

SOLID-STATE FERMENTATION DENGAN VARIASI MIKROORGANISME

SOLID-STATE FERMENTATION WITH VARIOUS MICROORGANISMS

Eugenia Gabriella Christo¹, Anita Maya Sutedja²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

²Dosen Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
foodtech.eugenia.g.21@ukwms.ac.id

Abstrak

Fermentasi merupakan proses pertumbuhan mikroorganisme pada suatu substrat tertentu untuk meningkatkan nilai gizi suatu bahan pangan. Fermentasi padat (Solid-State Fermentation) merupakan proses fermentasi pada substrat padat yang tidak menggunakan media cair. Solid-State Fermentation sering digunakan karena menggunakan lebih sedikit air yang dapat membantu menghemat biaya. Mikroorganisme yang digunakan dalam Solid-State Fermentation mayoritas menggunakan kapang kelompok Rhizopus, Aspergillus, dan Trichoderma, untuk khamir mayoritas Saccharomyces cerevisiae, dan bakteri yaitu kelompok Bacillus dan Bakteri Asam Laktat (BAL) seperti Lactobacillus. Proses Solid-State Fermentation bergantung terhadap jenis substrat dan mikroorganisme yang digunakan. Suhu inkubasi yang digunakan dalam proses Solid-State Fermentation spesifik pada jenis mikroorganismenya. Jenis mikroorganisme yang digunakan dalam proses Solid-State Fermentation menyesuaikan dengan spesifikasi substrat. Variasi mikroorganisme yang digunakan menghasilkan berbagai enzim yang berbeda, namun kandungan protein dan lemak pada hasil fermentasi akan meningkat serta kandungan karbohidrat akan berkurang. Metabolit sekunder yang dihasilkan dari proses fermentasi dengan variasi mikroorganisme serupa yaitu kandungan fenol meningkat seiring lama waktu fermentasi hingga batas tertentu dan perlahan akan mengalami penurunan.

Kata kunci : fermentasi padat, kapang, khamir, bakteri

Abstract

Fermentation is the process of growing microorganisms on a certain substrate to increase the nutritional value of a food ingredient. Solid-State Fermentation is a fermentation process on a solid substrate that does not use liquid media. Solid-State Fermentation is often used because it uses less water which can help save costs. The majority of microorganisms used in Solid-State Fermentation use molds from the Rhizopus, Aspergillus, and Trichoderma groups, for yeast the majority is Saccharomyces cerevisiae, and bacteria, namely the Bacillus group and Lactic Acid Bacteria (LAB) such as Lactobacillus. The Solid-State Fermentation process depends on the type of substrate and microorganisms used. The incubation temperature used in the Solid-State Fermentation process is specific to the type of microorganism. The types of microorganisms used in the Solid-State Fermentation process depend on the substrate specifications. The variety of microorganisms used produces various different enzymes, however the protein and fat content in the fermentation results will increase and the carbohydrate content will decrease. Secondary metabolites produced from the fermentation process with a variety of microorganisms are similar; namely the phenol content increases with the length of fermentation time to a certain limit and will slowly decrease.

Keywords: solid-state fermentation, mold, yeast, bacteria

PENDAHULUAN

Fermentasi merupakan proses pertumbuhan mikroorganisme pada suatu substrat tertentu yang dapat merubah gula menjadi asam, gas, dan alkohol. Fermentasi merupakan salah satu metode pengolahan

yang sudah ada sejak lama dan ekonomis, sehingga mampu meningkatkan sifat sensoris dan kandungan bahan fungsional yang dapat meningkatkan nilai gizi makanan (Bai et al., 2024). Fermentasi sudah ada dan digunakan

sejak beberapa dekade lalu. Fermentasi menghasilkan produk pangan yang populer di kalangan masyarakat di seluruh dunia. Setiap negara memiliki produk pangan fermentasinya masing-masing, contohnya seperti sayur asin dan tempe dari Indonesia, kimchi dari Korea, natto dari Jepang, dan tentunya masih banyak lagi.

Fermentasi terdiri dari 2 jenis, yaitu *Submerged Fermentation* dan *Solid-State Fermentation*. Perbedaan kedua jenis fermentasi ini dapat dilihat pada persentase kadar air substrat yang digunakan. *Submerged Fermentation* (SmF) merupakan proses fermentasi yang menggunakan substrat cair atau di dalam media cair, sedangkan *Solid-State Fermentation* (SSF) merupakan proses fermentasi pada substrat padat yang tidak menggunakan media cair. *Solid-State Fermentation* lebih disukai oleh banyak negara berkembang karena hemat biaya dan kebutuhan air yang lebih sedikit (Khootama et al., 2018).

Solid-State Fermentation dapat menggunakan khamir, bakteri, dan mayoritas menggunakan jamur berfilamen (kapang). Kapang yang mayoritas digunakan seperti *Rhizopus oligosporus* (Hur et al., 2018; Ibarruri et al., 2021; Lee et al., 2020; Lim et al., 2022, 2023; Starzyńska-Janiszewska et al., 2021), *Aspergillus niger* (Ahmed et al., 2021; Carlos et al., 2020; Khootama et al., 2018; Prabaningtyas et al., 2018), dan *Trichoderma* spp. (Kritsadaruangchai et al., 2019; Said et al., 2022). Spesies khamir yang mayoritas digunakan seperti *Saccharomyces cerevisiae* (Aruna et al., 2017; Călinoiu et al., 2019; Hawashi et al., 2019), dan bakteri yang digunakan seperti *Bacillus subtilis* (Konkol et al., 2023; Moharam et al., 2023; Xiao et al., 2023), *Streptomyces* spp. (Bl et al., 2022; Dominguez et al., 2021), dan *Lactobacillus* (Meng et al., 2023). Fermentasi dapat

berlangsung dengan adanya mikroorganisme yang bersifat kultur murni, atau kultur campuran dari satu jenis, ataupun kultur campuran dari beberapa jenis. Dalam *review* ini, akan dikaji proses fermentasi dan hasil produk dari setiap penggunaan mikroorganisme yang berbeda.

MIKROORGANISME YANG BERPERAN DALAM *SOLID-STATE FERMENTATION*

Mikroorganisme yang dapat digunakan dalam *Solid-State Fermentation* sangat bervariasi bergantung dengan produk yang ingin dihasilkan. Setiap jenis mikroorganisme memiliki peran dan kelebihan masing-masing sehingga dapat digunakan dalam proses fermentasi. Jenis mikroorganisme yang digunakan antara lain kapang (jamur berfilamen), khamir, dan bakteri. Ketiga jenis mikroorganisme ini memiliki peran, salah satunya untuk menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana.

Kapang yang digunakan dalam *Solid-State Fermentation* berkembang biak dengan spora, dan akan tumbuh miselium putih yang menandakan bahwa kapang telah tumbuh. Kapang umumnya dapat hidup pada substrat yang mengandung sumber karbon organik. Kapang seperti *Trichoderma* dan *Ascomycetes* memiliki kemampuan untuk mencerna substrat kompleks seperti selulosa dan lignin (Bohacz & Kornilłowicz-Kowalska, 2020). Kapang seperti *Rhizopus* sp. banyak digunakan untuk memproduksi enzim amilase, protease, dan lipase yang digunakan untuk menguraikan substrat menjadi senyawa lebih sederhana (Suzuki et al., 2021).

Khamir menggunakan senyawa organik sebagai sumber energi untuk pertumbuhannya dan tidak membutuhkan sinar matahari.

Khamir dapat tumbuh lebih cepat dibandingkan kapang yang tumbuh dengan pembentukan filamen. Pertumbuhan khamir umumnya perlu penambahan unsur C, N, dan P. Khamir filum *Ascomycota* seperti *Saccharomyces cerevisiae* mayoritas digunakan dalam fermentasi dengan mengubah gula menjadi alkohol, asam organik dan senyawa lainnya (J. Li et al., 2021).

Bakteri seperti *Bacillus* juga dapat memproduksi enzim seperti amilase, protease, dan lipase serta bakteri asam laktat (BAL) dapat melakukan proses fermentasi laktat yang dapat menghasilkan produk seperti asam laktat (Nofiani et al., 2022), dan ada bakteri asam asetat (BAA) yang dapat menghasilkan produk asam asetat. Ketika kapang, khamir, dan atau bakteri disatukan dapat menghasilkan produk yang berguna dalam lingkup industri, seperti biji kefir yang terbentuk dari hubungan simbiosis antara bakteri asam laktat, bakteri asam asetat, dan khamir (Li et al., 2023).

FAKTOR INTERNAL MIKROORGANISME DALAM PROSES SOLID-STATE FERMENTATION

Solid-State Fermentation merupakan proses fermentasi yang melibatkan pertumbuhan mikroorganisme pada substrat padat, tanpa adanya aliran air. Mikroorganisme yang diinokulasikan akan mengalami pertumbuhan di dalam substrat

dengan menggunakan nutrisi yang ada. Mikroorganisme yang dapat digunakan seperti kapang, khamir, dan bakteri. Proses *Solid-State Fermentation* dengan variasi mikroorganisme dapat mempengaruhi suhu dan lama waktu fermentasi. Perlakuan proses berbagai jenis mikroorganisme seperti kapang, khamir, dan bakteri dapat dilihat pada Tabel 1.

Suhu Optimum Mikroorganisme untuk Solid-State Fermentation

Kapang tumbuh dengan proses *Solid-State Fermentation* melalui proses inkubasi dengan suhu 30°C. *Rhizopus* memiliki suhu pertumbuhan optimum 30-35°C, minimum 12°C, dan maksimum 42°C (Sine & Soetarto, 2018). *Aspergillus niger* tumbuh optimum pada suhu 35-37°C dengan suhu minimum 6-8°C dan suhu maksimum 45-47°C (Marlinda et al., 2017). *Trichoderma* sp tumbuh optimal juga pada suhu 30°C (Triasih et al., 2022). Khamir dapat juga digunakan dalam proses *Solid-State Fermentation*. Khamir yang mayoritas digunakan yaitu *Saccharomyces cerevisiae* yang umumnya disebut ragi roti. *Saccharomyces cerevisiae* dapat tumbuh di suhu minimum 12°C dan suhu maksimum 40°C dengan suhu optimum 29-35°C (Lip et al., 2020). Suhu optimum dari bakteri berbeda-beda antara 30-37°C. *Bacillus* tumbuh pada suhu 25-37°C (Koni et al., 2017) dan *Lactobacillus* tumbuh pada 30-40°C (Slizewska & Chlebicz-Wójcik, 2020).

Tabel 1. Proses *solid-state fermentation* dengan berbagai macam jenis mikroorganisme

Spesies	Jumlah Substrat	Jumlah Inokulum	Suhu Fermentasi	Lama Waktu Fermentasi	Referensi
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Daun ginseng (5 g)	3x10 ⁵ spora/g	30°C	10 hari	(Lim et al., 2023)
	Bubuk kunyit (10 g)	10% (10 ⁶ spora/ml)	30°C	7 hari	(Lim et al., 2022)
	Quinoa (150 g)	1x10 ⁴ spora/g	30°C	5 hari	(Hur et al., 2018)
	Buah dan sayur	10 ⁷ CFU/g	30°C	8 hari	(Ibarruri et al., 2021)
	Biji gandum	3x10 ⁶ spora/100g	30°C	4 hari	(Starzyńska-Janiszewska et al., 2021)
<i>Rhizopus oryzae</i>	Kacang kedelai	5%	30°C	120 jam	(Chen et al., 2023)
	<i>Grape pomace</i>	25%	27°C	15 hari	(Šelo et al., 2023)
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Castilla rose</i> (3 g)	N/A	30°C	60 jam	(Carlos et al., 2020)
	Kulit satkara	1 ml	30°C	72 jam	(Ahmed et al., 2021)
<i>Trichoderma spp.</i>	Bubuk teh (5 g)	0,5 ml	30°C	7 hari	(Said et al., 2022)
<i>Trichoderma reesei</i>	Ampas sagu (10 g)	10 ml	30°C	10 hari	(Kritsadaruangchai et al., 2019)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Daun singkong (50 g)	14 ml (1,9x10 ⁸ CFU/g)	30°C	4 hari	(Hawashi et al., 2019)
	Dedak gandum (100 g)	5 ml (1x10 ⁷ CFU/ml)	30°C	6 hari	(Călinoiu et al., 2019)
	Dedak oat (100 g)	5 ml (1x10 ⁷ CFU/ml)	30°C	6 hari	(Călinoiu et al., 2019)
	Kulit bengkuang (50 g)	15 ml (2,6x10 ⁸ CFU/ml)	27°C	4 hari	(Aruna et al., 2017)
<i>Bacillus pumilus</i>	Kacang faba giling (100 g)	100 ml (1x10 ⁸ CFU/ml)	37°C	3 hari	(Xu et al., 2023)
<i>Bacillus subtilis</i>	Teh hitam (20 g)	4 ml	37°C	8 hari	(Xiao et al., 2023)
	Tepung (10 g)	N/A	30°C	6 hari	(Moharam et al., 2023)
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Susu kacang (200 ml)	6,3 log CFU/ml	37°C	1 hari	(Meng et al., 2023)
<i>Trichoderma reesei</i> dan <i>Aspergillus niger</i>	Kulit jeruk	10%	28°C	10 hari	(Xue et al., 2022)
<i>Lactobacillus plantarum</i> dan <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Barley</i>	1x10 ⁷ CFU/mL	30°C	24 jam	(Bai et al., 2024)
<i>Rhizopus strain</i> dan <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Kacang kedelai	N/A	30°C	72 jam	(Maryati et al., 2019)

Keterangan : N/A = not available

Jenis Substrat dan Lama Waktu *Solid-State Fermentation*

Proses *Solid-State Fermentation* bergantung terhadap jenis mikroorganisme, suhu optimum mikroorganisme, serta jenis substrat yang digunakan. Suhu yang digunakan sesuai dengan suhu optimum masing-masing spesies mikroorganisme, namun lama waktu fermentasi setiap jenis substrat berbeda-beda (Tabel 1). Beberapa faktor penyebab lama waktu fermentasi, antara lain jumlah substrat yang digunakan, jumlah inokulum yang ditambahkan, dan komposisi dari substrat yang digunakan. Penambahan inokulum yang semakin banyak maka semakin cepat proses fermentasi berlangsung (Montesqrit et al., 2022). Komposisi dari substrat yang berbeda dapat membuat lama waktu fermentasi berbeda pula, seperti adanya serat kompleks pada substrat, kadar air yang sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme, dan struktur substrat. Buah dan sayur memiliki kandungan serat kompleks yang lebih susah untuk dicerna oleh kapang sehingga membutuhkan waktu fermentasi yang lebih lama (Prasetio et al., 2021). Ampas sagu membutuhkan waktu lebih lama karena struktur fisik yang lebih padat dan kompak sehingga kapang lebih lama dalam merombak bahan organik dalam substrat. Daun singkong dan kulit bengkuang mengandung kadar air yang sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme yang dapat membantu proses fermentasi sehingga membutuhkan waktu lebih sedikit.

Mikroorganisme kapang dapat tumbuh optimal pada substrat yang mengandung karbohidrat seperti biji-bijian dan limbah pertanian seperti ampas. Khamir seperti *Saccharomyces cerevisiae* cocok pada bahan yang merupakan sumber karbohidrat dalam bentuk serat dan gula (Anggrayeni et al.,

2019), yang difermentasi dalam keadaan kering (Tabel 1). Bakteri seperti *Bacillus* sesuai untuk substrat biji-bijian dan BAL seperti *Lactobacillus* sesuai untuk substrat yang kaya akan gula, salah satunya seperti susu.

HASIL *SOLID-STATE FERMENTATION* DENGAN VARIASI MIKROORGANISME

Solid-State Fermentation juga dapat meningkatkan nutrisi dan nilai gizi dari produk yang dihasilkan. Analisa proksimat yang umum diuji sebelum dan sesudah fermentasi terkait kadar karbohidrat, protein, dan lemak dapat dilihat pada Tabel 2, dan peningkatan kandungan total fenol selama fermentasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Analisa Proksimat

Pada fermentasi kacang faba dengan *Bacillus pumilus* terjadi peningkatan kadar protein dan kadar lemak, serta penurunan karbohidrat. Peningkatan protein disebabkan karena adanya enzim protease yang sangat aktif memecah protein molekul besar menjadi kecil dan digunakan oleh mikroorganisme untuk proses metabolisme selanjutnya yang dapat mensintesis protein baru (Xu et al., 2023). Kadar karbohidrat menurun karena karbohidrat didegradasi oleh enzim amilase yang dihasilkan *Bacillus pumilus* menjadi gula dan asam organik (Xu et al., 2023). Kadar lemak mengalami peningkatan karena *Bacillus* dapat menghasilkan enzim lipase yang dapat merombak senyawa kompleks menjadi lebih sederhana.

Fermentasi dengan substrat kulit bengkuang dan daun singkong, terjadi peningkatan kadar protein dan lemak, namun terjadi penurunan kadar karbohidrat. Enzim ekstraseluler yang dihasilkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* dan dengan

penambahan urea sebagai sumber nitrogen saat fermentasi menghasilkan peningkatan kadar nitrogen (Hawashi et al., 2019). Penurunan karbohidrat disebabkan karena *Saccharomyces cerevisiae* dapat menghidrolisis karbohidrat kompleks menjadi gula yang dapat digunakan sebagai sumber karbon (Hawashi et al., 2019).

Pada penelitian Bai et al. (2024), fermentasi *barley* dengan bakteri *Lactobacillus plantarum*, khamir *Saccharomyces cerevisiae*, maupun gabungan dari dua spesies bakteri dan khamir ini, didapatkan hasil yang sama yaitu peningkatan kadar protein dan penurunan kadar karbohidrat. Peningkatan kadar protein pada kombinasi dua spesies bakteri dan khamir terlihat paling tinggi, hal ini disebabkan kedua spesies tersebut bekerja sama dan saling melengkapi dengan memperkuat aktivitas proteolitik untuk memecah protein menjadi asam amino. Penurunan kadar karbohidrat paling signifikan juga didapatkan dengan kombinasi dua spesies khamir dan bakteri tersebut dikarenakan jumlah mikroorganisme yang lebih banyak sehingga konsumsi karbohidrat lebih banyak dibandingkan fermentasi tunggal sehingga penurunannya lebih drastis (Bai et al., 2024).

Tabel 2. Komposisi karbohidrat, protein, dan lemak dalam substrat

Spesies	Substrat	Kadar karbohidrat (%)		Kadar protein (%)		Kadar lemak (%)		Referensi
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
<i>Bacillus pumilus</i>	Kacang faba	58,49 ± 0,07	54,72 ± 0,07	29,20	30,75	3,30 ± 0,04	4,54 ± 0,26	(Xu et al., 2023)

<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Daun singkong	68,03 ± 0,03	58,99 ± 0,03	10,08 ± 0,04	16,07 ± 0,02	1,86 ± 0,01	3,86 ± 0,02	(Hawashi et al., 2019)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Kulit bengkuang	78,81 ± 0,05	73,03 ± 0,11	6,60 ± 0,04	11,08 ± 0,00	1,12 ± 0,01	1,52 ± 0,03	(Aruna et al., 2017)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Barley	66,54 ± 2,37	28,44 ± 0,92	27,19 ± 2,88	33,22 ± 1,25	N/A	N/A	(Bai et al., 2024)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Barley	66,54 ± 2,37	29,59 ± 1,06	27,19 ± 2,88	39,54 ± 1,90	N/A	N/A	(Bai et al., 2024)
<i>Lactobacillus plantarum</i> dan <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Barley	66,54 ± 2,37	21,29 ± 0,96	27,19 ± 2,88	41,72 ± 1,59	N/A	N/A	(Bai et al., 2024)

Keterangan : N/A = not available

Total Phenol Content (TPC)

Kandungan total fenol diukur dengan metode Folin-Ciocalteu. Fermentasi dengan berbagai substrat diketahui adanya peningkatan kadar total fenol yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Total Phenol Content (TPC) semakin meningkat selama proses fermentasi. TPC pada fermentasi daun ginseng dengan *Rhizopus oligosporus* meningkat hingga puncaknya pada fermentasi setelah hari ke-3, kemudian mengalami penurunan perlahan. Hasil TPC pada substrat bubuk kunyit, awalnya meningkat hingga hari ke-3, kemudian menurun secara berturut-turut pada hari ke-5 dan ke-7. Kenaikan kandungan TPC disebabkan oleh enzim beta-glukosidase dan xilanase yang dihasilkan *Rhizopus oligosporus* dapat mendegradasi matriks dinding sel dan

menghasilkan senyawa polifenol (Hur et al., 2018; Lim et al., 2022, 2023). Kandungan total fenol meningkat karena pelepasan gugus gula terikat oleh enzim amilase dan terjadi pembentukan gugus hidroksil bebas (Šalić & Šamec, 2022).

Kulit jeruk yang difermentasi dengan dua spesies kapang yang berbeda, antara lain *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* dapat menghasilkan enzim xilanase, selulase, dan beta-glukosidase yang efektif dalam mendegradasi serat. Selulosa, lignin, dan hemiselulosa merupakan komponen utama serat, umumnya menggabungkan polifenol melalui ikatan eter, ester, atau glikosidik (Xue et al., 2022). *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* memiliki aktivitas xilanase yang sangat produktif dalam memfasilitasi penguraian hemiselulosa yang membuat pelepasan ikatan fenolik lebih mudah. (Xue et al., 2022).

Penelitian Meng et al. (2023) mengalami kenaikan TPC setelah fermentasi susu kedelai, susu kacang, dan susu buncis dengan *Lactobacillus fermentum*. Bakteri ini dapat menghasilkan enzim beta-glukosidase dan tannase yang dapat memecah ikatan glikosidik dan ester sehingga melepaskan senyawa fenolik terikat yang larut maupun tidak larut menjadi senyawa fenolik bebas (Meng et al., 2023).

Kandungan TPC pada dedak gandum pada fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* mengalami peningkatan pada hari ke-3, begitu pula pada dedak oat juga mengalami peningkatan TPC pada hari ke-4. Kerusakan dinding sel sereal yang disebabkan oleh fermentasi dapat menyebabkan pelepasan berbagai senyawa bioaktif (Călinoiu et al., 2019).

Tabel 3. Kandungan total fenol dalam substrat

Spesies	Substrat	TPC (mM GAE/g)			Referensi
		Sebelum	Puncak optimum	Setelah	
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Daun ginseng	32	42 (hari ke-3)	33 (hari ke-10)	(Lim et al., 2023)
	Bubuk kunyit	397 ± 8,8	584 ± 18 (hari ke-3)	461 ± 7,6 (hari ke-7)	(Lim et al., 2022)
	Quinoa	41	80 (hari ke-5)	80 (hari ke-5)	(Hur et al., 2018)
<i>Trichoderma reesei</i> dan <i>Aspergillus niger</i>	Kulit jeruk	1.147	6.982 (hari ke-7)	menurun hari ke-10	(Xue et al., 2022)
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Susu kedelai	1,33	1,60 (hari ke-1)	1,60 (hari ke-1)	(Meng et al., 2023)
	Susu kacang	1,05	1,21 (hari ke-1)	1,21 (hari ke-1)	(Meng et al., 2023)
	Susu buncis	0,73	0,78 (hari ke-1)	0,78 (hari ke-1)	(Meng et al., 2023)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Dedak gandum	0,39	0,84 ± 0,05 (hari ke-3)	0,48 (hari ke-6)	(Călinoiu et al., 2019)
	Dedak oat	0,25	0,45 ± 0,02 (hari ke-4)	0,27 (hari ke-6)	(Călinoiu et al., 2019)

Keterangan : GAE = gallic acid equivalent

KESIMPULAN

Solid-State Fermentation dengan menggunakan berbagai jenis mikroorganisme memberikan proses yang berbeda namun hasil yang didapatkan serupa. Jenis mikroorganisme yang digunakan memiliki suhu pertumbuhan yang spesifik terhadap suhu fermentasi, sedangkan jenis substrat yang berbeda berpengaruh terhadap lama waktu fermentasi. Jenis substrat mempengaruhi pemilihan

mikroorganisme dalam proses *Solid-State Fermentation*. Penggunaan mikroorganisme yang beragam menghasilkan enzim yang berbeda dan bervariasi, namun hasil fermentasi yang didapat serupa seperti peningkatan kadar protein dan lemak setelah fermentasi, penurunan kadar karbohidrat selama proses fermentasi, dan peningkatan kandungan fenol pada produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T., Rana, M. R., Zzaman, W., Ara, R., & Aziz, M. G. (2021). Optimization of substrate composition for pectinase production from Satkara (*Citrus macroptera*) peel using *Aspergillus niger*-ATCC 1640 in solid-state fermentation. *Heliyon*, 7(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08133>
- Anggrayeni, Y. T., Wijanarka, & Kusdiyantini, E. (2019). Isolasi dan Identifikasi Morfologi serta Biokimia Khamir Hasil Isolasi dari Buah Tomat (*Lycopersicum esculentum*) yang Berpotensi Menghasilkan Bioetanol. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 21(1), 16–24.
- Aruna, T. E., Aworh, O. C., Raji, A. O., & Olagunju, A. I. (2017). Protein enrichment of yam peels by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* (BY4743). *Annals of Agricultural Sciences*, 62(1), 33–37. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2017.01.002>
- Bai, J., He, L., Zhang, J., Gu, X., Wu, B., Wang, A., Zhu, Y., Zhang, J., Zhao, Y., Yuan, J., & Xiao, X. (2024). Influences of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* fermentation on the nutritional components, flavor property and lipid-lowering effect of highland barley. *Journal of Future Foods*, 4(3), 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.008>
- Bl, A., Borrero-I, A. M., Dom, G., Molina-guijarro, J. M., Eugenio, E., Ibarra, D., & Hern, M. (2022). Solid-State Fermentation with *Streptomyces* as an Ecofriendly Route to Tune Lignin Properties and Its Use as a Binder in Adhesive Formulation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10, 10403–10416. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c03523>
- Bohacz, J., & Kornilłowicz-Kowalska, T. (2020). Modification of post-industrial lignin by fungal strains of the genus *Trichoderma* isolated from different composting stages. *Journal of Environmental Management*, 266(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110573>
- Călinoiu, L. F., Cătoi, A. F., & Vodnar, D. C. (2019). Solid-state yeast fermented wheat and oat bran as a route for delivery of antioxidants. *Antioxidants*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/antiox8090372>
- Carlos, D. L. M. J., Leonardo, S., Jesús, M. C., Paola, M. R., Alejandro, Z. C., Juan, A. V., & Noé, A. C. (2020). Solid-state fermentation with *Aspergillus niger* gh1 to enhance polyphenolic content and antioxidative activity of castilla rose (*Purshia plicata*). *Plants*, 9(11), 1–15. <https://doi.org/10.3390/plants9111518>
- Chen, J., Chen, Y., Hu, J., He, C., Peng, X., Li, Z., Wang, Y., Zhu, M., & Xiao, Y. (2023). Solid-state fermentation with

- Rhizopus oryzae HC-1 improves the metabolites profiling, antioxidant activity and gut microbiota modulation effect of soybeans. *Lwt*, 187(115253), 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115253>
- Dominguez, G., Fajardo, C., Rodriguez, J., Eugenio, M. E., & Hernandez, M. (2021). Optimization of Enzyme Production from *Streptomyces* by Solid-state Fermentation of Agricultural Wastes using the Orthogonal Projections to Latent Structures-Discriminant Analysis (OPLS-DA) Method. 1–22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-459467/v1>
- Hawashi, M., Altway, A., Widjaja, T., & Gunawan, S. (2019). Optimization of process conditions for tannin content reduction in cassava leaves during solid state fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*. *Heliyon*, 5(8).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02298>
- Hur, J., Thanh, T., Nguyen, H., Park, N., Kim, J., & Kim, D. (2018). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) fermented by *Rhizopus oligosporus* and its bioactive properties. *AMB Express*, 8(143), 1–8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13568-018-0675-3>
- Ibarruri, J., Goiri, I., Cebrián, M., & García-Rodríguez, A. (2021). Solid state fermentation as a tool to stabilize and improve nutritive value of fruit and vegetable discards: Effect on nutritional composition, in vitro ruminal fermentation and organic matter digestibility. *Animals*, 11(6), 1–11.
<https://doi.org/10.3390/ani11061653>
- Khootama, A., Putri, D. N., & Hermansyah, H. (2018). Techno-economic analysis of lipase enzyme production from *Aspergillus niger* using agro-industrial waste by solid state fermentation. *Energy Procedia*, 153, 143–148.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.054>
- Koni, T. N. I., Rusman, Hanim, C., & Zuprizal. (2017). Effect of pH and temperature on *Bacillus subtilis* FNCC 0059 oxalate decarboxylase activity. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 20(9), 436–441.
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2017.436.441>
- Konkol, D., Jonuzi, E., Popiela, E., Sierzant, K., Korzeniowska, M., Leicht, K., Gumowski, M., Krasowska, A., Lukaszewicz, M., & Korczynski, M. (2023). Influence of solid state fermentation with *Bacillus subtilis* 67 strain on the nutritional value of rapeseed meal and its effects on performance and meat quality of broiler chickens. *Poultry Science*, 102(102742), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102742>
- Kritsadaruangchai, U., Chaiwut, P., Chomnunti, P., Thaochan, N., Saikue, A., & Pintathong, P. (2019). Effect of solid state fermentation with *Trichoderma* spp. on phenolic content and antioxidant capacities of mature Assam tea leaves. *Journal of Food Science and Agricultural Technology*, 5, 106–113.
- Lee, G., Thanh Hanh Nguyen, T., Lim, T. Y., Lim, J., Park, B., Lee, S., Mok, I.-K., Pal, K., Lim, S., & Kim, D. (2020).

- Fermented Wild Ginseng by *Rhizopus oligosporus* Improved L-Carnitine and Ginsenoside Contents. *Molecules*, 25(2111), 1–15.
- Li, J., Tang, X., Qian, H., Yang, Y., Zhu, X., Wu, Q., Mu, Y., & Huang, Z. (2021). Analysis of Saccharification Products of High-Concentration Glutinous Rice Fermentation by *Rhizopus nigricans* Q3 and Alcoholic Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* GY-1. *ACS Omega*, 6(12), 8038–8044. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05452>
- Li, X., He, Y., Xie, Y., Zhang, L., Li, J., & Liu, H. (2023). Effects of fermentation with Kefir grains on nutrient composition, flavor volatiles, and product physical stability of a hemp seed (*Cannabis sativa* L.) beverage. *Lwt - Food Science and Technology*, 183(114934), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114934>
- Lim, J., Kim, H., Park, S. B., Pal, K., Kim, S. W., & Kim, D. (2023). Effects of solid-state fermentation using *R. oligosporus* on the phytochemical composition of wild-simulated ginseng leaf and its biological properties. *Food Bioscience*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102412>
- Lim, J., Nguyen, T. T. H., Pal, K., Gil Kang, C., Park, C., Kim, S. W., & Kim, D. (2022). Phytochemical properties and functional characteristics of wild turmeric (*Curcuma aromatica*) fermented with *Rhizopus oligosporus*. *Food Chemistry: X*, 13(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100198>
- Lip, K. Y. F., García-Ríos, E., Costa, C. E., Guillamón, J. M., Domingues, L., Teixeira, J., & van Gulik, W. M. (2020). Selection and subsequent physiological characterization of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains during continuous growth at sub- and supra optimal temperatures. *Biotechnology Reports*, 26, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00462>
- Marlinda, Ramli, & Nadir, M. (2017). Pengaruh Penambahan Starter *Aspergillus niger* Terhadap Konsentrasi Asam Itakonat Dengan Substrat Gliserol Dan Molase. *Tk-004*, 1–10. jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek p-
- Maryati, Y., Susilowati, A., Melanie, H., & Lotulung, P. D. (2019). Fermentation of soybean (*Glycine max* (L.) merr) using mix inocula of *Rhizopus* sp. and *Sacharomyces cereviceae* for alternative source of folic acid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012124>
- Meng, J., Wang, J. L., Hao, Y. P., Zhu, M. X., & Wang, J. (2023). Effects of *Lactobacillus fermentum* GD01 fermentation on the nutritional components and flavor substances of three kinds of bean milk. *Lwt - Food Science and Technology*, 184(115006), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115006>
- Moharam, M. E., El-bendary, M. A., Abo, M. M., Beih, F. E., Hassnin, S. M., Salama, A., Omara, E. A., & Elgamal, N. N. (2023). Modeling and in - vivo

- evaluation of fibrinolytic enzyme produced by *Bacillus subtilis* Egy under solid state fermentation. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16254>
- Montesqrit, -, Mirzah, -, & Pratiwi, S. (2022). Pengaruh Lama Fermentasi dan Dosis Inokulum *Bacillus amyloliquefaciens* Terhadap Kandungan Nutrisi Daun Paitan (*Tithonia diversifolia*). *Pastura*, 11(2), 91–95. <https://doi.org/10.24843/pastura.2022.v11.i02.p04>
- Nofiani, R., Ardiningsih, P., Adhitiyawarman, & Sarwiyati. (2022). Characteristics of Lactic Acid Bacteria isolated from traditional fermented fish. *Biodiversitas*, 23(11), 5662–5669. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231116>
- Prabaningtyas, R. K., Putri, D. N., Utami, T. S., & Hermansyah, H. (2018). Production of immobilized extracellular lipase from *Aspergillus niger* by solid state fermentation method using palm kernel cake, soybean meal, and coir pith as the substrate. *Energy Procedia*, 153, 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.010>
- Prasetyo, P. O., Puspita, I. D., & Fatmawati, I. (2021). Tepung Kacang Bambara (Dietary Fiber and Organoleptic of Corn Bran Crackers with Addition of Bambara Groundnut Flour). *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 20(2), 130–138. <http://jurnal.wima.ac.id/index.php/JTPG/article/view/3191>
- Said, S. D., Pontas, K., Thaib, A., Maimun, T., & Silvianti, C. (2022). Increasing Crude Protein Content of Sago Dregs Through Solid State Fermentation Process. *Journal of Applied Technology*, 9(1), 1–6.
- Šalić, A., & Šamec, D. (2022). Changes in the content of glucosinolates, polyphenols and carotenoids during lactic-acid fermentation of cruciferous vegetables: A mini review. *Food Chemistry: X*, 16(100457), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100457>
- Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Martinović, J., Perković, G., & Bucić-Kojić, A. (2023). Bioconversion of Grape Pomace with *Rhizopus oryzae* under Solid-State Conditions: Changes in the Chemical Composition and Profile of Phenolic Compounds. *Microorganisms*, 11(956), 1–22. <https://doi.org/10.3390/microorganism11040956>
- Sine, Y., & Soetarto, E. S. (2018). Isolasi dan identifikasi kapang *Rhizopus* pada tempe gude (*Cajanus cajan* L.). *Savana Cendana*, 3(04), 67–68. <https://doi.org/10.32938/sc.v3i04.487>
- Slizewska, K., & Chlebicz-Wójcik, A. (2020). Growth Kinetics of Probiotic *Lactobacillus* Strains in the Alternative, Cost-Efficient Semi-Solid State Fermentation. *Biology*, 9(423), 1–13.
- Starzyńska-Janiszewska, A., Stodolak, B., Mickowska, B., & Socha, R. (2021). Fermentation with edible *Rhizopus* strains as a beneficial alternative method in wheat germ cake processing. *Journal of Cereal Science*, 102(103309). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103309>

- Suzuki, S., Ohmori, H., Hayashida, S., Nomura, M., Kobayashi, M., Hagi, T., Narita, T., Tomita, S., Yamashita, H., Arakawa, Y., Miura, T., Sato, K., & Kusumoto, K. I. (2021). Lipase and protease activities in Koji cheeses surface-ripened with *Aspergillus* strains. *Food Science and Technology Research*, 27(3), 543–549. <https://doi.org/10.3136/fstr.27.543>
- Triasih, U., Wuryantini, S., & Agustina, D. (2022). Karakterisasi Cendawan Rizosfer Kebun Jeruk Organik dan Potensinya dalam Menghambat Pertumbuhan *Botryodiplodia theobromae* dan *Colletotrichum gloeosporioides* Characterization of Soil Rhizospheric Fungi on Citrus Plantation and Their Potential to Inhibiting. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 18(5), 205–212. <https://doi.org/10.14692/jfi.18.5>
- Xiao, L., Yang, C., Zhang, X., Wang, Y., Li, Z., Chen, Y., Liu, Z., Zhu, M., & Xiao, Y. (2023). Effects of solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* LK-1 on the volatile profile, catechins composition and antioxidant activity of dark teas. *Food Chemistry: X*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100811>
- Xu, R., Tian, T., Hu, B., Zhang, Z., Liu, J., Yu, D., & Xu, H. (2023). Effect of solid-state fermentation with *Bacillus pumilus* on the nutritional value, anti-nutritional factors and antioxidant activity of faba bean (*Vicia faba* L.) meal. *Lwt - Food Science and Technology*, 185(115117), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115117>
- Xue, P., Liao, W., Chen, Y., Xie, J., Chang, X., Peng, G., Huang, Q., Wang, Y., Sun, N., & Yu, Q. (2022). Release characteristic and mechanism of bound polyphenols from insoluble dietary fiber of navel orange peel via mixed solid-state fermentation with *Trichoderma reesei* and *Aspergillus niger*. *Lwt*, 161(113387), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022>