



# Bioconversion of Fruit Wastes into High Economic Value of Lipids using Heterotrophic Microalgae *Aurantiochytrium* from Mangrove Forests of Bunyu Island, North Kalimantan

Suhendra<sup>1\*</sup>, Andri Hutari<sup>2</sup>, Sekar Pratiwi<sup>1</sup>, Hutri Puspita Sari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program studi teknik kimia, Universitas Ahmad Dahlan. Kampus 4 UAD, Ringroad Selatan, Tamanan, Banguntapan, Bantul, DI Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Prof. Dr. Hamka (UHAMKA), Jalan Tanah Merdeka, Ciracas, Jakarta Timur

\*E-mail: Suhendra@che.uad.ac.id

## Abstract

*Aurantiochytrium* microalgae is recognized as heterotrophic microalgae enables to produce high economic value of lipids for the use in health care industries. This research presents the production of biomass containing lipids through the bioconversion of fruit waste using *Aurantiochytrium* microalgae. *Aurantiochytrium* microalgae isolate was obtained from isolated mangrove leaves in the mangrove forest of Bunyu Island, North Kalimantan. The production process takes place in three stages, namely standing culture (SC), pre-culture (PC), and main culture. The SC and PC stages took place 48 hours respectively, while the MC took place 120 hours. The source of nutrition at the main cultivation stage (MC) used monosodium glutamate (MSG) as a nitrogen source, while the carbon source was from fruit waste. Amount of 250 grams of fruit waste was mixed and blended, added with 250 ml of water and then sonicated. The mass ratio of nitrogen source and carbon source was 1:3. The maximum of observed microalgal cell diameters for each stage were 14.5  $\mu\text{m}$  (SC), 19.2  $\mu\text{m}$  (PC) and 25.5  $\mu\text{m}$  (MC). Produced biomass in this experiment has the characteristics of a yellow emulsion liquid, pH 6.2, fishy smell and total dissolved solids (TDS) of 4,820 ppm and a wet biomass of 68 g/l.

**Keywords:** *Aurantiochytrium*; lipids; microalgae; omega-3; bioprocess.

## Pendahuluan

Mikroalga spesies *Aurantiochytrium* telah lama dikenal sebagai penghasil omega-3 konsentrasi tinggi dan banyak tersedia pada ekosistem hutan bakau (Honda, D.; Yokochi, T.; Nakahara, T.; Erata, M.; Higashihara, 1998). Produksi biomassa yang mengandung omega-3 DHA, squalene dan astaxanthin menggunakan mikroalga *Aurantiochytrium* telah menunjukkan hasil yang menjanjikan untuk ditingkatkan secara komersial (Aasen et al., 2016). Karena kandungan ketiga komponen tersebut cukup tinggi, mikroalga *Aurantiochytrium* telah dikaji berpotensi sebagai sumber untuk pangan, kosmetik dan obat-obatan (Fossier Marchan dkk. 2018). Hasil riset tersebut telah mendorong Veramaris, sebuah konsorsium DSM dan Evonik, untuk membangun pabrik omega-3 DHA dari mikroalga *Aurantiochytrium* (dahulu dikenal dengan nama *Schizoschytrium*) senilai US\$ 200 juta (atau sekitar 2,8 triliun rupiah) dan membuktikan bahwa produksi omega-3 dari mikroalga memiliki kelayakan komersial (Evonik, 2019).

Awalnya, produk berbahan baku mikroalga *Aurantiochytrium* diproduksi skala industri untuk pakan ikan sebagai pengganti pakan kaya omega-3 konvensional dari ikan tangkapan. Selanjutnya, produk turunan dari hasil fermentasi menggunakan bahan baku mikroalga *Aurantiochytrium* telah dikaji aspek keamanannya untuk digunakan oleh makhluk hidup (Dillon et al., 2020). Kemudian, produk kosmetik dan nutrisi dengan bahan baku mikroalga *Aurantiochytrium* juga telah banyak beredar di supermarket Eropa (Byrne 2019). Produksi biomassa menggunakan mikroalga *Aurantiochytrium* kemudian mendapat momentum bears saat pandemi melanda karena dapat memenuhi kebutuhan adjuvant vaksin covid-19 (Evonik, 2021). Kajian tentang potensi mikroalga *Aurantiochytrium* strain lokal Raja Ampat untuk adjuvant vaksin telah dikaji sebelumnya (Suhendra, Septianingsih, Ariandi, et al., 2022; Suhendra et al., 2021).

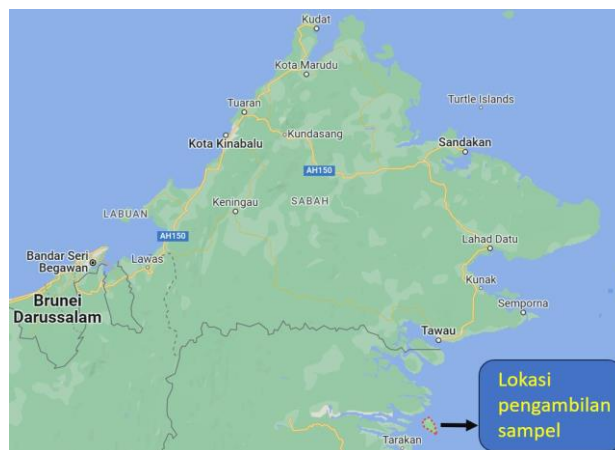
Meskipun mikroalga *Aurantiochytrium* dikenal berasal dari habitat hutan bakau dan Indonesia dikenal sebagai negara dengan hutan bakau terluas di dunia, sayangnya kajian tentang mikroalga spesies *Aurantiochytrium* strain lokal Indonesia masih jarang. Hal ini mendorong tim kami mempromosikan posisi strategis kajian mikroalga ini untuk pengembangan sains dan pengembangan industri bahan baku nutrisi, nutrasetikal dan farmasi (Suhendra et al., 2019, 2021; Suhendra, 2022; Suhendra, Septianingsih, Rizka Ariandi, et al., 2022).

Dari berbagai kajian yang ada, salah satu parameter bioproses penting untuk produksi biomassa mikroalga *Aurantiochytrium* adalah nutrisi yang berupa sumber karbon, sumber nitrogen dan pendukung lainnya seperti vitamin dan antibiotik. Agar mengurangi biaya produksi, perlu dipilih sumber nutrisi yang berbiaya murah. Beberapa penelitian sebelumnya menyoroti bahwa mikroalga memiliki potensi mengolah secara efektif sumber karbon organik, fosfor, dan nitrogen dari limbah organik makanan (Humaidah et al., 2020; Kumar et al., 2022; Laddha et al., 2021; Lee et al., 2020; Li et al., 2019; Lowrey et al., 2016; Patel et al., 2020; Spalvins et al., 2018; Yafetto, 2022; Zeng et al., 2015). Limbah organik yang telah berhasil dijadikan sumber nutrisi pertumbuhan mikroalga *Aurantiochytrium* antara lain limbah pengolahan kedelai (Lee et al., 2020), limbah buah kurma (Abdel-wahab et al., 2021), limbah industri pengolahan jus jeruk (Abdel-wahab et al., 2021) dan limbah campuran berbagai buah (Nazir, Halim, et al., 2020). Trend penggunaan limbah organik sebagai nutrisi adalah untuk mengurangi biaya operasi dibandingkan dengan penggunaan nutrisi sumber karbon umum yaitu gula dengan kualitas tinggi berharga mahal (Maria et al., 2016).

Setelah melalui proses biokonversi, produk dihasilkan memiliki bernilai tambah lebih tinggi (polisakarida, biofuel, pigmen, dan asam amino) (Ummalyima, et al. 2021). Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengolahan limbah organik, khususnya dari limbah buah, sebagai media nutrisi untuk pertumbuhan biomassa mikroalga *Aurantiochytrium*. Selanjutnya, teknologi yang dihasilkan dapat meningkatkan circular economy dimana dapat mengolah limbah yang bersumber dari rantai produksi lain menjadi produk bernilai ekonomi lebih tinggi (Khajuria et al., 2022; Lehmann et al., 2022).

## Metode Penelitian

Untuk mendapatkan bibit mikroalga, langkah pertama adalah mengambil sampel daun bakau yang berwarna kuning kecoklatan yang sudah jatuh di perairan hutan bakau. Pengambilan sampel daun bakau pada penelitian ini diperoleh dari hutan bakau Pulau Bunyu, Kalimantan Utara. Ilustrasi lokasi pengambilan sampel ditampilkan pada gambar 1 di bawah. Bibit mikroalga *Aurantiochytrium* diperoleh dari isolasi sampel daun bakau yang diperoleh menggunakan metode *direct plating*. Deskripsi metode *direct plating* dipaparkan pada paper sebelumnya (Hutari et al., 2022; Suhendra et al., 2023). Video pembelajaran bagaimana pengambilan sampel daun bakau dan pengolahannya ditampilkan pada beberapa video pembelajaran tim riset teknik kimia UAD (Suhendra, 2020; Suhendra, Chuzaimah, Hutari, et al., 2022; Suhendra & Andri Hutari, 2023).



**Gambar 1.** Peta lokasi pengambilan sampel di Pulau Bunyu, Kalimantan Utara.

Selanjutnya, isolat murni yang diperoleh digunakan untuk proses produksi biomassa. Proses produksi berlangsung dalam tiga tahap, masing-masing masing-masing tahap standing culture (SC), pre-culture (PC), dan main culture. Tahap SC dan PC berlangsung selama 48 jam, sementara MC berlangsung selama 120 jam. Pada tahap standing culture dan pre-culture media pertumbuhan yang sudah disiapkan dimasukkan isolat murni *Aurantiochytrium*. Proses tersebut dilakukan di *Laminar Air Flow* yang sebelumnya sudah di UV selama 20 menit dengan tujuan untuk menjaga kesterilan dan meminimalisir akan terjadinya kontaminasi pada isolat maupun media. Selanjutnya media yang telah di masukkan isolat di shaking selama 2 hari pada kecepatan 200 rpm pada media standing culture dan pre culture. Pada tahap akhir adalah produksi biomassa pada main culture dengan proses shaking selama 5 hari pada kecepatan 210 rpm.

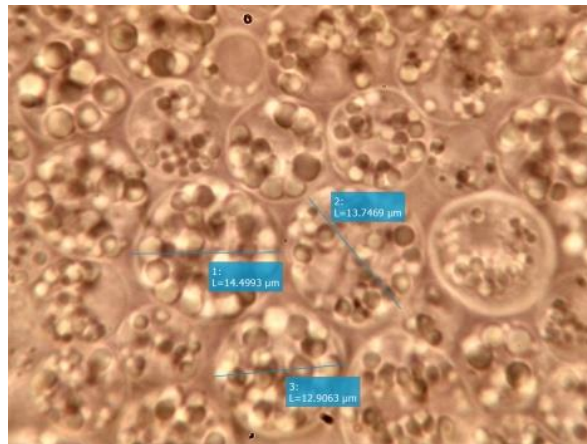
Sumber nutrisi pada tahap kultivasi utama (MC) menggunakan monosodium glutamat sebagai sumber nitrogen, sementara sumber karbon berasal dari campuran limbah buah dari jenis melon dan jeruk. Limbah buah sebanyak 250 gram dihaluskan dengan blender, ditambah 250 ml air lalu disonikasi untuk membuat lebih homogen. Rasio sumber nitrogen dan sumber karbon 1:3.

Produk yang telah dipanen kemudian diukur *total dissolved oxygen* (TDS), pH dan diuji baunya. Biomassa basah diperoleh dengan sentrifugasi pada 4500x g selama 15 menit.

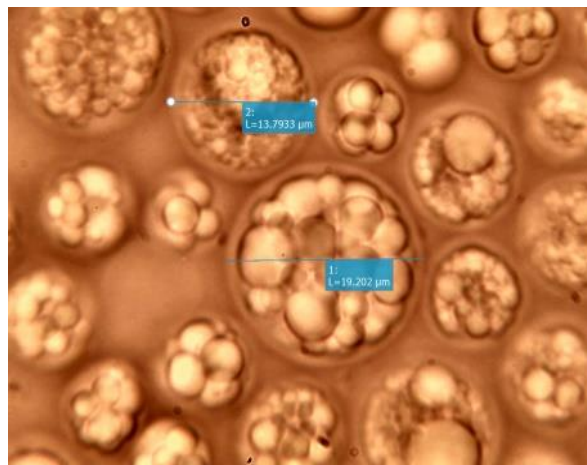
### Hasil dan Pembahasan

Mikrograf tiap tahap diamati untuk memastikan adanya pertumbuhan mikrobiologis. Gambar 2 menunjukkan mikrograf sel pada tiap tahap kultivasi. Dari pengamatan didapatkan bahwa sel mikroalga *Aurantiocytrium* dapat tumbuh dengan baik pada tiap tahap kultivasi yang dilakukan tanpa adanya kontaminasi. Diameter sel mikroalga maksimal tiap tahap yang berhasil diamati masing-masing 14,5  $\mu\text{m}$  (SC), 19,2  $\mu\text{m}$  (PC) dan 25,5  $\mu\text{m}$  (MC).

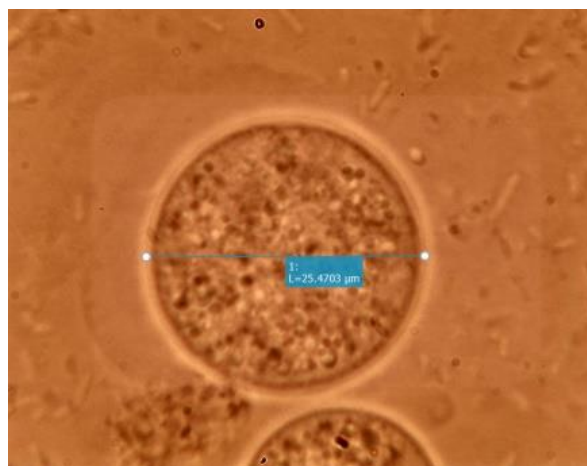
#### A. Cells from from standing culture



#### B. Cells from pre-culture



#### C. Cells from main culture



**Gambar 2.** Mikrograf sel tiap tahap proses kultivasi, masing-masing tahap standing culture (A), pre-culture (B) dan main culture (C).

Gambar 3 menunjukkan produk biomassa yang dihasilkan pada proses kultivasi. Produksi biomassa dengan parameter sumber nutrisi dan kondisi operasi pada eksperimen ini menghasilkan biomassa yang memiliki karakteristik cairan emulsi kuning, pH 6,2, berbau amis ikan dan padatan terlarut total (*total dissolved solid/ TDS*) 4.820 ppm. Produktivitas mikroalga *Aurantiochytrium* pada eksperimen ini menghasilkan biomassa basah 68 gram/ liter.



**Gambar 3.** Gambaran biomassa yang dihasilkan dari hasil kultivasi.

Penelitian ini telah berhasil melakukan isolasi mikroalga *Aurantiochytrium* dari hutan bakau Indonesia dan dilanjutkan dengan kultivasi untuk menghasilkan produk biomassa dari hasil biokonversi limbah buah. Mikrograf yang diobservasi berbentuk bulat-bulat dengan sel mengandung massa di dalam sel. Bentuk seperti gambar 2 adalah ciri khas mikroalga *Aurantiochytrium* seperti yang juga ditampilkan pada penelitian sebelumnya (Furlan et al., 2017; Hutari, A., Hidayati, W., Mustopa, A.Z. and Neubauer, 2017, 2018, 2020; Saengwong et al., 2018).

Mikroalga *Aurantiochytrium* tumbuh secara heterotropik dengan nutrisi yang harus mengandung sumber karbon dan nitrogen (Júnior et al., 2017; Optimisation of Media Composition for the Fermentation of Lipids by *Aurantiochytrium* *Limacinum* SR21, 2014). Pada penelitian ini, sel mikroalga *Aurantiochytrium* yang digunakan tumbuh pada tiap tahap kultivasi ditunjukkan dengan bentuk sel yang utuh sebagai penanda adanya pertumbuhan sel yang baik. Produk yang dihasilkan memiliki aroma amis seperti ikan yang menandakan kekhasan produk biomassa mikroalga *Aurantiochytrium*. Mikrograf yang diamati juga menunjukkan sel mikroalga *Aurantiochytrium* berkembang baik dengan nutrisi limbah buah. Dengan diameter sel hingga lebih dari 20  $\mu\text{m}$  telah menunjukkan bahwa mikroalga *Aurantiochytrium* tumbuh dan berkembang dengan baik.

Selanjutnya, karakter produk juga menunjukkan hasil yang baik, dengan warna kuning cerah dan total padatan terlarut cukup tinggi. Tingginya biomassa basah yang dihasilkan dengan kultivasi pada Erlenmeyer pada penelitian ini sangat menjanjikan, meskipun perlu dikaji kemungkinan biomassa basah yang dihasilkan masih mengandung padatan biomassa non-lipid dari massa limbah buah yang tidak terkonversi. Secara umum, dibanding penelitian lain yang juga menggunakan limbah buah sebagai nutrisinya seperti pada (Nazir, Halim, et al., 2020; Nazir, Kaid, et al., 2020), maka kinerja biokonversi mikroalga *Aurantiochytrium* strain lokal Indonesia pada penelitian ini telah terbukti berfungsi dengan baik. Oleh karena itu, ke depan strategi kultivasi biomassa mikroalga *Aurantiochytrium* dapat mempertimbangkan pemilihan nutrisi yang ekonomis dari limbah buah yang banyak diperoleh di banyak tempat di Indonesia.

## Kesimpulan

Dengan karakter produk kultivasi yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa teknik isolasi dan kultivasi yang diterapkan telah berhasil menghasilkan isolat murni mikroalga *Aurantiochytrium* asli Indonesia dan dapat menghasilkan biomassa mikroalga *Aurantiochytrium* yang diinginkan. Mengacu kajian sebelumnya, biomassa seperti yang dihasilkan pada penelitian ini berpotensi mengandung komponen yang bernilai ekonomi tinggi seperti omega-3 docosahexanoic acid (DHA), squalene dan astaxanthin (Russo et al., 2022; Suen et al., 2014; Wai et al., 2010; Yen et al., 2023)





## Ucapan Terima Kasih

Sebagian dana penelitian ini diperoleh dari dana hibah RisetMu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada Majelis Pendidikan Tinggi Pimpinan Pusat Muhammadiyah atas bantuan dana yang diperoleh untuk menjalankan riset ini.

## Daftar Pustaka

- Aasen, I. M., Ertesvåg, H., Heggeset, T. M. B., Liu, B., Brautaset, T., Vadstein, O., & Ellingsen, T. E. (2016). Thraustochytrids as production organisms for docosahexaenoic acid (DHA), squalene, and carotenoids. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *100*(10), 4309–4321. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7498-4>
- Abdel-wahab, M. A., El-samawaty, A. E. M. A., Elgorban, A. M., & Bahkali, A. H. (2021). Biological Sciences Fatty acid production of thraustochytrids from Saudi Arabian mangroves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(1), 855–864. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.024>
- Dillon, G. P., Keegan, J. D., & Moran, C. A. (2020). Toxicological evaluation of an unextracted Aurantiochytrium limacinum biomass, a novel docosahexaenoic acid rich feed ingredient. *Food and Chemical Toxicology*, *141*(July), 1–40. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111397>
- Evonik. (2021). *Evonik stärkt strategische Partnerschaft mit BioNTech bei Covid-19 Impfstoff*. <https://corporate.evonik.de/de/presse/pressemittelungen/corporate/evonik-starkt-strategische-partnerschaft-mit-biontech-bei-covid-19-impfstoff-152725.html>
- Furlan, V. J. M., Maus, V., Batista, I., & Bandarra, N. M. (2017). Production of docosahexaenoic acid by Aurantiochytrium sp. ATCC PRA-276. *Brazilian Journal of Microbiology*, *48*(2), 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.01.001>
- Honda, D.; Yokochi, T.; Nakahara, T.; Erata, M.; Higashihara, T. (1998). Schizochytrium limacinum sp. nov., a new thraustochytrid from a mangrove area in the west Pacific Ocean. *Mycol. Res.* *1998*, *102*, 439–448., *102*, 439–448.
- Humaidah, N., Nakai, S., Nishijima, W., Gotoh, T., & Furuta, M. (2020). Application of Aurantiochytrium sp. L3W for food-processing wastewater treatment in combination with polyunsaturated fatty acids production for fish aquaculture. *Science of the Total Environment*, *743*(November), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140735>
- Hutari, A., An Nisaa, R., Suhendra, S., Agustin, Y., & Ayunda, K. A. (2022). Exploration Of High Economic Value Microalgae In The Mangrove Area Of Pari Island, Seribu Islands, Jakarta. *JURNAL PEMBELAJARAN DAN BIOLOGI NUKLEUS*, *8*(3), 662–672. <https://doi.org/10.36987/jpbn.v8i3.3096>
- Hutari, A., Hidayati, W., Mustopa, A.Z. and Neubauer, P. (2017). *Aurantiochytrium sp. isolate LA22 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence* (Vol. 390, Issue 10111). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/KY970084>
- Hutari, A., Hidayati, W., Mustopa, A.Z. and Neubauer, P. (2018). Aurantiochytrium sp. isolate LR52 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence. In *National Center for Biological Information*. <https://doi.org/10.5749/j.ctv65sz27.3>
- Hutari, A., Hidayati, W., Mustopa, A.Z. and Neubauer, P. (2020). *Aurantiochytrium sp. isolate LA21 small subunit ribosomal RNA gene, partial sequence* (Vol. 390, Issue 10111).
- Júnior, V., Furlan, M., Maus, V., Batista, I., & Maria, N. (2017). Production of docosahexaenoic acid by Aurantiochytrium sp. ATCC PRA-276. *Brazilian Journal of Microbiology*, *48*(2), 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.01.001>
- Khajuria, A., Atienza, V. A., Chavanich, S., Henning, W., Islam, I., Kral, U., Liu, M., Liu, X., Murthy, I. K., Oyedotun, T. D. T., Verma, P., Xu, G., Zeng, X., & Li, J. (2022). Accelerating circular economy solutions to achieve the 2030 agenda for sustainable development goals. *Circular Economy*, *1*(1), 100001. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2022.100001>
- Kumar, Y., Kaur, S., Kheto, A., Munshi, M., Sarkar, A., Pandey, H. O., Tarafdar, A., & Sirohi, R. (2022). Cultivation of microalgae on food waste : Recent advances and way forward. *Bioresource Technology*, *August*, 8–10.
- Laddha, H., Pawar, P. R., & Prakash, G. (2021). Bioconversion of waste acid oil to docosahexaenoic acid by integration of “ex novo” and “de novo” fermentation in Aurantiochytrium limacinum. *Bioresource Technology*, *332*(July), 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125062>
- Lee, G. I., Shin, W. S., MoonGeun Jung, S., Kim, W., Lee, C., & Kwon, J. H. (2020). Effects of soybean curd wastewater on growth and DHA production in Aurantiochytrium sp. *Lwt*, *134*(December), 2020–2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110245>
- Lehmann, C., Cruz-Jesus, F., Oliveira, T., & Damásio, B. (2022). Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers. *Journal of Cleaner Production*, *360*(August), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132146>

- Li, S., Zhao, S., Yan, S., Qiu, Y., Song, C., Li, Y., & Kitamura, Y. (2019). Food processing wastewater purification by microalgae cultivation associated with high value-added compounds production — A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(12), 2845–2856. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.03.028>
- Lowrey, J., Brooks, M. S., & Armenta, R. E. (2016). Nutrient recycling of lipid-extracted waste in the production of an oleaginous thraustochytrid. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 4711–4721. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7463-2>
- Maria, A., Finco, D. O., Maria, A., Finco, D. O., Daniel, L., Mamani, G., De, J. C., Vinícius, G., Pereira, D. M., Thomaz-soccol, V., Soccol, R., Maria, A., Finco, D. O., Daniel, L., Mamani, G., & De, J. C. (2016). Technological trends and market perspectives for production of microbial oils rich in omega-3. *Critical Reviews in Biotechnology*, 0(0), 000. <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1213221>
- Nazir, Y., Halim, H., Al-Shorgani, N. K. N., Manikan, V., Hamid, A. A., & Song, Y. (2020). Efficient conversion of extracts from low-cost, rejected fruits for high-valued Docosahexaenoic acid production by *Aurantiochytrium* sp. SW1. *Algal Research*, 50(September), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101977>
- Nazir, Y., Kaid, N., Al-shorgani, N., Manikan, V., Abdul, A., & Song, Y. (2020). Efficient conversion of extracts from low-cost, rejected fruits for high-valued Docosahexaenoic acid production by *Aurantiochytrium* sp. SW1. *Algal Research*, 50(February). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101977>
- Optimisation of Media Composition for the Fermentation of Lipids by Aurantiochytrium limacinum SR21* (Issue October). (2014).
- Patel, A., Rova, U., Christakopoulos, P., & Matsakas, L. (2020). Mining of squalene as a value-added byproduct from DHA producing marine thraustochytrid cultivated on food waste hydrolysate. *Science of the Total Environment*, 736, 139691. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139691>
- Russo, G. L., Langellotti, A. L., Sacchi, R., & Masi, P. (2022). Techno-economic assessment of DHA-rich *Aurantiochytrium* sp. production using food industry by-products and waste streams as alternative growth media. *Bioresource Technology Reports*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100997>
- Saengwong, A., Yongmanitchai, W., & Chonudomkul, D. (2018). *Screening and Optimization of Squalene Production from Microalgae Aurantiochytrium sp.* 45(2), 680–691.
- Spalvins, K., Zihare, L., & Blumberga, D. (2018). Single cell protein production from waste biomass: Comparison of various industrial by-products. *Energy Procedia*, 147, 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.111>
- Suen, Y. L., Tang, H., Huang, J., & Chen, F. (2014). *Enhanced Production of Fatty Acids and Astaxanthin in Aurantiochytrium sp. by the Expression of Vitreoscilla Hemoglobin.*
- Suhendra. (2020). *Isolation of Marine Microalgae.* <https://www.youtube.com/watch?v=91cvOZ1A4I8>
- Suhendra, & Andri Hutari. (2023, April 21). *Biodiscovery Mikroalga Bunaken.* <https://www.youtube.com/watch?v=TKJsvTtWneA>.
- Suhendra, Chuzaimah, Hutari, A., & Saputro, A. G. E. (2022). *Isolasi Mikroalga Aurantiochytrium dari Hutan Bakau.* <https://www.youtube.com/watch?v=0PRdXOxHNI8>
- Suhendra, E., S., H., Z., & A, H. (2019). Kajian Singkat Rancang Bangun Pabrik Docohexanoic Acid dari Mikroalga Species *Aurantiochytrium* dari Hutan Bakau Indonesia. *Konversi*, 8(1), 33–44.
- Suhendra, S. (2022). Bioprocess of Astaxanthin Production as Functional Food from *Aurantiochytrium* Microalgae: A Review. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 8(2), 123. <https://doi.org/10.26555/chemica.v8i2.21954>
- Suhendra, S., Pantooyo, T., Fazlia, S., Sulistiawati, E., & Evitasari, R. T. (2021). Bioprocess Potentials of Squalene from Thraustochytrids Microalgae for Nutraceuticals in New Normal Era Isolated from Indonesian Mangroves: A Review. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 8(1), 18. <https://doi.org/10.26555/chemica.v8i1.19121>
- Suhendra, S., Septianingsih, L., Rizka Ariandi, T., Husna, M., Adi Laksana, Z., Yuniasih, D., & Hutari, A. (2022). Isolasi mikroalga *Aurantiochytrium* dari Raja Ampat dan potensinya pada industri bahan baku adjuvant vaksin. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(2), 34. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.72045>
- Suhendra, S., Sulistiawati, E., Evitasari, R. T., Ariandi, T. R., Septianingsih, L., & Hutari, A. (2023). Bioprocess potentials of *Aurantiochytrium* microalgae from Kulonprogo mangrove forest Yogyakarta, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2667. <https://doi.org/10.1063/5.0112298>
- Suhendra, Septianingsih, L., Ariandi, T. R., Husna, M., Laksana, Z. A., Yuniasih, D., & Hutari, A. (2022). Isolasi mikroalga *Aurantiochytrium* dari Raja Ampat dan potensinya pada industri bahan baku adjuvant vaksin. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.72045>
- Wai, K., Tsunehiro, F., & Feng, A. (2010). *Enhanced production of squalene in the thraustochytrid Aurantiochytrium mangrovei by medium optimization and treatment with terbinafine.* 1303–1309. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0301-2>
- Yafetto, L. (2022). Application of solid-state fermentation by microbial biotechnology for bioprocessing of agro-industrial wastes from 1970 to 2020: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, 8(3), e09173. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09173>



- Yen, S. W., Nagarajan, D., Chen, W. H., Lee, D. J., & Chang, J. S. (2023). Fermentative production of astaxanthin from sorghum distillery residue by an indigenous *Aurantiochytrium* sp. CJ6 strain using a continuous-feeding fed-batch process. *Bioresource Technology*, 376. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128817>
- Zeng, X., Guo, X., Su, G., Danquah, M. K., Zhang, S., Lu, Y., Sun, Y., & Lin, L. (2015). Bioprocess considerations for microalgal-based wastewater treatment and biomass production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1385–1392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.033>