



Produksi Ramnolipid dan Polihidroksialkanoat secara Simultan dari Produk Samping Industri Biodiesel dengan Bahan Baku CPO

Production of Ramnolipid and Polihidroksialkanoat via Simultaneous from Byproduct of Biodiesel Industry with CPO

Darti Nurani¹, Sidik Marsudi^{2*}

¹ Program Studi Teknologi Industri Pertanian,

Institut Teknologi Indonesia, Jalan Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15320,

² Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jalan Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15320,

*E-mail: sidikmar@yahoo.com

Abstrak

Produksi bioplastik polyhydroxyalkanoates (PHA) oleh bakteri menghadapi masalah biaya produksi yang tinggi. Masalah yang sama juga terjadi pada produksi ramnolipid biosurfaktan. Strategi baru telah diusulkan untuk mengurangi biaya produksi PHA, yaitu sel pertama diarahkan untuk menghasilkan produk ekstraseluler yaitu ramnolipid, lalu sel tersebut digunakan kembali untuk menghasilkan produk intraseluler, yaitu PHA. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari produksi poli-hidroksialkanoat (PHA) dan ramnolipid secara simultan dari sumber karbon yang relatif murah menggunakan teknik batch kultur. Dalam penelitian ini, produk samping industri biodiesel dari minyak sawit mentah (CPO) digunakan sebagai sumber karbon dan sebagai pembanding digunakan minyak sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sumber karbon produk samping CPO menghasilkan konsentrasi maksimum ramnolipid dan PHA masing-masing 80 mg/l dan 0,15 mg/l, yang dicapai pada konsentrasi sumber karbon 25 g/l dan waktu kultivasi 24 jam.

Kata kunci: biodiesel, PHA, *Pseudomonas aeruginosa*, ramnolipid, CPO, simultan

Abstract

The production of bioplastic polyhydroxyalkanoates (PHA) by bacteria faces the issue of high production cost. Similar problem also occurs on production of biosurfactant rhamnolipid. A new strategy has been proposed to reduce PHA production cost, i.e. cell first is directed to produce extracellular product, rhamnolipid then the cells are reused to produce intracellular product, PHA. This research was conducted to study simultaneously production of polyhydroxyalkanoates (PHA) and rhamnolipid from relatively cheap carbon source using batch culturing technique. In this research, by product of industrial biodiesel production from crude palm oil (CPO) was used as a carbon source and palm oil was also used as a comparison. The results showed that, on carbon source of byproduct from crude palm oil (CPO) maximum rhamnolipid concentration of 80 mg/l was achieved. Maximum concentration of PHA that could be archived was 0.15 mg/l at a carbon source concentration of 25 g/l and cultivation of 24 hours.

Keywords: biodiesel, PHA, *Pseudomonas aeruginosa*, rhamnolipid, CPO, simultaneous

1. Pendahuluan

Plastik mempunyai peranan yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan hidup manusia. Meskipun sangat banyak keunggulan plastik, buangan plastik telah menjadi masalah serius terhadap pencemaran lingkungan karena plastik yang banyak digunakan saat ini sulit didegradasi di alam. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah ini adalah penggunaan bahan baku plastik dari polihidroksialkanoat (PHA) yang diproduksi secara fermentasi. Buangan bioplastik dari PHA dapat didegradasi oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida

dan air hanya dalam waktu beberapa bulan saja (Lee, 1996). Bioplastik PHA dari bakteri telah diproduksi secara komersial dan berpotensi untuk digunakan pada bidang kesehatan, pertanian, dan pembungkus makanan (Lee, 1996). Produksi bioplastik PHA dihadapkan pada persoalan mahal biaya produksi.

Bioplastik PHA diproduksi oleh sel bakteri sebagai produk intraseluler (PHA diakumulasi di dalam sel bakteri). Dengan demikian, untuk memproduksi bioplastik PHA dengan jumlah yang banyak diperlukan jumlah sel bakteri yang sangat banyak pula.

Selain itu, dalam memproduksi bioplastik PHA, sel bakteri harus dihancurkan terlebih dahulu untuk mendapatkan dan memurnikan bio-plastik PHA.

Untuk mengatasi mahalanya biaya produksi bioplastik PHA diperlukan suatu strategi baru dalam memproduksi PHA. Strateginya yaitu sebelum sel bakteri dihancurkan untuk mengisolasi dan memurnikan bioplastik PHA, sel bakteri tersebut digunakan/dimanfaatkan dulu untuk memproduksi biomaterial berharga lainnya terutama biomaterial yang diproduksi sel bakteri sebagai produk ekstraseluler. Oleh karena itu, diperlukan informasi tentang bakteri yang dapat memproduksi bioplastik PHA sebagai intraseluler produk dan biomaterial lain sebagai ekstraseluler produk.

Pseudomonas, sp. merupakan bakteri yang telah dikenal dapat memproduksi bioplastik polihidroksialkanoat (PHA) dari berbagai jenis sumber karbon untuk pertumbuhannya (Ashby dan Foglia, 1998; Solaiman dkk., 2001). Khusus *P. aeruginosa*, bakteri ini telah diketahui juga mampu memproduksi biomaterial berharga yaitu biosurfaktan ramnolipid sebagai ekstraseluler produk baik dengan menggunakan sumber karbon hidrofilik (seperti glukosa, sukrosa dan gliserol) maupun hidrokarbon hidrofobik (seperti n-arafin, minyak olive, minyak kacang kedelai, dan minyak jagung) (Maier dan Soberon, 2000).

Adanya kemampuan untuk memproduksi dua jenis bioproduk berharga yaitu bioplastik PHA dan biosurfaktan ramnolipid pada suatu jenis bakteri dimanfaatkan oleh Hori dkk. (2002) dan Marsudi (2002a) untuk memproduksi dua jenis produk tersebut secara bersamaan dari satu jenis bakteri (*monoculture*). Pendekatan ini berbeda dengan proses produksi yang sudah ada selama ini, yaitu biasanya target produksi diarahkan untuk memproduksi satu jenis produk saja seperti bioplastik PHA atau biosurfaktan ramnolipid saja yang diproduksi secara terpisah dari satu jenis bakteri.

Selain itu, Hori dkk. (2002) menyimpulkan bahwa penelitian tersebut akan mematahkan pendapat umum bahwa biaya untuk memproduksi PHA tidak akan lebih kecil dari biaya untuk memproduksi sel itu sendiri. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih dalam tahap mendemonstrasikan produksi bioplastik PHA dan biosurfaktan ramnolipid secara simultan. PHA dan ramnolipid pada dasarnya juga dapat diproduksi oleh bakteri secara simultan

(Marsudi dkk., 2008; Hori dkk; 2011). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan guna menurunkan biaya produksi kedua produk tersebut dengan memodifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap hasil penelitian. Penelitian lanjutan yang diperlukan antara lain mencari dan mengoptimalkan penggunaan berbagai sumber karbon yang relatif murah. Penggunaan sumber karbon yang relatif murah dan tersedia dalam jumlah yang banyak seperti minyak sawit kasar (*crude palm oil*, CPO) dan turunannya serta produk samping industri biodiesel dari CPO - merupakan salah satu alternatif untuk menurunkan biaya produksi PHA.

Produksi dan penggunaan biodiesel dari CPO atau trigliserida lainnya merupakan suatu program pemerintah untuk mengurangi ketergantungan bahan bakar minyak (BBM) dan mewujudkan komitmen pemerintah dalam upaya menciptakan program langit biru. Pada produksi biodiesel ini akan dihasilkan produk samping yang cukup besar. Produk samping ini akan dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk produksi bioplastik PHA dari bakteri. Ashby dkk., (2004) melaporkan bahwa komposisi produk samping industri biodiesel dari minyak kacang kedelai merupakan suatu campuran yang terdiri dari: gliserol, asam lemak bebas dan metil ester asam lemak bebas, serta air dengan komposisi secara berturut turut ada 34%, 40%, dan 26%. Masing masing komponen penyusun campuran ini merupakan sumber karbon yang baik untuk produksi PHA dengan teknologi fermentasi menggunakan bakteri. Produksi bioplastik polihidroksialkanoat dapat dilakukan dari sumber karbon gliserol (Marsudi, 2002a), asam lemak bebas (Kim B.S., 2002) dan trigliserida (Marsudi, 2002b; Solaiman dkk., 2001; Marsudi dkk. 2007) dengan menggunakan bakteri *Pseudomonas sp.*

2. Metodologi

Prosedur penelitian produksi PHA dan ramnolipid secara simultan dilakukan melalui dua tahapan yaitu (1) produksi ekstraseluler produk, ramnolipid dan (2) produksi intraseluler produk, PHA. Produksi PHA dilakukan dengan menggunakan sel yang telah digunakan untuk memproduksi ramnolipid menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* IFO 3924. Sebelum membuat ramnolipid, bakteri ini diaktifkan terlebih dahulu menggunakan medium IFO 802 (Tabel 1).

Tabel 1. Komposisi media IFO 802

No	Uraian	Konsentrasi per liter air
1.	Polypepton	10 g
2.	Yeast extract	2 g
3.	MgSO ₄ 7H ₂ O	1 g

Table 2. Komposisi media garam dasar (*Bassal Salt Medium*, BSM)

No	Uraian	Konsentrasi per liter medium
1.	(NH ₄) ₂ HPO ₄	1,10 g
2.	K ₂ HPO ₄	5,80 g
3.	KH ₂ PO ₄	3,70 g
4.	MgSO ₄	0,12 g
5.	Mikroelemen	1 ml

P. aeruginosa IFO 3924 diperoleh dari Institute of Fermentation, Osaka, Jepang. Sumber karbon yang digunakan yaitu produk samping industri biodiesel dari CPO. Sumber karbon diperoleh dari pilot plant Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Komplek Puspiptek, Jalan Raya Puspiptek, Serpong, Tangerang.

Table 3. Komposisi media modifikasi garam dasar (*Modified Bassal Salt Medium*, MBSM)

No	Uraian	Konsentrasi per liter medium
1.	NH ₄ NO ₃	0,666 g
2.	K ₂ HPO ₄	6,6852 g
3.	KH ₂ PO ₄	4,1413 g
4.	MgSO ₄	0,12 g
5.	Mikroelemen	1 ml

Table 4. Komposisi larutan mikroelemen

No	Uraian	Konsentrasi per liter 1,0N HCl
1.	FeSO ₄ 7 H ₂ O	2,80 g
2.	MnSO ₄ 5H ₂ O	2,40 g
3.	CoCl ₂ 6H ₂ O	2,40 g
4.	CaCl ₂ H ₂ O	1,70 g
5.	CuCl ₂ 2H ₂ O	0,20 g
6.	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0,30 g
7.	NaMoO ₄	0,25 g

Media untuk inokulum (Media IFO 802), produksi PHA (BSM) dan produksi ramnolipid (MBSM) secara berturut turut ditunjukkan pada Tabel 1 - Tabel 3. Komposisi mikroelemen dari medium garam dasar ditunjukkan pada Tabel 4. Pelaksanaan keseluruhan penelitian terdiri atas: (1) aktivasi sel *P.aeruginosa* IFO 3924 dan persiapan media padat serta media cair dari medium

IFO 802 untuk sub culture, (2) Produksi PHA dan ramnolipid secara simultan dalam labu erlenmeyer.

2.1. Aktivasi Sel *P.aeruginosa* IFO 3924 dan Persiapan Media Padat serta Media Cair dari Medium IFO 802 untuk Sub Culture

Aktivasi sel serta persiapan medium padat dan medium cair telah dilakukan berdasarkan petunjuk pengaktifan dan pembuatan medium IFO 802 yang dikeluarkan oleh *Institute of Fermentation*, Osaka Jepang. Persiapan ini diperlukan untuk melakukan aktivasi sel yang disimpan dari ampul (telah disimpan dalam waktu yang lama). Untuk penggunaan rutin, sel disimpan dalam refrigerator pada media padat dengan suhu 4 °C dan diaktifkan kembali menggunakan medium cair IFO 802.

2.2. Produksi Ramnolipid dan PHA dengan Kultivasi Curah

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi berat kering sel, konsentrasi ramnolipid dan PHA yang dapat dihasilkan dari sumber karbon produk samping industri biodiesel. Medium garam dasar (*bassal salt medium*, BSM) dan modifikasi medium garam dasar (*modified bassal salt medium*, MBSM) seperti yang digunakan oleh Hori dkk. (2002) ditambah sumber karbon minyak sawit atau produk samping industri biodiesel dari CPO disiapkan dengan kecepatan 250 rpm dan suhu 30°C. Variasi dari percobaan ini adalah:

- Jenis sumber karbon (minyak sawit dan produk samping industri biodiesel dari CPO)
- Konsentrasi sumber karbon (minyak sawit): 5 g/l, 10 g/l, dan 15 g/l.
- Konsentrasi sumber karbon (produk samping industri biodiesel dari CPO): 5 g/l, 25 g/l, dan 50 g/l.
- Waktu pemanenan: 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

Parameter yang dianalisis adalah konsentrasi sel, jumlah ramnolipid dan jumlah PHA yang dihasilkan. Konsentrasi ramnolipid dan konsentrasi PHA ditentukan melalui ekstraksi secara berurutan seperti yang dilakukan oleh Sandovala dkk., (1999) dan Ashby dkk., (2004).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil percobaan meliputi aktivasi sel *P.aeruginosa* IFO 3924, produksi ramnolipid dan PHA secara simultan dalam erlenmeyer

dengan kultivasi curah secara simultan dari dua jenis sumber karbon (sumber C) dijelaskan berikut ini.

3.1. Aktivasi Sel *P. aeruginosa* IFO 3924

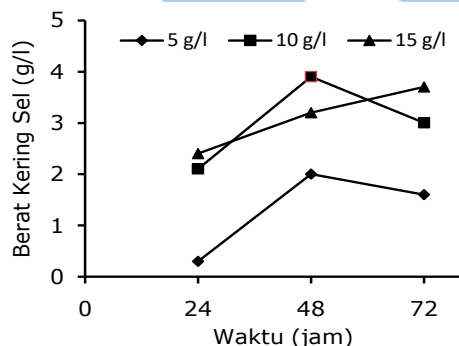
Pengaktifan sel dari dalam ampul ke medium padat dapat dilakukan dengan baik. Sel dapat dibiakkan kembali dari ampul ke media cair dan media padat dan disimpan dalam refrigerator pada suhu 4°C. Untuk kebutuhan penggunaan rutin, sub kultur dilakukan tiap 3 minggu sekali. Selain pengaktifan sel, bakteri *P. aeruginosa* IFO 3924 ini juga ditumbuhkan pada media kaya substrat (*rich medium*).

Prosedur pertumbuhan sel dalam media kaya substrat adalah sebagai berikut: Sel ditumbuhkan dengan rentang waktu dari 0–42 jam dan dari hasil percobaan menunjukkan bahwa pertumbuhan berada pada fase logaritmik dari 9 jam hingga 20 jam. Oleh karena itu, untuk keperluan produksi PHA dan ramnolipid dalam labu erlenmeyer, digunakan sel bakteri yang telah ditumbuhkan dalam medium IFO 802 selama 18–20 jam.

3.2. Produksi Ramnolipid dan PHA dengan Kultivasi Curah

a. Optimasi produksi ramnolipid dengan teknik kultivasi curah

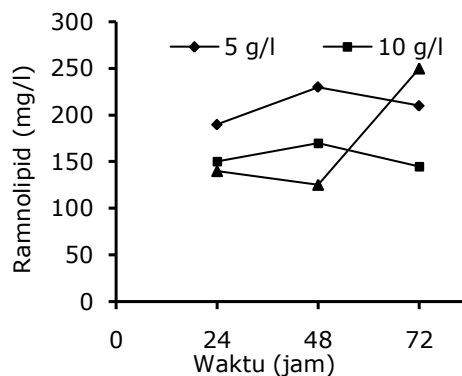
Produksi ramnolipid dengan teknik kultivasi curah telah dilakukan dengan berbagai variabel, menggunakan medium MBSM dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1 sampai Gambar 4.



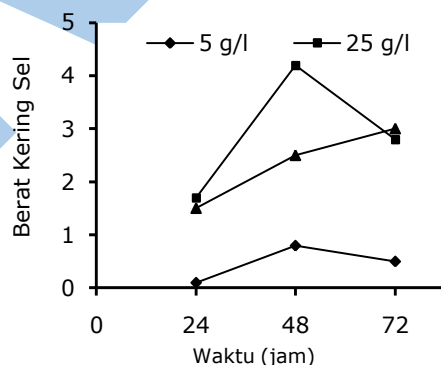
Gambar 1. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media MBSM dan lama fermentasi pada perolehan berat kering sel (sumber C: minyak sawit)

Pada sumber karbon minyak sawit (Gambar 1 dan Gambar 2), konsentrasi berat kering sel meningkat dengan peningkatan sumber karbon hingga konsentrasi 10 g/l. Namun

peningkatan sumber karbon menjadi 15 g/l tidak memberikan peningkatan konsentrasi sel. Berat kering sel maksimum yang dapat dicapai yaitu 3,9 g/l pada konsentrasi minyak sawit 10 g/l dengan waktu kultivasi 48 jam. Namun, pada produksi ramnolipid dari minyak sawit, maksimum konsentrasi ramnolipid sebesar 230 mg/l dicapai dari sumber karbon 5 g/l dengan waktu kultivasi 48 jam. Penambahan waktu kultivasi hingga 72 jam tidak memberikan peningkatan konsentrasi ramnolipid.



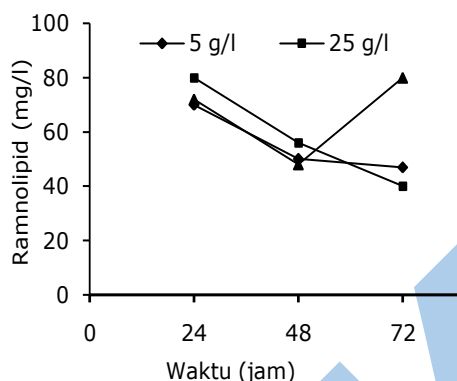
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media MBSM dan lama fermentasi pada perolehan ramnolipid (sumber C: minyak sawit)



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media MBSM dan lama fermentasi pada perolehan berat kering sel (sumber C: Produk samping industri biodiesel dari CPO)

Hasil-hasil percobaan penggunaan sumber karbon dari produk samping industri biodiesel dengan bahan baku CPO ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Konsentrasi berat kering sel meningkat dengan peningkatan konsentrasi sumber karbon hingga waktu kultivasi 48 jam. Namun, penambahan waktu kultivasi hingga 72 jam tidak menambah peningkatan konsentrasi sel yang signifikan bahkan konsentrasi berat kering sel menurun drastis pada konsentrasi sumber karbon 5 g/l

(Gambar 3). Disamping itu, pada berbagai konsentrasi sumber karbon yang telah dicoba (dari 5 g/l - 50 g/l), konsentrasi ramnolipid yang dihasilkan relatif sama bahkan konsentrasi ramnolipid menurun seiring dengan penambahan waktu kultivasi dari 24 jam hingga 72 jam. Konsentrasi ramnolipid maksimum sebesar 80 mg/l dicapai pada konsentrasi sumber karbon 5 g/l dengan waktu kultivasi 24 jam (Gambar 4).



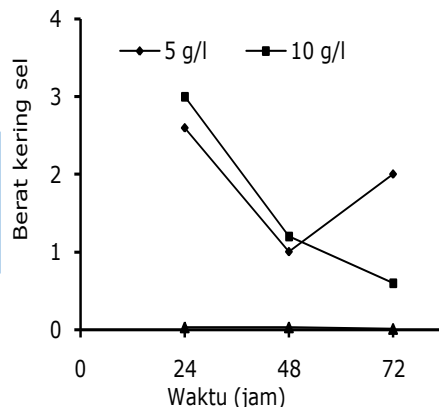
Gambar 4. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media MBSM dan lama fermentasi pada perolehan ramnolipid (sumber C: Produk samping industri biodiesel dari CPO)

Dari percobaan tersebut diketahui pula bahwa pada penggunaan sumber karbon dari produk samping industri biodiesel dengan bahan baku CPO, dengan meningkatnya pertumbuhan sel selama rentang waktu kultivasi 24 hingga 48 jam, produk ramnolipid yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Tidak demikian halnya pada penggunaan sumber karbon dari minyak sawit, dengan semakin meningkatnya pertumbuhan sel selama rentang waktu kultivasi 24 hingga 48 jam, produk ramnolipid yang dihasilkan cenderung semakin meningkat.

b. Optimasi produksi PHA dengan teknik kultivasi curah

Produksi PHA dilakukan dengan menggunakan sel bakteri yang telah digunakan untuk memproduksi ramnolipid dan selanjutnya sel bakteri tersebut disuspensikan kembali untuk memproduksi PHA, menggunakan medium BSM. Hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5 - Gambar 8. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan konsentrasi berat kering sel dan produksi PHA menggunakan minyak sawit sebagai sumber karbon. Pada waktu kultivasi 24 jam, konsentrasi berat kering sel relatif sama untuk sumber karbon

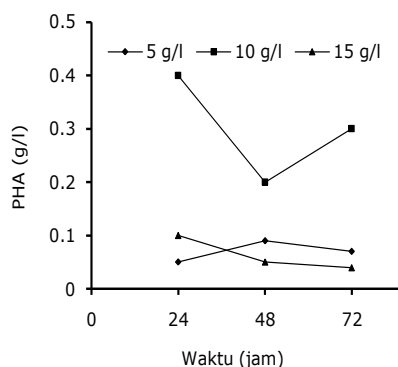
minyak sawit 5 g/l dan 10 g/l dan penambahan waktu kultivasi hingga 72 jam konsentrasi berat kering sel menurun. Namun pada konsentrasi sumber karbon tersebut, konsentrasi berat kering selnya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sumber karbon 15 g/l. Pada konsentrasi sumber karbon 15 g/l, sel tidak mampu memanfaatkan sumber karbon untuk pertumbuhannya.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media BSM dan lama fermentasi pada perolehan berat kering sel (sumber C: minyak sawit)

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan pengaruh sumber karbon produk samping industri biodiesel berbahan baku CPO terhadap konsentrasi berat kering sel dan produksi PHA. Dengan waktu kultivasi 24 jam, konsentrasi berat kering sel sebesar 1,8 g/l diperoleh dari konsentrasi sumber karbon 25 g/l (Gambar 7). Pada konsentrasi 48 dan 72 jam, konsentrasi berat kering sel menurun dengan peningkatan waktu. Fenomena ini sama halnya dengan sumber karbon minyak sawit. Pada konsentrasi sumber karbon yang lainnya, konsentrasi berat kering sel yang dihasilkan seperempat kali lebih rendah dari yang dihasilkan pada sumber karbon 25 g/l. Hal ini menunjukkan bahwa waktu produksi PHA dengan teknik kultivasi ini lebih baik dilakukan dengan waktu pemanenan sel setelah kultivasi dilakukan selama 24 jam.

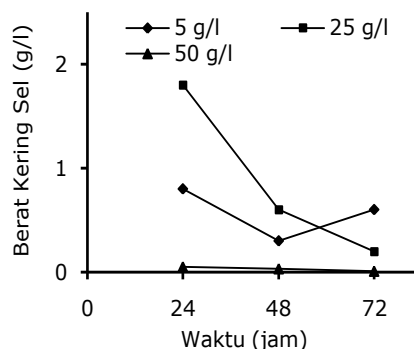
Berdasarkan Gambar 6, pada sumber karbon minyak sawit 10 g/l dan waktu kultivasi 24 jam, PHA yang dihasilkan adalah 0,4 g/l. Konsentrasi ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PHA yang dihasilkan dari konsentrasi sumber karbon 5 g/l dan 15 g/l. Namun, konsentrasi ini menurun dengan penambahan waktu kultivasi hingga 72 jam.



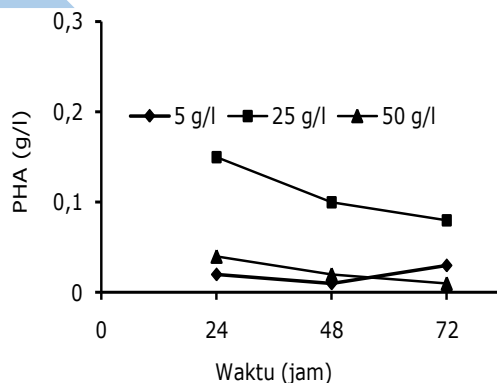
Gambar 6. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media BSM dan lama fermentasi pada perolehan PHA (sumber C: minyak sawit)

Gambar 8 menyajikan produksi PHA dengan sumber karbon dari produk samping industri biodiesel dengan bahan baku CPO. Berdasarkan gambar tersebut, produksi PHA yang paling tinggi diperoleh pada konsentrasi sumber karbon 25 g/l dengan waktu kultivasi 24 jam. Pada konsentrasi ini, konsentrasi yang dihasilkan tiga kali lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi sumber karbon yang lainnya. Namun penambahan waktu kultivasi mengakibatkan penurunan konsentrasi PHA yang dihasilkan. Fenomena ini juga terjadi pada sumber karbon minyak sawit (Gambar 6).

Selain itu penambahan sumber karbon pada konsentrasi yang lebih tinggi (50 g/l) ternyata tidak mampu meningkatkan perolehan PHA. Hal ini diperkirakan karena sel bakteri tidak mampu mengonsumsi sumber karbon dalam jumlah besar sehingga pertumbuhannya terhambat dan pada gilirannya menghambat produksi PHA. Fenomena ini juga terjadi pada produksi PHA menggunakan sumber karbon minyak sawit. Pada penggunaan sumber karbon dari minyak sawit, sampai konsentrasi sumber karbon 10 g/l, maka semakin meningkat sumber karbon jumlah sel bakteri dan produk PHA yang dihasilkan juga semakin meningkat. Namun, penambahan sumber karbon pada konsentrasi yang lebih tinggi (15 g/l), ternyata tidak mampu meningkatkan perolehan sel bakteri maupun PHA. Pada penggunaan sumber karbon dari produk samping industri biodiesel dengan bahan baku CPO 25 g/l, diperoleh PHA maksimum sebesar 0,15 g/l pada kultivasi selama 24 jam. Sedangkan pada penggunaan sumber karbon minyak sawit 10 g/l, perolehan PHA maksimum sebesar 0,4 g/l didapatkan pada kultivasi 24 jam.



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media BSM dan lama fermentasi pada perolehan berat kering sel (sumber C: produk samping industri biodiesel dari CPO)



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi sumber karbon dalam media BSM dan lama fermentasi pada perolehan berat kering sel (sumber C: produk samping industri biodiesel dari CPO)

Pada produksi PHA menggunakan sel bakteri yang disuspensikan kembali setelah digunakan untuk memproduksi ramnolipid, diketahui pula bahwa pada penggunaan sumber karbon dari produk samping industri biodiesel dengan bahan baku CPO, dengan semakin menurunnya pertumbuhan sel selama kultivasi 72 jam, produk PHA yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Demikian pula halnya pada penggunaan sumber karbon dari minyak sawit, dengan semakin menurunnya pertumbuhan sel selama kultivasi 72 jam, produk PHA yang dihasilkan cenderung semakin menurun bahkan tidak stabil.

4. Kesimpulan

Ramnolipid dan PHA dapat diproduksi dari bakteri *P. aeruginosa* dengan substrat dari produk samping industri biodiesel berbahan baku CPO. Konsentrasi awal sumber karbon (minyak sawit) 5 g/l memberikan hasil sel

dan rhamnolipid terbaik dari beberapa konsentrasi yang telah diuji, sedangkan konsentrasi awal sumber karbon (minyak sawit) 10 g/l memberikan hasil sel dan PHA terbaik dari beberapa konsentrasi yang telah diuji pada kultivasi curah berulang secara simultan. Konsentrasi awal sumber karbon (limbah biodiesel dari CPO) 25 g/l memberikan hasil sel, rhamnolipid, dan PHA terbaik dari beberapa konsentrasi yang telah diuji, pada kultivasi curah berulang secara simultan.

Daftar Pustaka

- Ashby, R. D., Foglia, T. A., (1998) Poly(hydroxyalkanoates) biosynthesis from triglyceride substrate, *Applied Microbiology Biotechnology*, 49, 431-437.
- Ashby R.D, Solaiman D.K.Y., Foglia, T.A. (2004) Bacterial Poly(hydroxyalkanoate) polymer production from the biodiesel coproduct stream, *Journal of Polymers and the Environment*, 12, 105-112.
- Hori, K., S. Marsudi, Unno, H. (2002) Simultaneous production of polyhydroxyalkanoates and rhamnolipid by *Pseudomonas aeruginosa*, *Biotechnology and Bioengineering*, 78 (6), 699-707.
- Hori, K., Ichinohe R., Unno H., Marsudi, S. (2011) Simultaneous syntheses of polyhydroxyalkanoates and rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa* IFO3924 at various temperatures and from various fatty acids, *Biochemical Engineering Journal*, 53 (2), 196-202
- Lee, S. Y. (1996) Plastic bacteria progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria, *Trends Biotechnology*, 14, 431-438.
- Maier R. M. Soberon, C. G., (2000) *Pseudomonas aeruginosa* rhamnolipids: Biosynthesis and potential applications, *Applied Microbiology Biotechnology*, 54, 625-633.
- Marsudi, S. (2002a) Simultaneous production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) and Rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa* IFO 3924, *Disertasi S3*, Tokyo Institut Teknologi, Tokyo, Jepang.
- Marsudi, S. (2002b) Studi on simultaneous microbial production of polyhydroxyalkanoates and rhamnolipids. *Disertasi S3*, Tokyo Institut Teknologi, Tokyo, Jepang.
- Marsudi, S., I.K.P., Tan, S. N. Gan, Ramachandran, K. B. (2007) Production of medium-chain-length Polyhydroxy-alkanoates (PHA-mcl) from oleic acid using *Pseudomonas Putida* PGA1 by fed batch culture, *Makara Seri Teknologi*, 11 (1), 1-6.
- Marsudi S., Unno, H., Hori, K. (2008) Palm oil utilization for the simultaneous production of polyhydroxyalkanoates and rhamnolipids by *Pseudomonas aeruginosa*, *Applied Microbiology Biotechnology*, 78, 955-961.
- Sandovala J.C.M., Karnsb J., Torrentsa, A. (1999) High-performance liquid chromatography method for the characterization of rhamnolipid mixtures produced by *Pseudomonas aeruginosa* UG2 on corn oil, *Journal of Chromatography A*, 864, 211-220.
- Solaiman D.K.Y., Ashby, R.D., Foglia. T.A. (2001) Production of polyhydroxyalkanoates from intact triacylglycerols by genetically engineered *Pseudomonas*, *Applied Microbiology Biotechnology*, 56, 664-669.