakan untuk mengkaji produksi bahan bakar hayati karena kandungan lipidanya yang cukup tinggi.



Gambar 4.12. *Tetraselmis chuii*

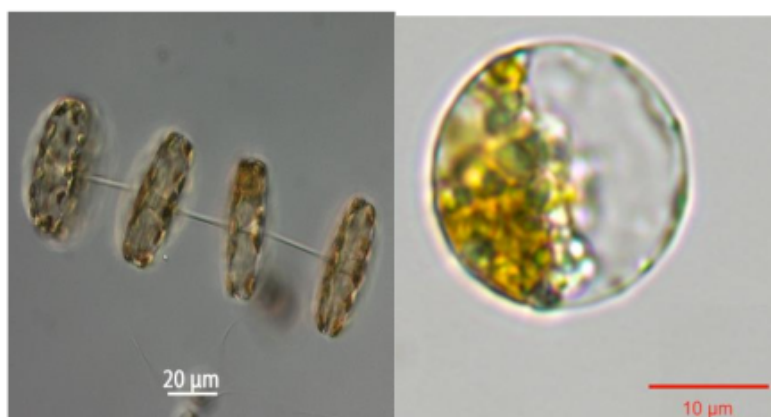
http://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str_number=8-6

Klasifikasi

- Filum : Chlorophyta
 Classis : Chlorodendrophyceae
 Ordo : Chlorodendrales
 Familia : Chlorodendraceae
 Genus : *Tetraselmis*
 Spesies : *Tetraselmis chuii*

M. Thalassiosira

Thalassiosira adalah spesies diatom sentris laut. Itu dipilih sebagai fitoplankton laut eukariotik pertama untuk sekuensing seluruh genom. Mikroalga ini dipilih untuk penelitian ini karena merupakan model untuk studi fisiologi diatom, termasuk dalam genus yang tersebar luas di seluruh lautan dunia, dan memiliki genom yang relatif kecil pada 34 pasangan mega basa. Para ilmuwan sedang meneliti penyerapan cahaya diatom, menggunakan diatom laut Thalassiosira. Diatom membutuhkan konsentrasi CO₂ yang cukup tinggi untuk memanfaatkan metabolisme C₄. Klon Thalassiosira yang diurutkan adalah CCMP 1335 dan tersedia dari National Center for Marine Algae and Microbiota di Bigelow Laboratory for Ocean Sciences. Klon ini awalnya dikumpulkan pada tahun 1958 dari Moriches Bay (Long Island, New York) dan telah dipelihara terus menerus dalam budidaya.



Gambar 4.13. *Thalassiosira pseudonana*

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thalassiosira_pseudonana#/media/File:Oogonium_-_3_\(34809275943\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Thalassiosira_pseudonana#/media/File:Oogonium_-_3_(34809275943).jpg)

Klasifikasi:

Superfilum : Heterokonta

Classis : Coscinodiscophyceae

Ordo : Thalassiosirales

Familia : Thalassiosiraceae

Genus : Thalassiosira

Spesies : *Thalassiosira pseudonana*

Daftar Pustaka

- Abbas, H. S. (2020). Role of Diverse Medicinal Algae in a Therapeutic World. In *Environmental Pollution, Biodiversity, and Sustainable Development* (pp. 257-285). Apple Academic Press.
- Abdul Rosad 2016. pengaruh penambahan pupuk npk dan ekstrak *eucheuma cottonii* terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *porphyridium cruentum*
- Ahmad Baidowi 2018 imobilisasi *spirulina platensis* pada alginat sebagai biosorben kandungan flourida dari air minum
- Ahmad Nailur Rahman 2014. Pengaruh tembaga terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *scenedesmus dimorphus*
- Ambrico, A., Trupo, M., Magarelli, R., Balducci, R., Ferraro, A., Hristoforou, E., ... & Molino, A. (2020). Effectiveness of *Dunaliella salina* extracts against *Bacillus subtilis* and bacterial plant pathogens. *Pathogens*, 9(8), 613.
- Anisya Maharani Riawan 2015 pengaruh pewarna tekstil *methylene blue* terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *scenedesmus dimorphus*
- Annisa Sundari Nur Hidayati 2015. Pengaruh air kelapa (*Cocos nucifera* L.) terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *scenedesmus dimorphus*

- Asyifaul Mukarromah 2015 pengaruh pupuk npk terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *botryococcus braunii*
- Auliadinny 2018. Efektivitas Ekstrak *Chlorella Vulgaris* Sebagai *Antiaging* Pada Lalat Buah *Drosophila Melanogaster* Yang Diinduksi Hidrogen Peroksida (H₂O₂)
- Bani Nugraha 2014 Pengaruh perlakuan hidrolisat ubi jalar (*ipomoea batatas* l.) terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *chlorella vulgaris* pada kultur mikсотrofik
- Caturindo Pryatno 2018 Imobilisasi *Dunaliella salina* pada Alginat sebagai Biosorben Kandungan Flourida (F) dalam Air Minum
- Damah Enggar Alvian 2016 uji antihiperqlikemik biomassa dan ekstrak mikroalga *porphyridium cruentum* terhadap penurunan kadar gula darah pada mencit (*mus musculus*) yang diinduksi aloksan
- Dania Asdainita 2014. pengaruh pemberian timbal (pb²⁺) terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *spirulina* sp.
- Diastika Sundari 2017. Pengaruh mikroalga *haematococcus pluvialis* terhadap pembentukan katarak pada lensa mata mencit (*mus musculus*) yang diinduksi naftalen
- Diki Cahyana 2016. pengaruh kadmium terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *porphyridium cruentum*
- Dita Eka Winanti 2015. Pengaruh hidrolisat kulit pisang kepok (*musa balbisiana*) terhadap pertumbuhan dan kadar lipida

mikroalga *nannochloropsis oculata* pada kultur mikсотrofik

Divyashree, M., Mani, M. K., Mamatha, B. S., & Kini, S. (2019). Algae and cyanobacteria as a source of novel bioactive compounds for biomedical applications.

Elya Agustina. 2014 Respon Pertumbuhan dan Kadar Lipida Mikroalga *Chlorella Vulgaris* pada Kultur Heterotrof Terhadap Perlakuan Hidrolisat Ubi Jalar (*Ipomoea Batatas* (L). Lam).

Eneng Nurlaelatul Maftuhah 2017 pengujian jenis ekstrak mikroalga *spirulina platensis* yang berpotensi sebagai antikanker menggunakan *artemia salina*

Fifin Nurcholis 2015. pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan dan kadar fikosianin *spirulina plantesis*

Fuzy Nurany 2015 pengaruh limbah cair tahu terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *tetraselmis chuii*

Guedes, A., Gião, M. S., Seabra, R., Ferreira, A. C., Tamagnini, P., Moradas-Ferreira, P., & Malcata, F. X. (2013). Evaluation of the antioxidant activity of cell extracts from microalgae. *Marine drugs*, 11(4), 1256-1270.

Hernawati 2017 potensi antikatarak mikroalga *spirulina platensis* terhadap lensa mata mencit (*mus musculus*) yang diinduksi naftalen

- Ika Fatikhah 2018 Potensi Antiaging Ekstrak *Nannochloropsis Oculata* Pada Lalat Buah *Drosophilla Melanogaster* Yang Diinduksi Asam Hipoklorit (HOCl) Ika Fatikhah
- Imas Fartillah 2015 pengaruh penambahan hidrolisat kulit singkong (*manihot esculenta crantz.*) terhadap pertumbuhan dan kadar lipida *tetraselmis chuii* pada kultur mikсотrofik
- Irfan Hidayatulloh 2015. pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan dan kadar karotenoid mikroalga *nannochloropsis oculata*
- Isma Noviana. 2017. kemampuan pencegahan katarak dari mikroalga *dunaliella salina* pada mencit (*mus musculus*) yang diinduksi naftalen
- Kini, S., Divyashree, M., Mani, M. K., & Mamatha, B. S. (2020). Algae and cyanobacteria as a source of novel bioactive compounds for biomedical applications. In *Advances in cyanobacterial biology* (pp. 173-194). Academic Press.
- López, Y., & Soto, S. M. (2020). The usefulness of microalgae compounds for preventing biofilm infections. *Antibiotics*, 9(1), 9.
- Lucky Aditya Pratama 2018 Imobilisasi *Nannochloropsis Oculata* Pada Abu Sekam Padi Sebagai Biosorben Kandungan Flourida Dari Air Minum
- Marinoa, T., Iovinea, A., Casellab, P., Martinoc, M., Chianesea, S., Laroccac, V., ... & Molinob, A. (2020). From Haematococcus

pluvialis microalgae a powerful antioxidant for cosmetic applications. *Chemical Engineering*, 79.

Martínez-Francés, E., & Escudero-Oñate, C. (2018). Cyanobacteria and microalgae in the production of valuable bioactive compounds. *Microalgal Biotechnol*, 6, 104-128.

Mastunah 2015. Pengaruh pupuk anorganik hydrocomplex partner terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *chaetoceros gracillis*

Mourelle, M. L., Gómez, C. P., & Legido, J. L. (2017). The potential use of marine microalgae and cyanobacteria in cosmetics and thalassotherapy. *Cosmetics*, 4(4), 46.

Rampelotto, P. H., & Trincone, A. (Eds.). (2018). *Grand Challenges in Marine Biotechnology*. Springer International Publishing.

Resty Maryam. 2015. Pengaruh ekstrak *azolla pinnata* terhadap pertumbuhan dan kandungan lipida mikroalga *nannochloropsis oculata*

Ria Andani 2018 Pengaruh Ekstrak *Spirulina Platensis* Terhadap Penyakit Parkinson Yang Diinduksi Feso₄ Pada Lalat Buah *Drosophila Melanogaster*

Rosy Raudlatul Jannah 2018 Efek Neuroprotektif Ekstrak *Haematococcus Pluvialis* Terhadap Penyakit Parkinson Yang Diinduksi Paraquat Pada *Drosophila Melanogaster*

Rumin, J., Nicolau, E., Gonçalves de Oliveira Junior, R., Fuentes-Grünwald, C., & Picot, L. (2020). Analysis of scientific

research driving microalgae market opportunities in Europe. *Marine drugs*, 18(5), 264.

Rumin, J., Gonçalves de Oliveira Junior, R., Bérard, J. B., & Picot, L. (2021). Improving Microalgae Research and Marketing in the European Atlantic Area: Analysis of Major Gaps and Barriers Limiting Sector Development. *Marine Drugs*, 19(6), 319.

Sansone, C., & Brunet, C. (2019). Promises and challenges of microalgal antioxidant production. *Antioxidants*, 8(7), 199.

Shanab, S. M., Mostafa, S. S., Shalaby, E. A., & Mahmoud, G. I. (2012). Aqueous extracts of microalgae exhibit antioxidant and anticancer activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(8), 608-615.

Siti Hardianti Rukmana 2014. pengaruh perlakuan besi terhadap pertumbuhan dan kadar lipida mikroalga *scenedesmus dimorphus*

Swapnil, S., Bruno, B., Udhaya, R., Krishna, K., Sandhya, S., & Waman, P. (2014). Bioactive compounds derived from microalgae showing antimicrobial activities. *Journal of Aquaculture research and Development*, 5(3).

Tabarzad, M., Atabaki, V., & Hosseinabadi, T. (2020). Anti-inflammatory activity of bioactive compounds from microalgae and cyanobacteria by focusing on the mechanisms of action. *Molecular biology reports*, 47(8), 6193-6205.

- Tiong, I. K. R., Nagappan, T., Wahid, M. E. A., Muhammad, T. S. T., Tatsuki, T., Satyantini, W. H., ... & Sung, Y. Y. (2020). Antioxidant capacity of five microalgae species and their effect on heat shock protein 70 expression in the brine shrimp *Artemia*. *Aquaculture Reports*, *18*, 100433.
- Utami Purwo Pangestu 2014. pengaruh *spirulina* sp. terhadap pertumbuhan eksplan krisan (*chrysanthemum indicum* l.) var. puspita nusantara secara *in vitro*
- Vina Herawati 2018. Imobilisasi *Chlorella Vulgaris* Pada Abu Sekam Padi Sebagai Biosorben Logam Berat Besi (Fe) Dari Air Minum
- Wini Mudiatur Rohmah 2018 Imobilisasi *Haematococcus Pluvialis* Pada Alginat Sebagai Biosorben Logam Berat Seng (Zn) Dari Air Minum
- Zam Zam Restu Nur Ilahi 2018 Potensi Ekstrak *Dunaliella Salina* Sebagai Neuroprotektif Penyakit Parkinson Yang Diinduksi Paraquat Pada Lalat Buah *Drosophila Melanogaster*



Mohamad Agus Salim lahir di Bandung pada tanggal 18 Agustus 1967. Penulis merupakan dosen senior di Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Mata kuliah yang diampu diantaranya Fisiologi Tumbuhan, Struktur Tumbuhan, Nutrisi Tumbuhan, Pupuk Hayati, Fikologi, Mikoriza, Briologi, Pterologi dan Mikroalga.

Kegiatannya selain sebagai dosen juga peneliti pada kajian yang didominasi menggunakan mikroalga, Studi tingkat sarjana diselesaikan tahun 1992 di Biologi ITB, tingkat magister diselesaikan tahun 1998 di Ilmu Kehutanan UGM dan tingkat doktoral diselesaikan di Biologi Unpad tahun 2004. Berbagai hibah telah diraih yang puncaknya yaitu hibah *short course* metodologi penelitian dari Kemenag RI sekitar 50 hari pada tahun 2017 di Leiden Belanda. Beberapa negara telah dikunjunginya dalam rangka peningkatan kemampuan sebagai dosen seperti kunjungan ke Malaysia, Singapura, Thailand, Pakistan, Jepang, Australia dan Belanda.

Mikroalga **dalam Riset Biologi**

Buku ini berisi kajian mikroalga yang telah dan pernah dilakukan di Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Minat yang besar dari mahasiswa yang mengambil tugas akhirnya dengan menggunakan mikroalga sebagai pusat kajiannya. Mikroalga terasa unik dan besar manfaatnya bila kreativitas bersamanya. Berbagai kajian mikroalga mulai dari pertumbuhan selnya, kandungan lipida dan pigmen, aplikasi pada beberapa penyakit degeneratif seperti katarak, diabetes, parkinson, kanker kulit, *aging*, stres, kesemuanya menggunakan hewan model lalat buah (*Drosophila melanogaster*) dan mencit (*Mus musculus*). Kajian yang lainnya juga pernah dilakukan seperti pengolahan air minum, remediasi air limbah pabrik tahu, pabrik tekstil dan fungsinya sebagai antimikroba, antioksidan, tabir surya, penghasil auksin dan bahan bakar hayati khususnya biodisel, suplemen tambahan pada medium kultur jaringan dan lain lainnya. Pengembangan aplikasi masih dianggap mahal bila tujuannya hanya satu misalnya hanya menghasilkan biodisel. Sehingga pengembangan terhadap berbagai produk dan manfaat penggunaannya merupakan strategi untuk menurunkan biaya yang mahal tersebut. Buku ini menjadi referensi bagi kajian atau penelitian yang menggunakan mikroalga baik mahasiswa Biologi maupun masyarakat akademisi di manapun berada.

Buku

ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

8%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	www.scribd.com Internet Source	1%
2	awetan.blogspot.com Internet Source	1%
3	www.mdpi.com Internet Source	1%
4	nuenergy.wordpress.com Internet Source	<1%
5	seenthis.net Internet Source	<1%
6	www.research.manchester.ac.uk Internet Source	<1%
7	downloads.leica-microsystems.com Internet Source	<1%
8	Submitted to St Michael's College Student Paper	<1%
9	slidelegend.com Internet Source	<1%
10	link.springer.com Internet Source	<1%
11	ocean-climate.org Internet Source	<1%
12	thifaonline.com Internet Source	<1%
13	Submitted to The Wheatley School Student Paper	<1%

14	kelapaindonesia2020.wordpress.com Internet Source	<1 %
15	repository.unika.ac.id Internet Source	<1 %
16	gl.wikipedia.org Internet Source	<1 %
17	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
18	scubadiver.co.id Internet Source	<1 %
19	www.globalseafood.org Internet Source	<1 %
20	www.openj-gate.com Internet Source	<1 %
21	www.unicef.org Internet Source	<1 %
22	www.hexapolis.com Internet Source	<1 %
23	id.scribd.com Internet Source	<1 %
24	moam.info Internet Source	<1 %
25	nemertes.library.upatras.gr Internet Source	<1 %
26	onlinelibrary.wiley.com Internet Source	<1 %
27	ouci.dntb.gov.ua Internet Source	<1 %
28	archive.org Internet Source	<1 %

www.chilebio.cl

29	Internet Source	<1 %
30	www.ioe.ucla.edu Internet Source	<1 %
31	www.nutritionaloutlook.com Internet Source	<1 %
32	www.otago.ac.nz Internet Source	<1 %
33	Afrizal Vachlepi, Didin Suwardin. "PENGGUNAAN BIOBRIKET SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DALAM PENGERINGAN KARET ALAM", Warta Perkaretan, 2013 Publication	<1 %
34	Iqlima Den Firza, Nurmainah Nurmainah. "Penggunaan Kontrasepsi Oral dan Risiko Obesitas Pada Wanita Usia Subur", Jurnal Farmasi Indonesia, 2021 Publication	<1 %
35	agrirxiv.org Internet Source	<1 %
36	doi.org Internet Source	<1 %
37	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
38	epublications.vu.lt Internet Source	<1 %
39	inspirasibersama.com Internet Source	<1 %
40	labangka-stat.blogspot.com Internet Source	<1 %
41	pt.scribd.com Internet Source	<1 %

42 saenabnhenabiologi.blogspot.com <1 %
Internet Source

43 suplemenmakanan.co.id <1 %
Internet Source

44 www.belajarbiologi.xyz <1 %
Internet Source

45 123dok.com <1 %
Internet Source

46 Warsidah, Dzul Fadly, Arman Amran. <1 %
"Socialization of the Utilization of Seaweed
and Diversification of Its Processes as
Functional Food in an Effort to Increase the
Immune System during the COVID-19
Pandemic", Mattawang: Jurnal Pengabdian
Masyarakat, 2021
Publication

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On