

POTENSI BIOTRANSFORMASI AMPAS TAHU MENJADI PERISA ALMOND DENGAN KONSORSIUM KAPANG-BAKTERI SEBAGAI METODE ALTERNATIF PRODUKSI PERISA ALAMI

M. Nugrah Fadillah, G. Eroz Rasman, M. Saskia Putri dan Rhytia A. Christianty
Universitas Brawijaya Malang Jawa Timur, Indonesia
Email: m.nugenugrahf@gmail.com, Ghinaerozrasman@gmail.com,
marza.saskia@gmail.com dan rhytiaayu@gmail.com

Abstract

*The production of natural flavors through the extraction of natural materials is considered less effective to meet the growing demand for natural flavors. Biotransformation of sugars and/or amino acids into benzaldehydes which are the main components of almond flavoring can be an alternative method of natural flavor production. However, the accumulation of benzaldehydes in cultures can kill microbes and produce limited yield. This causes biotransformation to be difficult to apply to large-scale production. This narrative review discusses the potential use of the *R. oligosporus* and *P. putida* consortiums as well as the potential use of to-know amputate substrates as strategies for increasing production and benzaldehyde resistance in biotransformation processes. Studies are conducted by qualitative descriptive methods using secondary data. The content of phenylalanine in the ampas is known to be a substrate that provides the highest production of benzaldehydes in the biotransformation process. The results of the study also showed that synergistic interactions between *R. oligosporus* and *P. putida* can increase cultural resistance to benzaldehyde. Biofilm *P. putida* increases resistance to benzaldehyde antimicrobial activity in cultures up to 3 times compared to monoculture *R. oligosporus*. Based on prediction calculations, increased resistance allows cultures to increase benzaldehyde production by up to 74% or reach 2.25 g/L. The use of HP20 resins added to cultures is known to prevent benzaldehydes from being re-metabolized by cultures into other compounds.*

Keywords: *Biotransformation; Benzaldehyd; P. putida; R. oligosporus*

Abstrak

Produksi perisa alami melalui ekstraksi bahan alam dinilai kurang efektif untuk memenuhi permintaan perisa alami yang terus meningkat. Biotransformasi gula dan/atau asam amino menjadi benzaldehid yang merupakan komponen utama perisa almond dapat menjadi metode alternatif produksi perisa alami. Namun, akumulasi benzaldehid pada kultur dapat membunuh mikroba dan menghasilkan yield terbatas. Hal tersebut menyebabkan biotransformasi sulit diaplikasikan pada produksi skala besar. Review naratif ini membahas potensi penggunaan konsorsium *R. oligosporus* dan *P. putida* serta potensi penggunaan substrat ampas tahu sebagai strategi peningkatan produksi dan resistensi benzaldehid pada proses biotransformasi. Studi dilakukan dengan metode deskriptif kualitatif menggunakan data sekunder. Kandungan fenilalanin dalam ampas tahu diketahui merupakan

substrat yang memberikan produksi benzaldehid tertinggi pada proses biotransformasi. Hasil studi juga menunjukkan bahwa interaksi sinergis antara *R. oligosporus* dan *P. putida* dapat meningkatkan resistensi kultur terhadap benzaldehid. Biofilm *P. putida* meningkatkan resistensi aktifitas antimikroba benzaldehid pada kultur hingga 3 kali lipat dibandingkan dengan monokultur *R. oligosporus*. Berdasarkan perhitungan prediksi, peningkatan resistensi memungkinkan kultur mengalami peningkatan produksi benzaldehid hingga 74% atau mencapai 2.25 g/L. Penggunaan resin HP20 yang ditambahkan pada kultur diketahui dapat mencegah benzaldehid dimetabolisme kembali oleh kultur menjadi senyawa lain.

Kata kunci: Biotransformasi; Benzaldehid; *P. putida*; *R. oligosporus*

Pendahuluan

Perisa almond merupakan salah satu dari tiga jenis perisa yang paling banyak digunakan dalam industri pangan olahan selain vanilla dan kayu manis. Meskipun demikian hanya 30% kebutuhan perisa yang dapat dipenuhi industri lokal. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian Tahun 2016, Indonesia harus memenuhi 70% kebutuhan perisa melalui impor tiap tahunnya (Gunawan, 2009). Hal tersebut disebabkan karena proses produksi perisa alami yang rumit, hasil panen yang terbatas dan harga perisa almond yang tinggi (Erten, 2016). Rasa dan aroma yang timbul pada perisa almond berasal dari senyawa kimia benzaldehid (Geng et al., 2016). Sintesis benzaldehid secara kimiawi menghasilkan hasil samping yang tidak ramah lingkungan dan berpotensi membentuk campuran rasemat yang dapat meningkatkan biaya pascaproduksi, yang menyebabkan konsumen lebih memilih produk alami (Poornima dan Preetha, 2017). Namun, produksi melalui ekstrak bahan alam menghasilkan konsentrasi yang rendah dan bergantung dengan musim, dan beresiko tinggi kontaminasi akibat penyakit tanaman (Xuemin Li, Liu, Hao, & Wang, 2018). Maka dari itu, diperlukan metode alternatif dalam menghasilkan perisa almond alami dengan konsentrasi tinggi, ramah lingkungan, dan biaya produksi yang terjangkau.

Berdasarkan penelitian Li *et al.* (2013) ampas tahu mengandung asam amino fenilalanin mencapai 95 mg/g. Ampas tahu dapat digunakan sebagai sumber L-fenilalanin yang dapat ditransformasi menjadi benzaldehid dengan menggunakan menggunakan mikroorganisme seperti kapang *Rhizopus oligosporus* dan bakteri *Pseudomonas putida*. Namun, konsentrasi benzaldehid yang terlalu tinggi pada kultur dapat bersifat toksik terhadap mikroorganisme hingga menyebabkan kematian sel. Berdasarkan hal tersebut diperlukan modifikasi proses fermentasi diperlukan untuk meningkatkan produksi senyawa benzaldehid (Dastanger, 2009).

Formasi biofilm pada konsorsium bakteri-kapang memungkinkan mikroorganisme memiliki ketahanan lebih terhadap tekanan biotik dan abiotik (Frey-Klett et al., 2011). Disisi lain kapang meningkatkan aksesibilitas bakteri dalam mencari nutrisi. Metode fermentasi substrat padat sangat cocok digunakan pada produksi metabolit senyawa aroma karena dapat meningkatkan resistensi mikroba terhadap represi katabolit atau penghambatan sintesis enzim pada kondisi substrat melimpah. Selain itu, fermentasi

substrat padat memungkinkan pemanfaatan hasil samping agroindustri menjadi produk dengan nilai jual yang lebih tinggi (Rudakiya, 2019). Studi biotransformasi ampas tahu menjadi benzaldehid dengan metode fermentasi substrat padat menggunakan konsorsium bakteri-kapang berpotensi menjadi cara alternatif dalam meningkatkan produksi perisa almond alami dengan memanfaatkan hasil samping produksi dengan harga terjangkau.

Metode Penelitian

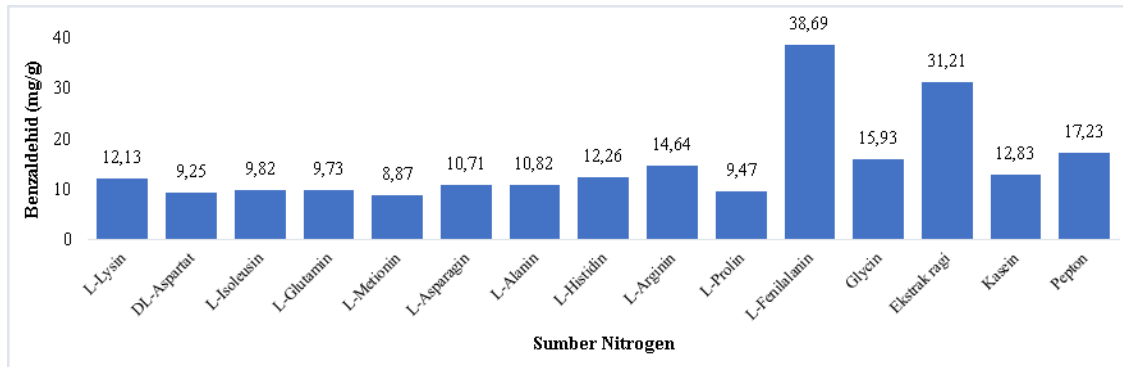
Penelitian dilakukan selama 2 bulan secara daring dengan metode deksriptif eksploratif dimana data-data yang diperoleh berasal dari laman publikasi GoogleScholar dan NCBI. Adapun jenis publikasi yang digunakan merupakan publikasi jurnal internasional yang berasal dari 25 tahun terakhir dengan kata kunci pencarian yaitu: biotransformasi, benzaldehid, *Rhizopus oligosporus*, *Pseudomonas putida*, biofilm, dan *solid state fermentation*. Berdasarkan pencarian diperoleh 576 jurnal terkait, dimana dipilih 25 jurnal utama sebagai sumber data dan pembahasan pada penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

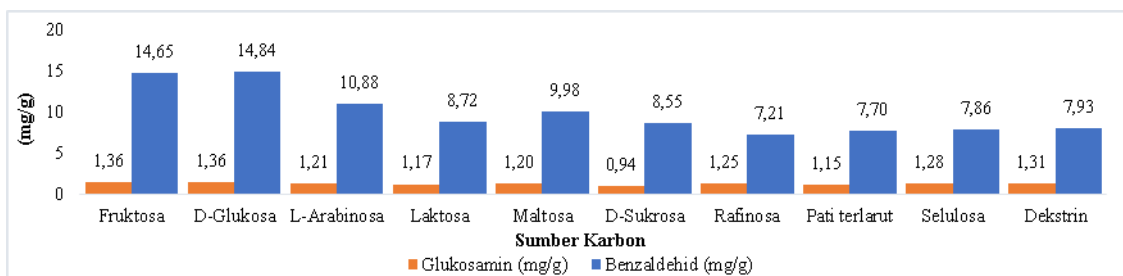
1. Biosintesis Benzaldehid pada *P. putida* dan *R. oligosporus*

Produksi senyawa benzaldehid pada bakteri seperti *P. putida*, umumnya diperoleh dari oksidasi senyawa fenilasetaldehid yang merupakan produk turunan dari L-Fenilalanin (L-Phe) hasil metabolisme jalur *shikimate* yang merupakan permulaan biosintesis asam amino aromatic (Noda, Shirai, Oyama, & Kondo, 2016). Oksidasi fenilasetaldehid terjadi ketika sel pecah akibat pemanasan, pH tinggi dan penambahan ion logam yang mengoksidasi fenilasetaldehid dari sel menjadi benzaldehid dan senyawa aromatic lain. *P. putida* juga dapat memproduksi senyawa benzaldehid pada substrat dengan kandungan asam mandelate (Ben Akacha & Gargouri, 2015). Namun, produksi senyawa benzaldehid melalui bakteri dinilai kurang efisien karena memerlukan tahapan ekstraksi untuk mengeluarkan benzaldehid yang terdapat didalam sel.

Biosintesis benzaldehid pada jamur seperti kapang *R. oligosporus* secara hipotesis dapat terjadi melalui jalur *phenylalanine ammonia lyase* (PAL) dan jalur enzim aminotransferase (Norliza dan Ibrahim, 2005; Valera *et al.*, 2020). Pada jalur aminotransferase, asam amino aromatik berupa L-Phe akan secara langsung diubah menjadi benzaldehid (Norliza dan Ibrahim, 2005). Adapun pada jalur PAL, biotransformasi asam amino aromatik seperti L-Phe terjadi dengan memanfaatkan produk intermediet berupa asam *trans*-sinamat (*t*-CA) pada jalur tersebut (Hyun, Yun, Kim, & Kim, 2011; MacDonald & D'Cunha, 2007). Enzim PAL akan mendeaminasi L-Phe menjadi (*t*-CA) dan ammonia. (*t*-CA) kemudian secara hipotesis akan dilanjutkan menuju metabolisme senyawa aryl, dimana sebagian (*t*-CA) teroksidasi menjadi asam α -hidroksilfenilpropionat dan sebagian lainnya akan dihidroksilasi menjadi asam β -hidroksilfenilpropionat sebelum akhirnya terbentuk benzaldehid ekstraseluler (Norliza dan Ibrahim, 2005; Valera *et al.*, 2020).



A



B

Gambar 1

Pengaruh Substrat pada Produksi Benzaldehid pada Fungi (Norliza dan Ibrahim, 2005) Keterangan: (A) Pengaruh sumber karbon, (B) Pengaruh sumber nitrogen.

Berdasarkan penelitian Norliza dan Ibrahim 2005, biosintesis senyawa benzaldehid pada *R. oligosporus* dipengaruhi oleh sumber gula dan nitrogen dalam substrat. Suplementasi berbagai jenis gula pada kultur menunjukkan bahwa pengaruh gula pada pertumbuhan kultur berbanding lurus dengan produksi benzaldehid. D-glukosa memberikan respon pertumbuhan yang paling tinggi yang ditandai dengan produksi glukosamin yang terdeteksi. Suplementasi berbagai sumber nitrogen menunjukkan bahwa asam amino berupa L-Phe memberikan produksi benzaldehid tertinggi. Adapun grafik pengaruh sumber karbon dan nitrogen dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil penelitian tersebut terbukti bahwa pemberian substrat L-Phe secara langsung dapat memberikan hasil benzaldehid yang lebih tinggi dan dapat mempersingkat jalur metabolisme PAL.

2. Potensi Ampas Tahu pada Produksi Senyawa Benzaldehid

Kacang kedelai diketahui merupakan salah satu substrat dengan kandungan L-Phe yang relatif tinggi. Penelitian Feng *et al.* (2007) dan Chukeatirote *et al.* (2017) menunjukkan adanya aktifitas produksi senyawa benzaldehid pada *R. oligosporus* yang ditumbuhkan di media berbasis kacang kedelai. Penelitian Norliza dan Ibrahim (2005) juga mengkonfirmasi bahwa penggunaan produk turunan kedelai seperti ampas tahu dapat digunakan sebagai substrat biotransformasi L-Phe menjadi senyawa benzaldehid. Adapun penelitian mengenai produksi senyawa benzaldehid

dengan substrat berbasis kedelai dapat dilihat pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan ampas tahu sebagai substrat produksi benzaldehid sangat mungkin dapat dilakukan. Penggunaan ampas tahu pada proses produksi dapat mengurangi biaya produksi serta memberikan kondisi tumbuh alami pada mikroba.

Tabel 1
Produksi benzaldehid pada substrat berbasis kedelai

Mikroba	Jenis Substrat	Hasil	Referensi
<i>R. oligosporus</i>	Ampas tahu dan sekam padi	5.14 mg/g	(Norliza dan Ibrahim, 2005)
<i>R. oligosporus</i> , <i>B. Subtilis</i>	Kacang kedelai	1.55 mg/g	(Chukeatirote <i>et al.</i> , 2017)
<i>R. oligosporus</i>	Kacang kedelai	1.03 mg/g	(Chukeatirote <i>et al.</i> , 2017)(Chukeatirote <i>et al.</i> , 2017)
<i>B. Subtilis</i>	Kacang kedelai	3.24 mg/g	(Chukeatirote <i>et al.</i> , 2017)
Bakteri indigenous	Kacang kedelai	7.29 mg/g	(Chukeatirote <i>et al.</i> , 2017)
<i>R. oligosporus</i> , <i>L. plantarum</i>	Kacang kedelai dan jelai	-	(Feng <i>et al.</i> , 2007)

Keterangan: (-) data tidak tersedia

3. Resistensi Mikroba terhadap Benzaldehid

Toksitas benzaldehid terhadap mikroba terjadi akibat gugus fenol yang terdapat pada senyawa. Gugus fenol menyebabkan koagulasi intraselular pada komponen sitoplasma sehingga menyebabkan inhibisi pada pertumbuhan sel (Jing Li, Shi, Adhikari, & Tu, 2017). Pada mikroba yang dapat memetabolisme senyawa aromatik seperti benzaldehid, konsentrasi senyawa aromatik yang terlalu tinggi dapat meningkatkan stress oksidatif endogen menyebabkan gagalnya reaksi oksidasi dalam sel, kerusakan membran yang berujung pada kematian sel (Kim & Park, 2014). Pada fungi seperti *R. oligosporus*, senyawa aldehyd pada konsentrasi yang cukup tinggi dapat menghambat aktivitas metabolik hingga menghambat pertumbuhan dan sporulasi (Zhang, Merino, Okamoto, & Gedalanga, 2018).

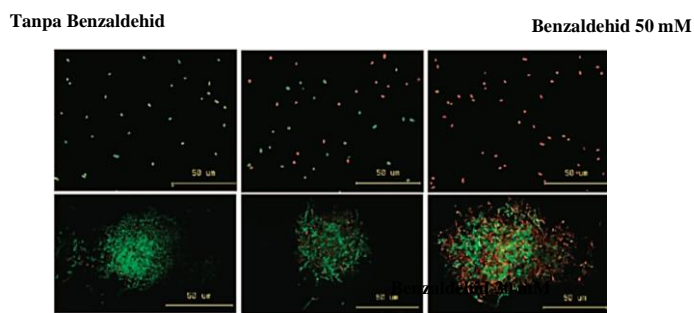
Disisi lain, *P. putida* merupakan salah satu mikroba dengan resistensi terhadap sifat antimikroba pada senyawa aromatik yang cukup tinggi. Hasil penelitian Molina *et al.* (2014) membuktikan bahwa biofilm pada *P. putida* meningkatkan resistensi terhadap berbagai senyawa antimikroba 3-40 kali lebih tinggi dibandingkan dengan sel *P. putida* planktonik. Adapun perbandingan resistensi senyawa antimikroba pada biofilm dan sel planktonik dapat dilihat pada Tabel 2. Polisakarida kapsular seperti alginat pada biofilm bersifat rekalsitran terhadap senyawa antimikroba dan berperan untuk mempertahankan kondisi lingkungan yang terkontrol, selain itu komponen biofilm lain berupa selulosa bakteri dan polisakarida berperan penting dalam mempertahankan stabilitas biofilm (Mann & Wozniak, 2012; Zhurina, Gannesen, Zdrovenko, & Plakunov, 2014).

Tabel 2
Resistensi Antimikroba *P. putida* Biofilm dan Planktonik (Molina et al., 2014)

Senyawa Antibiotik	<i>P. putida</i> Planktonik (MIC)	<i>P. putida</i> Biofilm (MBEC)
Tetracycline	8	2500
Kanamycin	10	1600
Gentamicin	20	1250
Nalidixic acid	30	625
Spectinomycin	30	1250
Rifampicin	2000	5000
Choramphenicol	376	1800
Ampicillin	625	12500
Amikacin	>100	625
Ceftriaxone	10	1600
Norfloxacin	10	75

Keterangan: Angka mengindikasikan nilai MIC ($\mu\text{g/mL}$) dan MBEC ($\mu\text{g/mL}$) yang dibutuhkan untuk menghambat 90% pertumbuhan dan menghancurkan biofilm

Berdasarkan penelitian Li *et al.* (2006), pengamatan resistensi sel biofilm dan sel planktonik *Zymomonas mobilis* menunjukkan terjadinya peningkatan resistensi hingga 20 mM pada sel penghasil biofilm. Seperti yang dapat diamati pada Gambar 2, ketika diberi perlakuan dengan 30 mM benzaldehid sebanyak kurang lebih 75% sel biofilm masih dapat mempertahankan aktivitas selnya, sedangkan pada sel planktonik hanya terdapat 50% yang masih bertahan pada konsentrasi tersebut. Pada konsentrasi benzaldehid 50 mM, sebanyak 45% sel biofilm masih dapat mempertahankan aktivitas selnya, sedangkan keseluruhan sel planktonik telah inaktif. Hasil penelitian tersebut mengkonfirmasi bahwa biofilm pada sel mikroba peningkatan resisten benzaldehid yang signifikan.



Gambar 2

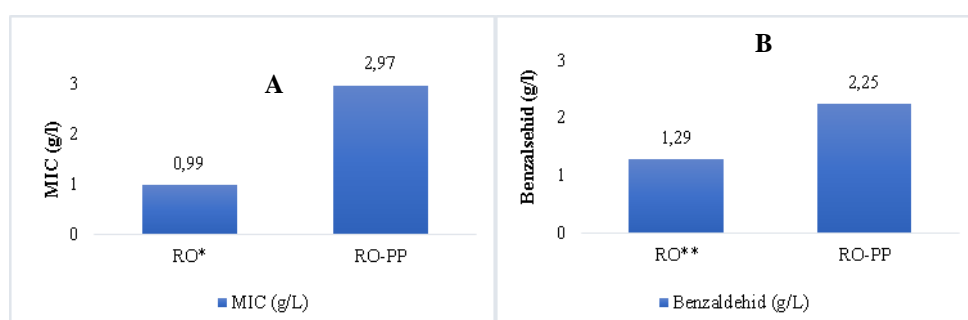
Uji kualitatif toksisitas benzaldehid pada sel biofilm dan planktonik (Li *et al.*, 2006)
Keterangan: (hijau) menandakan sel aktif dan (merah) menandakan sel inaktif

4. Potensi Konsorsium *R. oligosporus* dan *P. putida* terhadap Peningkatan Produksi dan Resistensi Senyawa Aromatik

Pada interaksi sinergis bakteri penghasil biofilm *P. putida* dan kapang *R. oligosporus*, biofilm yang dibentuk dan menempel pada permukaan hifa kapang diketahui dapat meningkatkan ketahanan fungi terhadap tekanan lingkungan melalui perlindungan matriks biofilm (Sun et al., 2011). Disisi lain, pada interaksi fungi-bakteri, fungi memungkinkan bakteri untuk berpindah melalui hifa untuk mencari nutrisi, serta meningkatkan bioaksesibilitas bakteri (Perera et al., 2019). Biofilm *P. putida* yang menempel pada hifa *R. oligosporus* diharapkan dapat meningkatkan ketahanan kultur terhadap sifat antimikroba benzaldehid sehingga dapat meningkatkan produksi benzaldehid melalui biotransformasi.

5. Prediksi Yield dan Resistensi Benzaldehid pada Biotransformasi Ampas Tahu dengan Konsorsium *R. oligosporus* dan *P. putida*

Pada penelitian (Norliza dan Ibrahim (2005) hasil biotransformasi benzaldehid dengan substrat ampas tahu dan sekam padi selama 4 hari menghasilkan yield dengan konsentrasi 1.3 g/L. Namun, diketahui bahwa rata-rata konsentrasi minimal inhibisi (MIC) benzaldehid untuk menghentikan pertumbuhan kapang adalah 0.99 g/L (Ullah et al., 2015). Penambahan waktu inkubasi pada proses biotransformasi *R. oligosporus* dari 4 hari menjadi 7 hari tidak akan meningkatkan konsentrasi yield akhir karena pada konsentrasi benzaldehid tersebut kapang akan cenderung berhenti tumbuh meskipun masih terdapat nutrisi dan substrat yang dibutuhkan untuk memproduksi benzaldehid.



Gambar 3

Yield dan resistensi benzaldehid pada monokultur dan konsorsium

Keterangan: (A) Resistensi benzaldehid, (B) Yield benzaldehid, (RO*) *R. oligosporus*, (RO) *R. oligosporus* (Norliza dan Ibrahim, 2005), (RO-PP) *R. oligosporus-P.putida* (prediksi)**

Berdasarkan penelitian Molina *et al.* (2014) diketahui bahwa biofilm *P. putida* meningkatkan resistensi kultur terhadap senyawa antimikroba sedikitnya 3 kali lipat dari konsentrasi yang dibutuhkan untuk inaktivasi sel non-biofilm. Berdasarkan informasi tersebut, penambahan *P. putida* pada kultur *R. oligosporus* juga akan meningkatkan ketahanan kultur terhadap aktifitas antimikroba benzaldehid. Hasil perhitungan prediksi menunjukkan bahwa biofilm *P. putida* meningkatkan MIC benzaldehid *R. oligosporus* menjadi 2.97 g/L. Penambahan

waktu inkubasi menjadi 7 hari pada proses biotransformasi konsentrasi benzaldehid yang dapat diperoleh dibandingkan biotransformasi hanya dengan *R. oligosporus*. Berdasarkan perhitungan prediksi, penggunaan konsorsium *R. oligosporus* dan *P. putida* pada fermentasi substrat padat ampas tahu dapat menghasilkan benzaldehid dengan konsentrasi sebesar 2.25 g/L pada hari ke-7. Perbandingan yield benzaldehid dari hasil biotransformasi dapat dilihat pada Gambar 3.

6. Strategi Produksi dan Pemisahan Benzaldehid dengan Resin HP20

Pada berbagai penelitian terdahulu telah teruji bahwa kromatografi resin dapat meningkatkan produksi senyawa aromatik seperti benzaldehid pada mikroorganisme. Resin HP20 merupakan salah satu resin yang terjangkau dan memiliki kemampuan tinggi dalam meningkatkan stabilitas produksi senyawa aromatic (Le Goff, Adelin, Cortial, Servy, & Ouazzani, 2013). Berdasarkan penelitian Lomascolo *et al.* (2001), diketahui bahwa penambahan resin pada kultur *Trametes suaveolens* CBS 334.85 dapat meningkatkan konsentrasi benzaldehid dari 33 mg/L menjadi 710 mg/L. Peningkatan yied yang diperoleh terjadi akibat resin mencegah benzaldehid dimetabolisme kembali menjadi benzil alkohol. Proses pemisahan benzaldehid dari substrat pasca-fermentasi dapat dilakukan dengan mudah, karena hifa yang tumbuh diantara resin membentuk suatu lapisan yang menyebabkan resin menjadi mudah dipisahkan. Adapun lapisan hifa pada resin dapat dilihat pada Gambar 4.

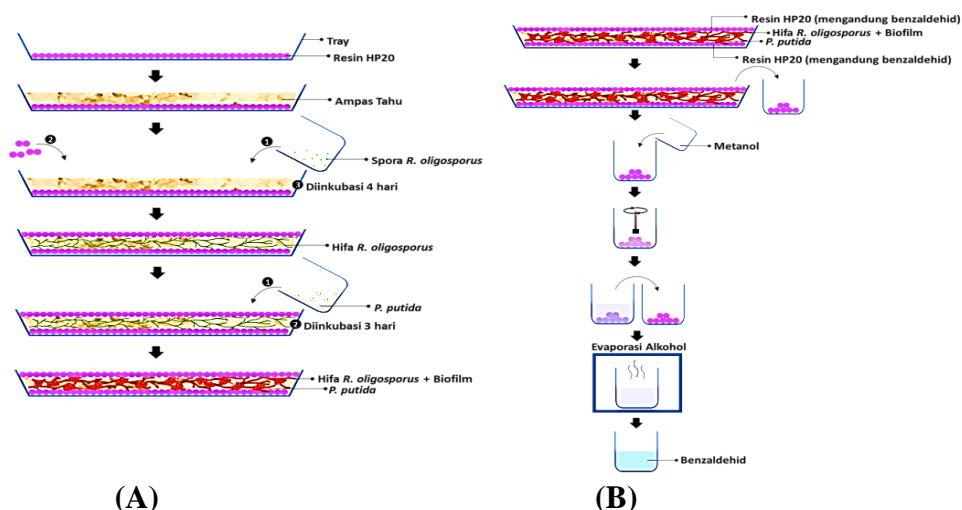


Gambar 4

Hifa Kapang dan Resin HP20 pada Fermentasi Substrat Padat (Le Goff et al., 2013)

Penggunaan *tray* sebagai medium biotransformasi dilakukan untuk mencegah peningkatan suhu yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba dibagian tengah substrat akibat panas hasil metabolisme mikroba yang terperangkap (Bück, Casciatori, Thoméo, & Tsotsas, 2015). Tray juga memaksimalkan pemerangkapan benzaldehid ekstraselular oleh resin HP20 yang diletakkan dibagian atas dan bawah substrat ampas tahu, dimana resin di bagian atas digunakan untuk menangkap benzaldehid volatil sedangkan resin di bagian bawah digunakan untuk mengikat benzaldehid pada bagian bawah substrat. Penambahan resin dibagian atas substrat dilakukan setelah spora *R. oligosporus* ditambahkan, sedangkan penambahan inokulum *P. putida* dilakukan setelah *R. oligosporus* diinkubasi selama 4 hari. Hal tersebut dilakukan karena pada waktu tersebut akumulasi benzaldehid mencapai

batas maksimal toleransi akumulasi benzaldehid oleh *R. oligosporus*. Penambahan inokulum *P. putida* setelah 4 hari inkubasi juga dilakukan untuk mencegah biofilm yang terbentuk terlalu tebal dan mengganggu difusi oksigen yang dibutuhkan oleh *R. oligosporus* (Halan *et al.*, 2011). Adapun ilustrasi gambaran tahapan produksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5

Ilustrasi metode biotransformasi dengan konsorsium kapang-bakteri dan resin HP20 Keterangan: (A) Tahapan proses biotransformasi, (B) Tahapan pemisahan benzaldehid

Kesimpulan

Biotransformasi merupakan metode yang sangat potensial untuk digunakan pada proses produksi perisa alami. Berdasarkan penelitian terdahulu, penggunaan kapang dan bakteri diketahui dapat mengatasi hambatan produksi benzaldehid atau senyawa aroma almond melalui proses biotransformasi. Biofilm *P. putida* diketahui dapat meningkatkan resistensi mikroba terhadap aktifitas senyawa antimikroba seperti benzaldehid. Hasil perhitungan prediksi menunjukkan bahwa penggunaan konsorsium *R. oligosporus* dan *P. putida* dapat memberikan yield benzaldehid dengan konsentrasi mencapai 2.25 g/L. Nilai tersebut 74% lebih tinggi dibandingkan pada proses biotransformasi benzaldehid monokultur *R. oligosporus*. Penggunaan ampas tahu dipilih karena merupakan substrat yang terjangkau dan memiliki kandungan asam amino tinggi, sedangkan resin HP20 digunakan untuk meningkatkan kestabilan produk selama produksi.

BIBLIOGRAFI

- Ben Akacha, Najla, & Gargouri, Mohamed. (2015). Microbial and enzymatic technologies used for the production of natural aroma compounds: Synthesis, recovery modeling, and bioprocesses. *Food and Bioproducts Processing*, 94(September 2014), 675–706.
- Bück, A., Casciatori, F. P., Thoméo, J. C., & Tsotsas, E. (2015). NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). ScienceDirect Model-based control of enzyme yield in solid-state fermentation. *Procedia Engineering*, 102, 362–371.
- Chukeatirote, E., Eungwanichayapant, P. D., & Kanghae, A. (2017). Determination of volatile components in fermented soybean prepared by a co-culture of bacillus subtilis and rhizopus oligosporus. *Food Research*, 1(6), 225–233.
- Dastanger, Syed. (2009). Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues* (pp. 105–127).
- Erten, Edibe Seda. (2016). *Characterization of Aroma Components of Raw and Roasted*.
- Feng, J., Liu, X., Xu, Z. R., Lu, Y. P., & Liu, Y. Y. (2007). The effect of *Aspergillus oryzae* fermented soybean meal on growth performance, digestibility of dietary components and activities of intestinal enzymes in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 134(3–4), 295–303.
- Frey-Klett, P., Burlinson, P., Deveau, A., Barret, M., Tarkka, M., & Sarniguet, A. (2011). Bacterial-Fungal Interactions: Hyphens between Agricultural, Clinical, Environmental, and Food Microbiologists. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 75(4), 583–609.
- Geng, Huiling, Yu, Xinchu, Lu, Ailin, Cao, Haoqiang, Zhou, Bohang, Zhou, Le, & Zhao, Zhong. (2016). Extraction, chemical composition, and antifungal activity of essential oil of bitter almond. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9).
- Gunawan, W. (2009). Kualitas Dan Nilai Minyak Atsiri , Implikasi pada Pengembangan Turunannya. *Himpunan Kimia Indonesia Jawa Tengah. Kimia Bervisi SETS (Science, Environment, Technology, Society) Kontribusi Bagi Kemajuan Pendidikan Dan Industri, Diselenggarakan Himpunan Kimia Indonesia Jawa Tengah, Pada Tanggal 21*, 1–11.
- Halan, Babu, Schmid, Andreas, & Buehler, Katja. (2011). Real-time solvent tolerance analysis of *Pseudomonas* sp. Strain VLB120ΔC catalytic biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1563–1571.
- Hyun, Min Woo, Yun, Yeo Hong, Kim, Jun Young, & Kim, Seong Hwan. (2011). Fungal and plant phenylalanine ammonia-lyase. *Mycobiology*, 39(4), 257–265.

- Kim, Jisun, & Park, Woojun. (2014). Oxidative stress response in *Pseudomonas putida*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 98, 6933–6946.
- Le Goff, Géraldine, Adelin, Emilie, Cortial, Sylvie, Servy, Claudine, & Ouazzani, Jamal. (2013). Application of solid-phase extraction to agar-supported fermentation. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 36(9), 1285–1290.
- Li, Jing, Shi, Suan, Adhikari, Sushil, & Tu, Maobing. (2017). Inhibition effect of aromatic aldehydes on butanol fermentation by *Clostridium acetobutylicum*. *RSC Advances*, 7(3), 1241–1250.
- Li, Shuhong, Zhu, Dan, Li, Kejuan, Yang, Yingnan, Lei, Zhongfang, & Zhang, Zhenya. (2013). Soybean Curd Residue: Composition, Utilization, and Related Limiting Factors. *ISRN Industrial Engineering*, 2013, 1–8.
- Li, Xuan Zhong, Webb, Jeremy S., Kielleberg, Staffan, & Rosche, Bettina. (2006). Erratum: Enhanced benzaldehyde tolerance in *Zymomonas mobilis* biofilms and the potential of biofilm applications in fine-chemical production (Applied and Environmental Microbiology [2006]72,2[1639-1644]). *Applied and Environmental Microbiology*, 72(8), 5678.
- Li, Xuemin, Liu, Yinan, Hao, Jianxiu, & Wang, Weihong. (2018). Study of almond shell characteristics. *Materials*, 11(9).
- Lomascolo, A., Asther, M., Navarro, D., Antona, C., Delattre, M., & Lesage-Meessen, L. (2001). Shifting the biotransformation pathways of L-phenylalanine into benzaldehyde by *Trametes suaveolens* CBS 334.85 using HP20 resin. *Letters in Applied Microbiology*, 32(4), 262–267.
- MacDonald, M. Jason, & D’Cunha, Godwin B. (2007). A modern view of phenylalanine ammonia lyase. *Biochemistry and Cell Biology*, 85(3), 273–282.
- Mann, & Wozniak. (2012). *Pseudomonas* biofilm matrix composition and niche biology. *Physiology & Behavior*, 176(3), 139–148.
- Molina, Lázaro, Udaondo, Zulema, Duque, Estrella, Fernández, Matilde, Molina-Santiago, Carlos, Roca, Amalia, Porcel, Mario, De La Torre, Jesús, Segura, Ana, Plesiat, Patrick, Jeannot, Katy, & Ramos, Juan Luis. (2014). Antibiotic resistance determinants in a *Pseudomonas putida* strain isolated from a hospital. *PLoS ONE*, 9(1).
- Noda, Shuhei, Shirai, Tomokazu, Oyama, Sachiko, & Kondo, Akihiko. (2016). Metabolic design of a platform *Escherichia coli* strain producing various chorismate derivatives. *Metabolic Engineering*, 33, 119–129.
- Norliza, A. W., & Ibrahim, C. O.*. (2005). The production of Benzaldehyde by *Rhizopus oligosporus* USM R1 in a Solid State Fermentation (SSF) System of Soy Bean Meal: rice husks. *Malaysian Journal of Microbiology*, 1(2), 17–24.

- Perera, Madushika, Wijayarathna, Dilrukshi, Wijesundera, Sulochana, Chinthaka, Manoj, Seneviratne, Gamini, & Jayasena, Sharmila. (2019). Biofilm mediated synergistic degradation of hexadecane by a naturally formed community comprising *Aspergillus flavus* complex and *Bacillus cereus* group. *BMC Microbiology*, 19(1).
- Poornima, K., & Preetha, R. (2017). Biosynthesis of food flavours and fragrances - A review. *Asian Journal of Chemistry*, 29(11), 2345–2352.
- Rudakiya, Darshan M. (2019). Strategies to improve solid-state fermentation technology. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: From Cellulose to Cellulase: Strategies to Improve Biofuel Production*, (January), 155–180.
- Sun, Zhoutong, Ning, Yuanyuan, Liu, Lixia, Liu, Yingmiao, Sun, Bingbing, Jiang, Weihong, Yang, Chen, & Yang, Sheng. (2011). Metabolic engineering of the L-phenylalanine pathway in *Escherichia coli* for the production of S- or R-mandelic acid. *Microbial Cell Factories*, 10(1), 71.
- Ullah, Ihsan, Khan, Abdul Latif, Ali, Liaqat, Khan, Abdur Rahim, Waqas, Muhammad, Hussain, Javid, Lee, In Jung, & Shin, Jae Ho. (2015). Benzaldehyde as an insecticidal, antimicrobial, and antioxidant compound produced by *Photothabdus temperata* M1021. *Journal of Microbiology*, 53(2), 127–133.
- Valera, Maria Jose, Boido, Eduardo, Ramos, Juan Carlos, Manta, Eduardo, Radi, Rafael, Dellacassa, Eduardo, & Carrau, Francisco. (2020). The mandelate pathway, an alternative to the PAL pathway for the synthesis of benzenoids in yeast. *Applied and Environmental Microbiology*, (June).
- Zhang, Shu, Merino, Nancy, Okamoto, Akihiro, & Gedalanga, Phillip. (2018). Interkingdom microbial consortia mechanisms to guide biotechnological applications. *Microbial Biotechnology*, 11(5), 833–847.
- Zhurina, M. V., Gannesen, A. V., Zdrovenko, E. L., & Plakunov, V. K. (2014). Composition and functions of the extracellular polymer matrix of bacterial biofilms. *Microbiology (Russian Federation)*, 83(6), 713–722.