

Pengaruh Medan Magnet dan Ion Logam (Cu, Pb, Al dan Fe) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Effects of Magnetic Fields and Metal Ions (Cu, Pb, Al and Fe) on Growth of Anoxygenic Photosynthetic Bacteria (APB)

Sumardi, Salman Farisi Rochmah Agustrina, Yunita

Universitas Lampung, Indonesia
Email : Sumardi_bio@yahoo.co.id

Abstrak, Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA) memiliki sifat yang menguntungkan diantaranya sebagai kandidat probiotik, *biofertilizer*, agen bioremediasi dan mampu menurunkan konsentrasi H₂S di perairan. Namun demikian BFA pun memiliki kelemahan yaitu pertumbuhannya lambat. Interaksi ion logam dan paparan medan magnet diketahui dapat meningkatkan aktivitas enzim dan meningkatkan laju pertumbuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ion logam dan paparan medan magnet terhadap pertumbuhan BFA. Isolat BFA AM hasil isolasi dari akar mangrove diuji pengaruhnya terhadap ion logam dalam media *sea water complete* (SWC). Ion logam yang diujikan adalah Cu, Pb, Al dan Fe dengan konsentrasi yang berbeda. Ion logam dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke media. Hasil penghitungan sel menunjukkan bahwa ion logam baik yang dipapar medan magnet dan tanpa dipapar medan magnet tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan isolat BFA AM, namun ion logam dalam media SWC mempengaruhi pola spektra isolat BFA AM.

Abstract, Anoxygenic Photosynthetic Bacteria (APB) has beneficial properties including as probiotic candidates, biofertilizers, bioremediation agents, and can reduce H₂S concentrations in waters. However, the APB also has a weakness, slow growth. It is known that the interaction of metal ions and the exposure of magnetic fields increases enzyme activity and growth rates. The aim of this study is to determine the effect of metal ions and the exposure to magnetic fields on APB growth. The APB isolate, AM which is isolated from mangrove roots and tested for its effects on metal ions in seawater complete (SWC) media. The metal ions tested were Cu, Pb, Al and Fe with different concentrations. The metal ion is exposed to a 0.2 mT magnetic field for 10 minutes before being added to the media. The cell count results showed that both metal ions exposed and unexposed to magnetic field did not affect the growth of APB AM isolates. However, the metal ion in SWC media affects the spectra pattern of AM APB isolates.

Kata kunci: anoxygenic photosynthetic bacteria, metal ions, magnetic fields.

PENDAHULUAN

Wilayah perairan merupakan wilayah yang paling sering tercemar oleh logam berat. Logam berat yang paling banyak mencemari wilayah perairan adalah timbal (Pb), merkuri (Hg), tembaga (Cu), kadmium (Cd), khromium (Cr), nikel (Ni), seng (Zn), besi (Fe) dan mangan (Mn) (Samsundari dan Perwira, 2011; dan Yudo, 2006). Wilayah perairan yang tercemar logam berat akan membahayakan bagi kehidupan organisme di lingkungan tersebut.

Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh organisme. Apabila konsentrasi logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme tinggi akan menyebabkan keracunan, kerusakan jaringan hingga kematian (Triadayani *et al.*, 2010 dan Soegianto *et al.*, 2004).

BFA merupakan bakteri yang dapat ditemukan di wilayah perairan tercemar logam berat (Panwichian *et al.*, 2010). BFA dapat berfotosintesis dengan menggunakan H₂S sebagai sumber donor elektron dan CO₂ sebagai

sumber karbonnya (Gemerden dan Mas, 1995). BFA bersifat menguntungkan diantaranya sebagai kandidat probiotik (Chumpol *et al.*, 2017), *biofertilizer* (Eldin dan Elbanna, 2011), agen bioremediasi (Bai *et al.*, 2008), dan menurunkan konsentrasi H₂S di perairan (Widiyanto *et al.*, 1998).

Seperti dijelaskan di atas, BFA memiliki banyak sifat menguntungkan namun juga memiliki kelemahan yaitu BFA termasuk ke dalam bakteri pertumbuhan lambat, sehingga perlu dilakukan optimasi pertumbuhan BFA untuk memperoleh isolat BFA dengan jumlah yang banyak dalam waktu singkat. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa optimasi pertumbuhan BFA dapat dilakukan dengan penambahan ion logam ke dalam medium pertumbuhan dan paparan medan magnet. Ion logam diketahui dapat berperan sebagai aktivator beberapa enzim sehingga meningkatkan aktivitas enzim, sedangkan paparan medan magnet diketahui dapat meningkatkan kecepatan pertumbuhan yang ditunjukkan dengan laju pertumbuhannya yang lebih tinggi (Sumardi *et al.*, 2018; Agustrina *et al.*, 2012).

Sumardi *et al.* (2018) melaporkan bahwa pemberian ion logam dan paparan medan magnet pada media pertumbuhan bakteri diketahui dapat meningkatkan aktivitas enzim. Medan magnet diketahui dapat meningkatkan laju pergerakan ion pada membran sel sehingga mempengaruhi aktivitas metabolisme bakteri. Sudarti *et al.* (2014) juga melaporkan pemaparan medan magnet berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme sel bakteri.

Berdasarkan sifat kemagnetannya logam dapat dikelompokkan ke dalam logam yang bersifat diamagnetik, paramagnetik dan feromagnetik. Menurut Sumardi *et al.* (2018), pemaparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit pada ion logam Fe yang bersifat feromagnetik dapat menginduksi enzim protease sehingga memberikan efek pada metabolisme dan pertumbuhan bakteri.

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa, penelitian tentang pemaparan medan magnet pada ion logam untuk meningkatkan pertumbuhan BFA belum pernah dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan pemaparan medan magnet pada ion logam Cu dan Pb yang bersifat diamagnetik, Al yang bersifat paramagnetik dan Fe yang bersifat feromagnetik untuk mengetahui pengaruh medan magnet dan ion logam (Cu, Pb,

Al, dan Fe) terhadap pertumbuhan dan pola spektra BFA.

METODE

Mikroorganisme dan Medium

Isolat BFA AM diperoleh dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lampung. Medium yang digunakan adalah media *Sea Water Complete* (SWC).

Peremajaan Isolat Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Isolat BFA AM diremajakan terlebih dahulu dengan menggosokkan isolat pada media SWC agar miring steril. Kemudian isolat BFA AM diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang dalam *anaerobic jar* yang diberi pencahayaan lampu tungsten 40 watt dari jarak 30-40 cm.

Uji Pengaruh Ion Logam Terhadap Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Uji pengaruh ion logam dilakukan dengan menumbuhkan isolat BFA AM pada media SWC agar yang mengandung ion logam dengan konsentrasi yang berbeda (CuCl₂ 0,015 mM, 0,03 mM dan 0,06 mM, PbCl₂ 0,015 mM, 0,03 mM dan 0,06 mM, AlCl₃ 1,5 mM, 3 mM dan 6 mM, serta FeCl₃ 10 mM, 20 mM dan 40 mM) (Giotto *et al.*, 2006). Biakan diinkubasikan dalam media SWC tersebut selama 4 hari pada suhu ruang dalam *anaerobic jar* yang diberi pencahayaan lampu tungsten 40 watt dari jarak 30-40 cm.

Pembuatan Starter Kultur Bakteri fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Isolat BFA AM diinokulasikan sebanyak 1 ose ke dalam media SWC. Biakan isolat BFA AM kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang dalam *anaerobic jar* yang diberi pencahayaan lampu tungsten 40 watt dari jarak 30-40 cm.

Pertumbuhan Isolat BFA pada Media SWC Cair yang Mengandung Ion Logam dan Paparan Medan Magnet

Starter yang telah diinkubasi selama 7 hari, ditumbuhkan pada media SWC yang mengandung logam dan paparan medan magnet. Beberapa perlakuan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

Perlakuan 1 (Kontrol), perlakuan dengan menggunakan media SWC

tanpa diberi tambahan ion logam dan dipapar medan magnet.

Perlakuan 2 (Cu M0), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam CuCl_2 0,06 mM.

Perlakuan 3 (Cu M1), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam CuCl_2 0,06 mM. Logam dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke dalam media.

Perlakuan 4 (Pb M0), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam PbCl_2 0,06 mM.

Perlakuan 5 (Pb M1), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam PbCl_2 0,06 mM. Logam dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke dalam media.

Perlakuan 6 (Al M0), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam AlCl_3 6 mM.

Perlakuan 7 (Al M1), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam AlCl_3 6 mM. Logam dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke dalam media.

Perlakuan 8 (Fe M0), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam FeCl_3 40 mM.

Perlakuan 9 (Fe M1), perlakuan dengan menggunakan media SWC yang diberi ion logam FeCl_3 40 mM. Logam dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit sebelum ditambahkan ke dalam media.

Pertumbuhan isolat BFA AM dilihat setelah kultur diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang dalam *anaerobic jar* yang diberi pencahayaan lampu tungsten 40 watt dari jarak 30-40 cm.

Pola Spektra dan Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Kultur bakteri yang telah diinkubasi diamati pola spektranya menggunakan

spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1800 pada panjang gelombang 300-900 nm. Pelarut yang digunakan adalah larutan campuran aseton alkohol dengan perbandingan aseton dan alkohol 1:1 (Desiyana, 2000).

Pertumbuhan BFA diamati berdasarkan penambahan jumlah sel BFA. Penghitungan jumlah sel BFA dilakukan secara langsung menggunakan mikroskop. Kultur BFA AM diambil sebanyak 0,1 ml kemudian ditambahkan ke dalam 0,9 ml akuades steril dan dihomogenkan menggunakan vortek sehingga didapatkan pengenceran 10^{-1} . Dari pengenceran 10^{-1} diambil 0,01 ml suspensi bakteri, kemudian diletakkan di atas gelas objek yang telah ditandai dengan luas 1cm x 1cm. BFA AM kemudian di cat gram. Jumlah sel BFA yang dihitung merupakan sel BFA yang terlihat secara langsung pada luas lapang pandang mikroskop. Mikroskop yang digunakan sudah di pasang mikrometer objektif untuk menentukan luas lapang pandang mikroskop. Luas lapang pandang mikroskop ditentukan dengan rumus :
Luas areal pandang mikroskop = $\pi r^2 \text{ mm}^2$
= $\pi r^2 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$

Rumus penentuan penghitungan jumlah sel bakteri secara langsung adalah sebagai berikut
Konsentrasi sel :

$$\frac{\bar{x}}{\text{luas lapang pandang mikroskop (mm}^2\text{)} \times t \text{ (mm)}}$$

Keterangan :

r = jari-jari areal pandang mikroskop dalam cm

x = rata-rata jumlah bakteri

t = tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Berdasarkan uji pengaruh ion logam terhadap pertumbuhan BFA diketahui bahwa isolat BFA AM mampu hidup di media yang diberi logam. Logam yang digunakan adalah CuCl_2 , PbCl_2 , AlCl_3 dan FeCl_3 dengan konsentrasi berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat BFA AM mampu hidup di media yang mengandung konsentrasi logam tertinggi yaitu CuCl_2 0,06 mM, PbCl_2 0,06 mM, AlCl_3 6 mM dan FeCl_3 40 mM dengan ukuran koloni relatif sama dengan kontrol (Tabel 1).

Menurut Yang *et al.* (2016) ion logam Pb dengan konsentrasi ≤ 5 mg/L tidak mempengaruhi pertumbuhan bakteri

Rhodobacter sphaeroides HY01 namun pada konsentrasi ≥ 5 mg/L menghambat pertumbuhan bakteri *Rhodobacter sphaeroides* HY01. Hal tersebut karena terganggunya aktivitas enzim bakteri *Rhodobacter sphaeroides* HY01. Ion logam Cu merupakan ion logam yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri karena berperan sebagai aktivator beberapa enzim. Namun, pada konsentrasi 10 mg/L ion logam Cu menghambat pertumbuhan bakteri *Rhodobacter sphaeroides* HY01.

Tabel 1. Pengaruh Ion Logam terhadap Pertumbuhan BFA

No	Konsentrasi Logam	Ukuran Koloni BFA AM
1	Kontrol	++
2	CuCl ₂ 0,015 mM	++
3	CuCl ₂ 0,03 mM	++
4	CuCl ₂ 0,06 mM	++
5	PbCl ₂ 0,015 mM	++
6	PbCl ₂ 0,03 mM	++
7	PbCl ₂ 0,06 mM	++
8	AlCl ₃ 1,5 mM	++
9	AlCl ₃ 3 mM	++
10	AlCl ₃ 6 mM	++
11	FeCl ₃ 10 mM	++
12	FeCl ₃ 20 mM	++
13	FeCl ₃ 40 mM	++

Keterangan :

+ = Ukuran koloni kecil ($\pm 0,6$ cm)

++ = Ukuran koloni besar ($\pm 0,9$ cm)

Hasil uji pertumbuhan isolat BFA AM di media SWC cair menunjukkan bahwa isolat BFA AM di media yang mengandung ion logam baik yang dipapar maupun tidak dipapar medan magnet 0,2 mT selama 10 menit memiliki nilai log yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan nilai log isolat BFA AM kontrol (Gambar 1).

Ion logam Cu dan Fe merupakan unsur mikronutrien. Unsur mikronutrien umumnya berfungsi sebagai kofaktor enzim dan hanya dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Selain logam Cu dan Fe, unsur mikronutrien lainnya adalah klorida, mangan, seng, molibdenum, boron dan nikel. Logam Fe diketahui merupakan komponen logam sitokrom yang membantu dalam rantai transpor elektron dalam kloroplas dan logam Cu diketahui komponen logam plastosianin yang membantu transpor elektron dalam fotosistem I serta membantu sintesis lignin pada tanaman (Broadley *et al.*, 2012).

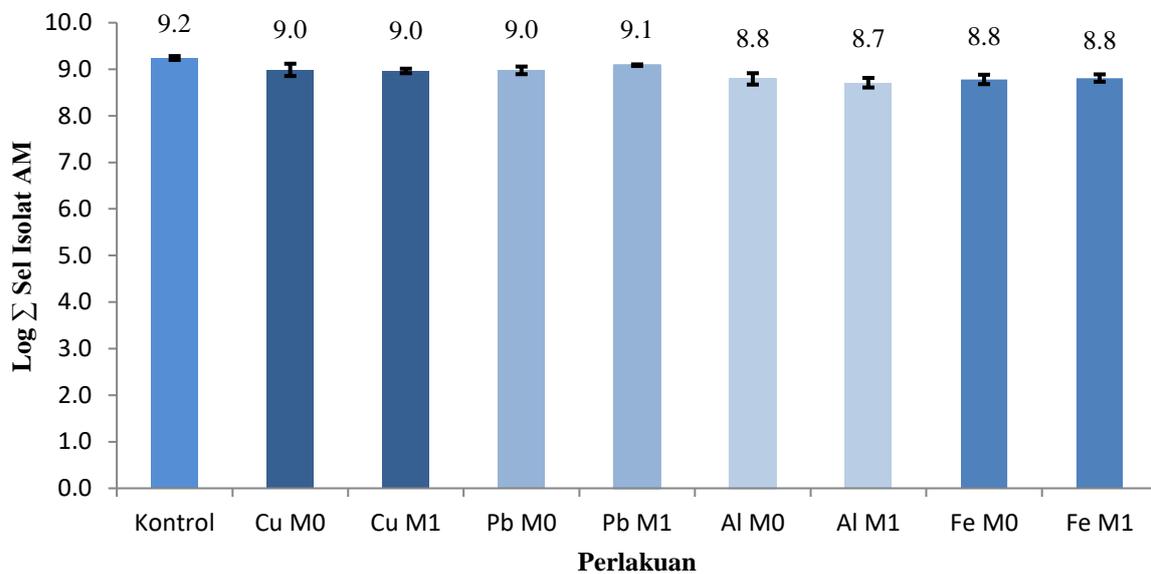
Sedangkan ion logam Al dan Pb merupakan logam yang tidak dibutuhkan dalam pertumbuhan bakteri.

Dari Gambar 1 dapat diketahui pertumbuhan isolat BFA AM pada media SWC mengandung ion logam Al dan Fe baik yang dipapar medan magnet maupun yang tidak dipapar medan magnet memiliki nilai log yang lebih rendah dibandingkan isolat BFA AM pada media SWC yang mengandung ion logam Cu dan Pb baik yang dipapar medan magnet maupun yang tidak dipapar medan magnet. Hasil ini diduga terkait dengan konsentrasi ion logam Al dan Fe yang digunakan lebih tinggi dibandingkan ion logam Cu dan Pb. Menurut Yang *et al.* (2016), keberadaan logam di lingkungan yang tinggi akan menghambat pertumbuhan bakteri *Rhodobacter sphaeroides* HY01 dan menurunkan aktivitas enzim.

Menurut Bai *et al.* (2008), logam yang terserap oleh sel BFA, paling banyak ditemukan di dinding sel bakteri yaitu sekitar 90,5 %. Tingginya kandungan logam pada dinding sel BFA menimbulkan dugaan bahwa BFA mampu mengabsorpsi atau mengikat ion logam pada dinding sel bakteri. Apabila konsentrasi ion logam pada dinding sel sangat tinggi akan menyebabkan sebagian logam berat dapat melewati dinding sel dan berada di dalam membran sel, sehingga membahayakan sel bakteri. Karotenoid diketahui berperan sebagai pencegah dan pelindung sel bakteri dari bahaya infiltrasi ion logam ke dalam sel karena karotenoid dapat mereduksi ion logam. Selain karotenoid, enzim NADP yang dikeluarkan atau terdapat di plasma juga diketahui dapat mereduksi ion logam (Feng *et al.*, 2007).

Pada penelitian ini digunakan ion logam dengan sifat kemagnetan yang berbeda. Ion logam Cu dan Pb bersifat diamagnetik, Al bersifat paramagnetik dan Fe bersifat feromagnetik. Hasil uji pertumbuhan isolat BFA AM menunjukkan bahwa pertumbuhan isolat BFA AM pada media yang mengandung ion logam dan diberi paparan medan magnet memiliki pertumbuhan relatif sama dengan pertumbuhan isolat BFA AM pada media yang mengandung ion logam tanpa paparan medan magnet. Dengan demikian diduga bahwa paparan medan magnet pada ion logam tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan isolat BFA AM.

Gambar 1. Rata-rata Kerapatan Sel BFA AM pada media SWC



Keterangan: Cu, Pb, Al, dan Fe = ion logam yang digunakan

M 0 = tanpa perlakuan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit

M 1 = dengan perlakuan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit

Pola Spektra Bakteri fotosintetik Anoksigenik (BFA)

Isolat BFA AM memiliki puncak absorbansi pada panjang gelombang 300-400 nm dan 800 nm. Hasil uji pola spektra isolat BFA AM dalam penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan Cu M0 dan Cu M1 menghasilkan BFA dengan pola spektra relatif sama dengan isolat BFA AM kontrol namun absorbansi pada panjang gelombang 800 nm menurun, sedangkan pada perlakuan Pb M0 dan Pb M1 puncak absorbansi hanya terdapat pada gelombang pada panjang gelombang 300-400 nm dan puncak absorbansi pada panjang gelombang 800 nm menghilang (Gambar 2). Persamaan pola spektra tersebut diduga karena ion logam Cu dan Pb tidak mempengaruhi proses fotosintesis isolat BFA AM. Ion logam Cu merupakan elemen esensial yang apabila ketersediaannya di lingkungan tidak berlebihan akan membantu aktivitas enzim sedangkan ion logam Pb merupakan elemen non esensial, keberadaannya di lingkungan tidak dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan. Ion logam Cu dan Pb dalam konsentrasi yang

rendah tidak mempengaruhi kandungan klorofil dan proses fotosintetik (Ralph dan Burchett, 1998).

Pola spektra perlakuan Al M0 dan Al M1 memiliki puncak absorbansi yang relatif sama dengan perlakuan Pb M0 dan Pb M1, dengan puncak absorbansi pada panjang gelombang 300-400 nm (Gambar 2). Namun demikian nilai absorbansi pada isolat BFA AM dari perlakuan Al M0 dan Al M1 sedikit lebih rendah dibandingkan isolat BFA AM Pb M0, Pb M1 dan kontrol. Ion logam Al diketahui merupakan ion logam yang bersifat toksik, sehingga diduga berpengaruh terhadap proses fotosintesis isolat BFA AM.

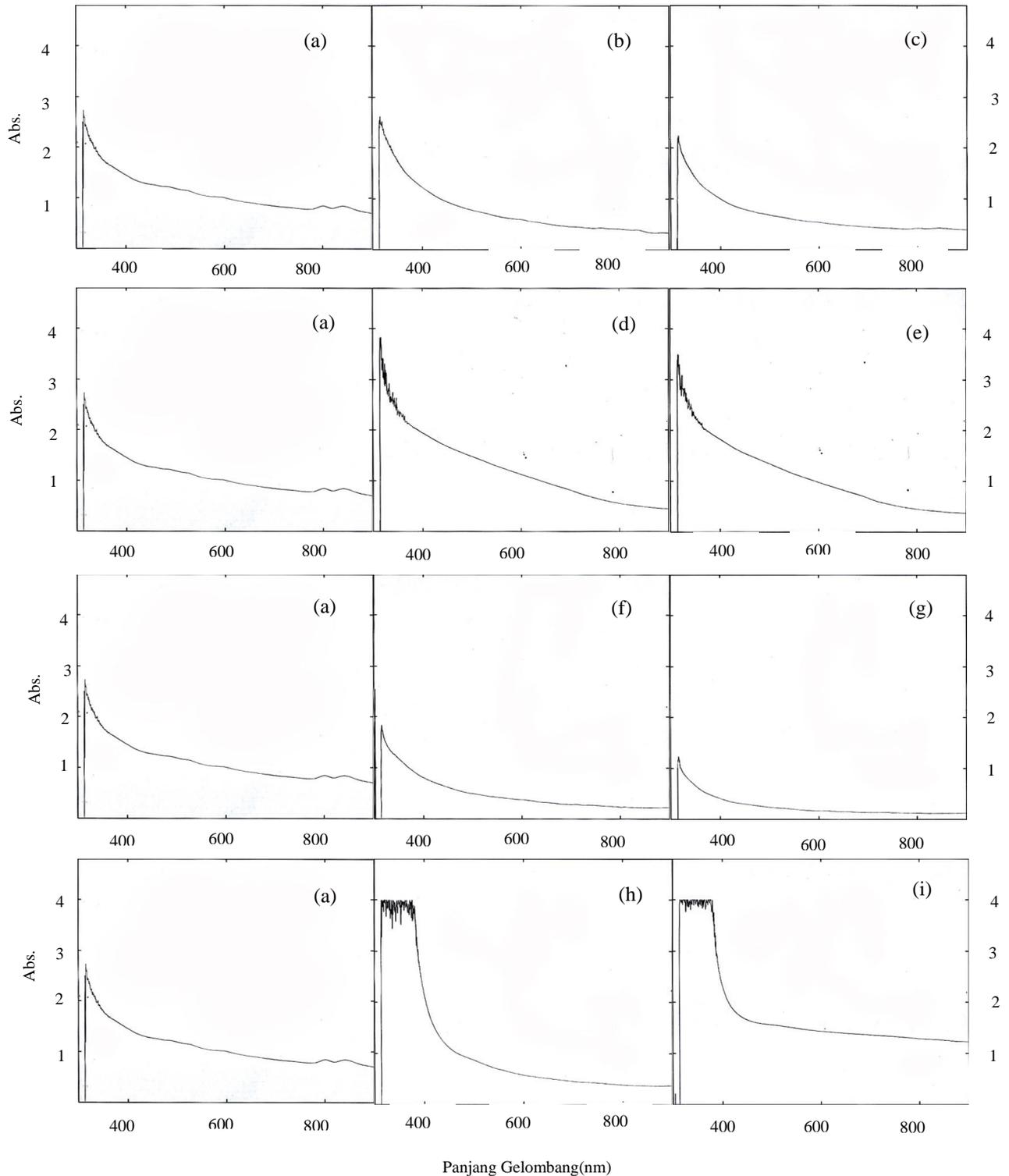
Pada isolat BFA AM dari perlakuan Fe M0 dan Fe M1 terjadi peningkatan absorbansi pada panjang gelombang 300-400 nm dibandingkan isolat BFA AM perlakuan lainnya dan puncak absorbansi pada panjang gelombang 800 nm menghilang. Selain itu terdapat perbedaan antara perlakuan Fe M0 dan Fe M1 yaitu intensitas absorbansi Fe M1 lebih tinggi dibandingkan dengan Fe M0 (Gambar 2). Hal tersebut diduga karena medan magnet mempengaruhi laju pergerakan ion logam Fe dan ion logam Fe mempengaruhi produksi

Sumardi, Agustrina, Yunita Pengaruh Medan Magnet dan Ion Logam (Cu, Pb, Al dan Fe) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA)

bakterioklorofil dan karotenoid BFA. Menurut Saejung dan Apaiwong (2015) ion logam Fe dapat meningkatkan produksi karotenoid dibandingkan ion logam lainnya. Hal tersebut karena ion logam Fe berperan sebagai kofaktor enzim karotenogenik. Sedangkan menurut Horne *et al.* (1998) penambahan ion logam Fe

dapat meningkatkan LH (*light-harvesting complexes*).

Menurut Pisani *et al.* (2008), logam dapat menurunkan intensitas absorbansi *Rhodobacter sphaeroides* pada panjang gelombang 867 nm karena kehilangan sebagian kecil dari kompleks antena bakterioklorofil



Gambar 2. Pola Spektra isolat BFA AM pada Berbagai Jenis Media.

Keterangan: (a) = isolat BFA AM pada media SWC tanpa diberi ion logam dan paparan medan magnet

(b) = isolat BFA AM pada media SWC diberi CuCl_2

(c) = isolat BFA AM pada media SWC diberi CuCl_2 dan paparan medan magnet

(d) = isolat BFA AM pada media SWC diberi PbCl_2

(e) = isolat BFA AM pada media SWC diberi PbCl_2 dan paparan medan magnet

(f) = isolat BFA AM pada media SWC diberi AlCl_3

(g) = isolat BFA AM pada media SWC diberi AlCl_3 dan paparan medan magnet

(h) = isolat BFA AM pada media SWC diberi FeCl_3

(i) = isolat BFA AM pada media SWC diberi FeCl_3 dan paparan medan magnet

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ion logam baik yang dipapar medan magnet dan tanpa dipapar medan magnet tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan isolat BFA AM, namun ion logam dalam media SWC mempengaruhi pola spektra isolat BFA AM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini bagian dari Proyek Penelitian Hibah Pascasarjana Unila berdasarkan surat penugasan No. Kontrak : 1572/UN26.21/PP/2018, tanggal 9 juli 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustrina, R., Handayani, T. T., Wahyuningsih, S., & Prasetya, O. 2012. Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) di Bawah Perlakuan Medan Magnet 0,2 mT. *Prosiding SNSMAIP III*. Bandar Lampung. 2012. Hlm. 277-281.
- Bai, H. J., Zhang, Z. M., Yang, G. E., & B. Z. Li. 2008. Bioremediation of Cadmium by Growing *Rhodobactersphaeroides*: Kinetic Characteristic and Mechanism Studies. *Bioresource Technology*. 99 : 7716-7722.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. 2012. Function of Nutrients: Micronutrients. In: Marschner, P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academia Press. London.
- Chumpol, S., Kantachote, D., Nitoda, T., & Kanzaki, H. 2017. The Roles of Probiotic Purple Nonsulfur Bacteria to Control Water Quality and Prevent Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) for Enhancement Growth with Higher Survival in White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during Cultivation. *Aquaculture*. 1-38.
- Desiyana. 2000. Isolasi Bakteri Fotosintetik Anoksigenik (BFA) dari Perairan Pantai di Lampung Selatan dan Uji kemampuannya menurunkan Konsentrasi H₂S. *Skripsi*. Bandar Lampung.
- Eldin, H. G. & Elbanna, K. 2011. Field Evidence for the Potential of *Rhodobacter capsulatus* as Biofertilizer for Flooded Rice. *Curr Microbiol*. 62 : 391-395.
- Feng, Y., Yu, Y., Wang, Y., & Lin, X. 2007. Biosorption and Bioreduction of Trivalent Aurum by Photosynthetic Bacteria *Rhodobacter capsulatus*. *Curr Microbiol*. 55 : 402-408.
- Gemerden, H. V. & Mas, J. 1995. *Ecology of Phototrophic Sulfur Bacteria*. In: Blankenship, R.E., M. T. Madigan, C. E. Bauer (ed.). *Anoxygenic Photosynthetic Bacteria*. Kluwer Academia Publishers. Netherlands.
- Giotta, L., Agostiano, A., Italiano, F., Milano, F., & Trotta, M. 2006. Heavy Metal Ion Influence on The Photosynthetic Growth of *Rhodobacter sphaeroides*. *Chemosphere*. 62 : 1490-1499.
- Horne, I. M., Pemberton, J. M., & McEwan, A. G. 1998. Manganous Ions Suppress Photosynthesis Gene Expression in *Rhodobacter Sphaeroides*. *Microbiology*. 144: 2255-2261.
- Panwichian, S., Kantachote, D., Wittayaweerarak, B., & Mallavarapu, M. 2010. Isolation of Purple Nonsulfur Bacteria for The Removal of Heavy Metals and Sodium from Contaminated Shrimp Ponds. *Journal of Biotechnology*. 13 : 11-13.
- Pisani, F., Italiano, F., Leo, F. D., Galleani, R., Rinaldcci, S., Zolla, L., Agostiano, A., Ceci, L. R., & Trotta, M. 2008. Soluble Proteome Investigation of Cobalt Effect on the Carptenoidless mutant of *Rhodobacter sphaeroides*. *Journal of Applied Microbiology*. 106: 338-349.

- Ralph, P. J. & Burchett, M. D. 1998. Photosynthetic Response of *Halophila ovalis* to Heavy Metal Stress. *Environmental Pollution*. 103 : 91-101.
- Saejung, C. & Apaiwong, P. 2015. Enhancement of Carotenoid Production in The New Carotenoid-Producing Photosynthetic Bacterium *Rhodospseudomonas faecalis* PA2. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 20: 701-707.
- Samsundari, S. & Perwira, I. Y. 2011. Kajian Dampak Pencemaran Logam Berat di Daerah Sekitar Luapan Lumpur Sidoarjo terhadap Kualitas Air dan Budidaya Perikanan. *Gamma*. 6 : 129-136.
- Soegianto, A., Primarastri, N. A., & Winarni, D. 2004. Pengaruh Pemberian Kadmium terhadap Tingkat Kelangsungan Hidup dan Kerusakan Struktur Insang dan Hepatopankreas pada Udang Regang [*Macrobrachium sintangense* (de Man)]. *Berk. Penel. Hayati*. 10 : 59-66.
- Sudarti, Nurhayati, Ruriani, E., & Hersa, V. T. 2014. Prevalence of *Salmonella typhimurium* on Gado-Gado Seasoning by Treatment of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field. Prosiding Seminar Nasional Nutrisi, Keamanan Pangan dan Produk Halal. Surakarta. 26 April 2014. Hlm 26-37.
- Sumardi, Agustrina, R., Irawan, B., & Pratiwi, A. 2018. The Effect of Magnetic Field Exposure on Medium to Protease Production by *Bacillus* sp. *Biovalentia*. 4 : 1-5.
- Sumardi, Agustrina, R., Irawan, B., & Selfiana, I. 2018. Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT Pada Ion Logam Fe dan Zn dalam Media Pertumbuhan Terhadap Produksi Protease *Bacillus* sp. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 16 : 173-177.
- Sumardi, Agustrina, R., Ekowati, C. N., & Pasaribu, Y. S. 2018. Characterization of Protease from *Bacillus* sp. on Medium Containing FeCl₃ Exposed to Magnetic Field 0,2 mT. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1-12.
- Triadayani, A. E., Aryawati, R., & Diansyah, G. 2010. Pengaruh Logam Timbal (Pb) terhadap Jaringan Hati Ikan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*). *Maspari Journal*. 1 : 42-47.
- Widiyanto, T., Suwanto, A., Adidjuwana, H., & Kaswadji, R. 1998. Kemampuan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik dalam Menurunkan Konsentrasi H₂S dan Menghambat Pertumbuhan *Vibrio harveyi*. *Jurnal Bioteknologi Pertanian*. 3 : 17-22.
- Yang, H., Ma, H., Shi, B., Li, L., & Yan, W. 2016. Experimental Study of the Effects of Heavy Metal Ions on The Hydrogen Production Performance of *Rhodobacter sphaeroides* HY01. *Journal of Hydrogen Energy*. 41 : 1-8.
- Yudo, S. 2006. Kondisi Pencemaran Logam Berat di Perairan Sungai DKI Jakarta. *JAI*. 2 : 1-15.