INTERAKSI MIKROALGA-BAKTERI DAN PERANANNYA DALAM PRODUKSI SENYAWA DALAM KULTUR MIKROALGA

Oleh
Diah Radini Noerdjito¹⁾

ABSTRACT

MICROALGAE-BACTERIA INTERACTIONS AND THEIR ROLES ON METABOLITES PRODUCTION OF MICROALGAE CULTURE. During this time, bacteria existence in microalgae culture is considered as a negative thing. Recently, the interaction between bacteria and microalgae can also be a mutually beneficial relationship or not detrimental to the other party. The mutually beneficial relationship between bacteria and microalgae can be applied as basic knowledge to increase microalgae culture production, which can be used further as a control mechanism for bacterial-microalgae interactions and can help increase the biomass production and certain metabolites microalgae culture. Another application is such as in environmental technology for bioremediation and bloom control.

Keywords: Microalgae, Bacteria, Interactions, Potency.

PENDAHULUAN

Fitoplankton, termasuk di dalamnya mikroalga, merupakan produsen utama di perairan laut (Chapman, 2013). Mikroalga adalah organisme uniseluler, mempunyai struktur sangat sederhana, berukuran mikroskopik, sebagian hidup di perairan tawar dan sebagian di perairan laut. Pertumbuhan mikroalga di perairan merupakan efek kompleks dari berbagai faktor lingkungan antara lain cahaya dan kandungan berbagai jenis nutrisi. Di perairan laut, diatom (*Bacillariophyceae*) merupakan fitoplankton yang dominan, sedangkan alga hijau (*Chlorophyceae*) merupakan fitoplankton yang dominan (Cadoret *et al.*, 2012). Selain fitoplankton, bakterioplankton juga mendominasi komunitas plankton di laut dan perairan tawar (Sarmento & Gasol, 2012).

Komunitas fitoplankton dan bakterioplankton tersebut mempengaruhi siklus karbon di perairan, sehingga berpengaruh juga terhadap iklim (Ramanan *et al.*, 2016).

Pada lingkungan darat, telah diketahui bahwa bakteri berperan dalam proses dekomposisi hewan dan tumbuhan menjadi senyawa organik, serta dapat meningkatkan pertumbuhan tumbuhan (*plant growth*) melalui mekanisme ‘komunikasi kimiawi’ melalui produksi senyawa metabolit yang kompleks dan pertukaran nutrisi (Phillipot *et al.*, 2013). Pada lingkungan akuatik, proses yang serupa juga terjadi. Pada ekosistem akuatik, fitoplankton melepaskan *dissolved organic matter* (DOM) dan *dissolved organic carbon* (DOC) selama pertumbuhannya. Setelah mati, sel fitoplankton didegradasi oleh bakteri di dalam kolom air kemudian tenggelam ke dasar. Dalam proses

¹⁾ Pusat Penelitian Oseanografi LIPI

degradasi tersebut, bakteri meremine-
ralisasi nutrisi terutama fosfor dan
nitrogen, yang dapat digunakan kembali
oleh mikroalga sebagai sumber nutrisi.

Interaksi yang terjadi antara bakteri-
fitoplankton menarik untuk dibahas lebih
lanjut. Kajian tersebut tidak hanya penting
dalam studi mengenai *microbial loop*

(Gambar 1) dalam ekosistem perairan,
namun juga dapat mendasari
pengembangan kultur mikroalga.
Pengetahuan dan mekanisme kontrol
terhadap interaksi bakteri-mikroalga dapat
membantu meningkatkan produksi
metabolit tertentu dalam proses produksi
mikroalga (Fuentes *et al.*, 2016).

Gambar 1. Gambaran sederhana microbial loop di laut yang melibatkan bakteri dan
fitoplankton (sumber: <https://www.plankton-bloom.com/>)

INTERAKSI MIKROALGA DAN BAKTERI

Secara alami, terdapat interaksi antara mikroalga dan bakteri di lingkungan (Munoz & Guieysse, 2006). Semula, kehadiran bakteri dalam kultur mikroalga dianggap sebagai kontaminan (Yao *et al.*, 2018) atau interaksi parasitisme. Namun, penelitian terbaru menunjukkan interaksi yang beragam antara mikroalga dan bakteri, yang dapat dibedakan menjadi hubungan mutualisme, komensalisme, dan parasitisme (Cordero *et al.*, 2016).

Mutualisme

Simbiosis mutualisme adalah interaksi biologis antara dua spesies atau lebih yang saling menguntungkan satu sama lain (Seyedsayamdost *et al.*, 2011; Cooper *et al.*, 2015; Ramanan *et al.*, 2016). Simbiosis mutualisme yang umum antara bakteri dan mikroalga adalah penyediaan vitamin B12 oleh bakteri, dan produksi *fixed carbon* oleh mikroalga (Croft *et al.*, 2005). Penelitian lebih lanjut oleh Cho *et al.* (2015) menunjukkan bahwa bakteri *Azospirillum*, *Mesorhizobium*, dan *Rhizobium* menghasilkan senyawa yang meningkatkan pertumbuhan (*growth promotor*) bagi mikroalga, dan mikroalga menghasilkan senyawa *growth promotor* bagi bakteri; selain juga sebagai penghasil nitrogen (*nitrogen supplier*) bagi lingkungan. Pada mikroalga yang ditumbuhkan dengan penambahan satu atau beberapa jenis (konsorsium) bakteri, mikroalga menghasilkan karbon organik yang dapat digunakan oleh bakteri. Sebaliknya, adanya konsorsium bakteri meningkatkan pertumbuhan mikroalga. Sehingga, muncul hipotesis bahwa konsorsium bakteri mungkin menyediakan senyawa organik dan/atau anorganik yang

dapat digunakan mikroalga dalam metabolismenya, sehingga pertumbuhan mikroalga meningkat. Fuentes *et al.* (2016) menyatakan bakteri memproduksi faktor peningkat pertumbuhan (*growth promoting factor*), yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroalga dan meningkatkan produksi karbohidrat, lipida, dan pigmen.

Komensalisme

Komensalisme adalah hubungan biologis antara dua spesies atau lebih, yang mana hanya satu pihak yang diuntungkan, sedangkan pihak yang lain tidak diuntungkan dan tidak juga dirugikan. Contoh interaksi komensalisme mikroalga-bakteri adalah bakteri yang menyuplai vitamin B12 pada *Chlamydomonas reinhardtii*, namun bakteri tidak mempergunakan karbon yang dihasilkan mikroalga tersebut (Kazamia *et al.*, 2011).

Parasitisme

Parasitisme adalah interaksi antara dua spesies atau lebih yang mana satu pihak diuntungkan dan pihak yang lain dirugikan. Umumnya ukuran parasit lebih kecil, dan membutuhkan inang untuk hidup. Banyak jenis bakteri diketahui memberikan efek negatif terhadap pertumbuhan mikroalga, sehingga digunakan sebagai *control blooming* cyanobakteria dan mikroalga (Kim *et al.*, 2008).

Pada kasus parasitisme oleh bakteri, sel alga menjadi lisis oleh aktivitas enzim glukosidase, kitinase, selulase, dan enzim lainnya. Setelah sel alga lisis, bakteri mempergunakan senyawa intraseluler alga sebagai nutrisi (Kim *et al.*, 2008). Tipe lain parasitisme oleh bakteri adalah adanya kompetisi penggunaan nutrisi antara bakteri dan mikroalga yang menyebabkan adanya hambatan dalam pertumbuhan mikroalga (Ramanan *et al.*, 2016).

Bakteri yang bersifat parasit umumnya hidup di dekat dinding sel mikroalga, yang memudahkan untuk mendegradasi dinding sel. Kehadiran bakteri parasit dalam kultur mikroalga dapat dimanfaatkan dalam bioteknologi industri, misalnya untuk menghasilkan enzim selulase. Enzim selulase dimanfaatkan antara lain dalam industri minuman fermentasi seperti bir dan anggur.

PERANAN INTERAKSI MIKROALGA-BAKTERI TERHADAP METABOLISME MIKROALGA

Kultur skala besar mikroalga membutuhkan usaha yang besar untuk mempertahankan kondisi kultur agar tetap bebas dari organisme selain yang dikultur (*axenic*) dan monokultur. Namun, akhir-akhir ini disadari bahwa kehadiran jenis-jenis bakteri tertentu dalam kultur mikroalga dapat meningkatkan produksi biomassa.

Secara umum, interaksi yang positif antara mikroalga dan bakteri dilakukan melalui senyawa kimia (Gambar 2). Interaksi tersebut meliputi pertukaran makronutrien seperti nitrogen, oksigen, dan karbon; serta mikronutrien seperti vitamin (Tabel 1). Oksigen yang dihasilkan mikroalga melalui proses fotosintesis dipergunakan oleh bakteri, sehingga menciptakan lingkungan yang sesuai bagi mikroalga untuk menghasilkan energi.

Bakteri menghasilkan vitamin B₁₂ dipergunakan untuk pertumbuhannya; karbon yang dihasilkan oleh mikroalga kemudian digunakan oleh bakteri untuk tumbuh. Bakteri juga menghasilkan senyawa antibiotik yang melindungi mikroalga dari bakteri yang bersifat parasit. Senyawa lain yang dihasilkan bakteri adalah AHL (*acyl-homoserine lactone*) yang membantu pembuatan biofilm antara bakteri dan sel mikroalga; yang dapat diaplikasikan lebih lanjut dalam pemanenan kultur mikroalga dan pengolahan limbah.

Komunitas bakteri yang berasosiasi dengan kultur mikroalga ternyata juga dapat membantu pengikatan nutrisi anorganik yang tidak terserap melalui mekanisme biologis (*un-bioavailable*) bagi mikroalga (Fuentes *et al.*, 2016). Contohnya adalah bakteri yang secara filogenetik dekat dengan α -proteobacteria *Roseobacter* dan bakteri yang secara filogenetik dekat dengan γ -proteobacteria *Marinobacter*. Bakteri tersebut memproduksi siderophore dan vibrioferrin, yang membantu mengikat Fe (III) sehingga dapat digunakan oleh mikroalga, antara lain *Scrippsiella trochoidea*. Mikroalga kemudian menggunakan Fe tersebut dalam proses fotosintesis yang mengubah karbon anorganik menjadi senyawa organik terlarut dan DOM; yang kemudian dapat digunakan oleh bakteri untuk memproduksi siderophore.

Gambar 2. Interaksi mikroalga dan bakteri (Fuentes *et al.*, 2016)

Nutrien lain yang berperan dalam interaksi mikroalga dan bakteri adalah nitrogen. Interaksi ini umumnya adalah interaksi komensalisme yang mana bakteri pengikat nitrogen (*nitrogen-fixing bacteria*) dalam kondisi anaerobik akan menyuplai karbon anorganik yang dibutuhkan mikroalga untuk pertumbuhan (Tabel 1). Contoh lain adalah mikroalga *Neochloris oleoabundans* yang menggunakan siderophore sebagai sumber nitrogen (Villa *et al.*, 2014).

POTENSI APLIKASI

Interaksi antara mikroalga-bakteri dapat dimanfaatkan lebih lanjut antara lain dalam *environmental technology* (meliputi bioremediasi dan pengolahan limbah; kontrol terhadap alga bloom/HAB) dan dalam bidang bioteknologi yang meliputi biorefinery dan sistem akuakultur berkelanjutan (Gambar 3).

Bioremediasi dan pengolahan limbah

Mikroalga membutuhkan logam sebagai mikronutrien untuk pertumbuhan dan metabolismenya. Namun, kandungan logam yang tinggi dalam perairan juga dapat menghambat pertumbuhan mikroalga. Adanya bakteri yang bersimbiosis dengan mikroalga akan mengikat logam, sehingga mengurangi kandungan logam di perairan. Akumulasi logam berat oleh komunitas mikroalga-bakteri antara lain meliputi absorpsi fisik, ikatan kovalen, pertukaran ion, absorpsi kimia, presipitasi permukaan, dan reaksi redoks di permukaan sel.

Beberapa penggunaan konsorsium mikroalga-bakteri untuk bioremediasi yaitu untuk bioremediasi logam (Boivin *et al.*, 2007), degradasi insektisida organofosfat (Subashchandrabose *et al.*, 2011), degradasi pestisida toksik seperti DDT dan atrazine (Subashchandrabose *et al.*, 2013), polutan organik (Mahdavi *et al.*, 2015).

Tabel 1. Beberapa interaksi mikroalga-bakteri yang meningkatkan pertumbuhan kultur mikroalga dan akumulasi senyawa penting (Fuentes *et al.*, 2016).

Mikroalga	Bakteri	Senyawa yang dihasilkan mikroalga	Senyawa yang dihasilkan bakteri	Pustaka
Peningkatan pertumbuhan mikroalga				
<i>E. huxleyi</i>	<i>P. gallaeciensis</i>	Dimethyl-sulphonio-propio-nate	Antibiotik	Seyedsayamdost <i>et al.</i> (2011)
<i>B. braunii</i>	<i>Rhizobium</i> sp.		AHL	Rivas <i>et al.</i> (2010)
<i>L. rostrate</i>	<i>M. loti</i>		Vitamin B ₁₂	Kazamia <i>et al.</i> , (2012)
<i>T. pseudonana</i> CCMP1335	<i>R. pomeroyi</i> DSS-3	2,3-dihydroxy-pro-pane-1-sulfonate	Vitamin B ₁₂	Durham <i>et al.</i> (2015)
<i>S. trochoidea</i>	<i>Marinobacter</i>	Molekul organik	Vibrioferin	Amin <i>et al.</i> (2009)
<i>S. trochoidea</i>	<i>Marinobacter</i>	Molekul organik	Vibrioferin	Amin <i>et al.</i> (2009)
<i>N. oleoabundans</i>	<i>Marinobacter</i>		Siderophore	Santos <i>et al.</i> (2014)
<i>Scenedesmus</i> sp.	<i>Marinobacter</i>		Siderophore	Santos <i>et al.</i> (2014)
Akumulasi lipida dan asam lemak				
<i>C. vulgaris</i>	<i>A. brasilense</i>		Siderophore yang memediasi fiksasi nitrogen	Leyva <i>et al.</i> (2014)
Akumulasi karbohidrat dan pati				
<i>C. vulgaris</i>	<i>A. brasilense</i>		Siderophore yang memediasi fiksasi nitrogen	Choix <i>et al.</i> (2012)
<i>C. sorokiniana</i>	<i>A. brasilense</i>		Siderophore yang memediasi fiksasi nitrogen	Choix <i>et al.</i> (2012)

Gambar 3. Potensi pengembangan interaksi mikroalga-bakteri (Ramanan *et al.*, 2016)

Kontrol terhadap *alga bloom*

Penelitian antara lain oleh Gonzalez *et al.* (2000) menunjukkan adanya kontrol dari bakteri terhadap pertumbuhan pesat tak terkendali (*alga bloom*) yang disebabkan oleh *Emiliania huxleyi*. Namun, penelitian yang lebih lanjut dan mendalam diperlukan untuk penanganan terhadap *harmful algal bloom* (HAB).

Biorefinery kultur mikroalga

Bakteri mempunyai peran penting sebagai penyedia fitohormon ataupun makro dan mikronutrien yang dibutuhkan mikroalga untuk pertumbuhannya. Penelitian Cho *et al.*, (2015) menemukan bahwa kultivasi bersama antara mikroalga dan bakteri yang dapat memicu pertumbuhan (*growth enhancing bacteria*) akan meningkatkan laju pertumbuhan mikroalga antara 10-70%. Namun, monitoring alga dan bakteri diperlukan untuk mempertahankan konsorsium mikroalga-bakteri, dan menghindari hadirnya bakteri yang tidak diinginkan,

Sistem akuakultur berkelanjutan

Penggunaan mikroalga sebagai pakan alami sudah dilakukan lama. Adanya bakteri simbiosis pada mikroalga ternyata dapat menjaga kesehatan sistem akuakultur. Beberapa jenis mikroalga digunakan untuk mengontrol bakteri patogen dalam sistem akuakultur seperti *Vibrio harveyi* melalui perusakan komunikasi quorum sensing antar bakteri patogen. Konsorsium mikroalga-bakteri dalam bentuk flok setelah pengolahan limbah dapat digunakan sebagai pakan udang putih *Litopenaeus vannamei* melalui sistem akuakultur berkelanjutan (Natrah *et al.*, 2013).

PENUTUP

Adanya bakteri di dalam kultur mikroalga tidak selalu merupakan hal yang merugikan. Adanya bakteri simbiosis mutualistik ternyata dapat memberikan hasil positif yang mampu meningkatkan produktivitas kultur mikroalga. Selain itu, ternyata interaksi mikroalga-bakteri dalam

bentuk konsorsium dapat pula berperan dalam bidang teknologi lingkungan dan bioteknologi. Namun, diperlukan monitoring dan kontrol agar tidak terdapat bakteri merugikan atau patogen di dalam konsorsium tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S.A., Green, D.H., Hart, M.C., Kupper F.C., Sunda, W.G., & Carrano, C.J. (2009). Photolysis of iron-siderophore chelates promotes bacterial-algal mutualism. *PNAS*, 106 (40), 17071-17076. <http://doi.org/10.1073/pnas.0905512106>.
- Boivin, M.E.Y, Greve, G.D., García-Meza, J.V., Massieux, B., Sprenger, W., & Kraak, M.H.S. (2007). Algal-bacterial interactions in metal contaminated floodplain sediments. *Environ. Pollut.*, 145, 884-894.
- Cadoret, J.P., Bruno, S.J., & Garnier, M. (2012). Chapter eight. Microalgae, functional genomics, and biotechnology. *Advances in Botanical Research*, 64, 285-341. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391499-6.00008-6>
- Chapman, R.L. (2013). Algae: the world's most important 'plants' – an introduction. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1), 5-12. <https://doi.org/10.1007/S.11027-010-9255-9>
- Cho, D.H., Ramanan, R., Heo, J., Lee, J., Kim, B.H., & Oh, H.M. (2015). Enhancing microalgal biomass productivity by engineering a microalgal-bacterial community. *Bioresour. Technol.*, 175, 578-585.
- Cho D.H., Ramanan R., Heo J., Kang Z., Kim B.H., Ahn C.Y., Oh H.M., & Kim H.S. (2015). Organic carbon, influent microbial diversity and temperature strongly influence algal diversity and biomass in raceway ponds treating raw municipal wastewater. *Bioresour. Technol.*, 191, 481-487. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.013>.
- Cooper M.B., & Smith A.G. (2015). Exploring mutualistic interactions between microalgae and bacteria in the omics age. *Curr. Opin. Plant Biol*, 26, 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.07.003>
- Choix, F.J., de-Bashan, L.E., & Bashan, Y. (2012). Enhanced accumulation of starch and total carbohydrates in alginate-immobilized *Chlorella* spp. induced by *Azospirillum brasiliense*: II. Heterotrophic conditions. *Enzyme Microb Technol.*, 51(5), 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2012.07.012>.
- Croft M.T., Lawrence A.D., Raux-Deery E., Warren J.M., & Smith A.G. (2005). Algae acquire vitamin B₁₂ through a symbiotic relationship with bacteria. *Nature*, 438, 90-93. <https://doi.org/10.1038/nature04056>.
- Durham, B.P., Sharma, S., Luo, H., Smith, C.B., Amin, S.A., Bender, S.J., Dearth, S.P., Van Mooy, B.A., Campagna, S.R., & Kujawinski, E.B. (2015). Cryptic carbon and sulfur cycling between surface ocean plankton. *Proc Natl Acad Sci USA*, 112: 453-457.
- Fuentes, J.L., Garbato, I., Cuaresma, M. Montero, Z., del-Valle, M.G., & Vilchez, C. (2016). Impact of microalgae-bacteria interactions on

- the production of algal biomass and associated compounds. *Marine Drugs*, 14(5), 100. <http://doi.org/10.3390/md14050100>
- González, J.M., Simó, R., Massana, R., Covert, J.S., E.O.Casamayor, & Pedrós-Alió, C. (2000). Bacterial community structure associated with a dimethylsulfoniopropionate-producing north atlantic algal bloom. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 4237–4246.
- Kazamia, E., Czesnick, H., Nguyen, T.T., Croft, M.T., Sherwood, E., Saso, S., Hodson, S.J., Warren, M.J. & Smith, A.G. (2012). Mutualistic interactions between vitamin B₁₂ – dependent algae and heterotrophic bacteria exhibit regulation. *Environmental Microbiology*, 14(6), 1466–1476. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02733.x>.
- Kim M.J., Jeong S.Y., & Lee S.J. (2008). Isolation, identification, and algicidal activity of marine bacteria against *Cochlodinium polykrikoides*. *J. Appl. Phycol.*, 20, 1069–1078. <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9312-x>.
- Lvya, L.A., Bashan, Y., Mendoza, A., & de-Basham, L.E. (2014). Accumulation of fatty acids in *Chlorella vulgaris* under heterotrophic conditions in relation to activity of acetyl-CoA carboxylase, temperature, and co-immobilization with *Azospirillum brasilense*. *Naturwissenschaften*, 101(12), 1115. <https://doi.org/10.1007/s00114-014-1223-x>
- Mahdavi, H., Prasad, V., Liu, Y., & Ulrich, A.C. (2015). In situ biodegradation of naphthenic acids in oil sands tailings pond water using indigenous algae–bacteria consortium. *Bioresour. Technol.*, 187, 97–105.
- Natrah, F.M.I., Bossier, P., Sorgeloos, P., Yusoff, F.M., & Defoirdt, T. (2013). Significance of microalgal–bacterial interactions for aquaculture. *Rev. Aquac.*, 6(1). <https://doi.org/10.1111/raq.12024>
- Ramanan R., Kim B.H., Cho D.H., Oh H.M., & Kim H.S. (2016). Algae–bacteria interactions: Evolution, ecology and emerging applications. *Biotechnol. Adv.*, 34, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.003>.
- Rivas, M.O., Vargas, P., & Riquelme, C.E. (2010). Interactions of *Botryococcus braunii* cultures with bacterial biofilms. *Microbial ecology*, 60(3), 628–635. <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9686-6>.
- Sarmiento, H., & Gasol, J.M. (2012). Use of phytoplankton-derived dissolved organic carbon by different types of bacterioplankton. *Environ. Microbiol.*, 14, 2348–2360.
- Seyedsayamdost M.R., Case R.J., Kolter R., & Clardy J. (2011). The Jekyll-and-Hyde chemistry of *Phaeobacter gallaeciensis*. *Nat. Chem.*, 3, 331–335. <https://doi.org/10.1038/nchem.1002>.
- Santos, S., Neto, I.F., Mochado, M.D., Soares, H.M., & Soares, E.V. (2014) Siderophores production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural conditions. *Appl. Biochem Biotechnol.*, 172(1), 549–560.

- <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0562-y>
- Subashchandraboise, S.R., Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2011). Consortia of cyanobacteria /microalgae and bacteria: biotechnological potential. *Biotechnol. Adv.*, 29, 896–907.
- Subashchandraboise, S.R., Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & Naidu, R. (2013). Mixotrophic cyanobacteria and microalgae as distinctive biological agents for organic pollutant degradation. *Environ. Int.*, 51, 59–72.
- Villa, J.A., Ray, E.E., & Barney, B.M. (2014). *Azotobacter vinelandii* siderophore can provide nitrogen to support the culture of the green algae *Neochloris oleoabundans* and *Scenedesmus* sp. BA032. *FEMS Microbiol. Lett.*, 351, 70–77.