



## Fermentasi biji durian khas Kalimantan sebagai pengganti tepung terigu dengan metode perendaman berseri

Jefri Pandu Hidayat<sup>1\*</sup>, Siti Munfarida<sup>2</sup>, Asful Hariyadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

<sup>2</sup>Teknologi Pangan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

### Article history

*Diterima:*

3 Agustus 2023

*Diperbaiki:*

30 Oktober 2023

*Disetujui:*

1 November 2023

### Keyword

*additive;*

*Durian seed;*

*bioreaction;*

*kinetic modelling;*

*L. plantarum;*

### ABSTRACT

*Durian seed modification is aimed at increasing the functional properties of a wheat flour alternative. The research combined immersion in  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  and fermentation using *L. plantarum* solution. The influence among the solid consistency, starter concentration, and time process variable by Complete Randomized Design (RAL) duplicate experiment to get superlative condition. Runge-Kutta (RK) third-order method used the kinetic modeling algorithm. The RK solver was completed using the optimization solver in Ms. Excel 2021. The analysis of variance (ANOVA) was performed using Minitab 18.1. The functional properties parameters were measured consisting of carbonyl, carboxyl, degree of substitution, swelling power, solubility, water and oil absorption. The maximum specific growth rate of *L. plantarum* was 1.902/hours and the brown pigment degradation rate was 0.0016/minutes. It showed that the best form for time preliminary process was 120 minutes. It is followed by a raw material consistency of 15% (w/v), a starter concentration of 5% (v/v) at 24-hour fermentation. At the best process condition, the modified durian seed flour have carboxyl content 1.028%, carbonyl 0.48%, degree of substitution 0.078, swelling power 8.5 g/g, water solubility 7.64%, water and oil absorption capacity, 162.43% and 28.81% respectively. Whereas the functional properties are still not close to commercial wheat flour SNI 3751:2018. Hereafter, the parametric using growth model was expressed for the future bio-reactor design.*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : jefri.pandu@lecturer.itk.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v19i1.21756

## PENDAHULUAN

Buah durian (*Durio zibethinus* Murr.) merupakan salah satu komoditas buah-buahan yang langsung dapat dimakan buahnya, sedangkan bijinya (20-25%), dan kulit durian (75-80%) menjadi limbah tak termanfaatkan (Baraheng and Karrila 2019). Produksi buah durian pada tahun 2021 di Indonesia sebanyak 1.351.037 ton (BPS 2022), maka potensi berat biji durian yang dapat dihasilkan sebesar 337.759 ton. Biji durian memiliki kandungan karbohidrat (73,9%) dan serat (43,6%) yang tinggi sehingga cocok diolah menjadi produk intermediet tepung (Hidayat *et al.* 2022b). Namun hasil dan pemrosesannya memiliki beberapa kendala, salah satu yang terbesar adalah penampakan tepung yang berwarna coklat, tidak menarik, serta sifat-sifatnya yang masih belum mendekati tepung. Senyawa glikoprotein menyebabkan struktur kimia dan sifat fungsional tepung biji durian masih belum layak dikonsumsi, apabila tidak dilakukan modifikasi. Upaya peningkatan mutu tepung biji durian penting untuk dilakukan, antara lain dengan memodifikasi sifat-sifat fungsionalnya baik secara fisika, kimia, maupun biologi menjadi tepung termodifikasi.

Modifikasi secara kimia kurang berhasil dilakukan karena keterbatasan natrium metabisulfit meningkatkan porositas tepung biji durian dan warna tepung yang masih coklat ( $L = 80$ ) (Hidayat *et al.* 2022b). Menurut Jayus *et al.* (2016) fermentasi tepung biji nangka oleh *L. plantarum* terbukti mampu menurunkan nilai oligosakarida seperti *stachyose* dan *verbascose* yang menyebabkan perut kembung pada manusia. Di sisi lain, metode fermentasi pada tepung tapioka oleh *L. plantarum* terbukti mampu mengubah struktur pati, rasio amilosa dan amilopektin, citarasa, viskositas, kecerahan pasta, dan beberapa sifat lainnya (Soumya *et al.* 2019, Ma *et al.* 2022). Jika mikroflora tersebut digunakan untuk mengolah biji durian, maka akan dihasilkan tepung biji durian yang senyawa glikoproteinnya tereduksi dan diharapkan sifat fungsionalnya mendekati tepung terigu komersil.

Langkah modifikasi dilakukan dengan cara mereaksikan biji durian dengan senyawa aditif dalam medium perendaman. Diawali tahap persiapan bahan baku dengan merendam biji durian di dalam larutan natrium metabisulfit. Tujuannya untuk meningkatkan nilai derajat putih dan sedikit sifat fisikokimia (Kumoro and

Hidayat 2018b). Proses berikutnya digunakan metode fermentasi terendam (*immersed system*) dengan bakteri *L. plantarum* dengan tujuan mampu mereduksi senyawa glikoprotein agar dapat meningkatkan sifat fisikokimia dan fungsional dari tepung biji durian. Metode perendaman berseri belum pernah dilakukan sebelumnya pada modifikasi tepung biji durian.

Tujuan penelitian adalah memodifikasi biji durian menggunakan medium natrium metabisulfit dan bakteri *L. plantarum* sehingga memiliki sifat fungsional yang menyerupai tepung terigu, mendekati parameter SNI 3751:2018 (BSN 2018). Penelitian ini juga akan disusun model matematis dari reaksi degradasi pigmen coklat serta pertumbuhan dan kebutuhan substrat bakteri sehingga dapat diketahui beberapa parameter kinetik untuk perancangan proses pada skala pilot atau industri. Beberapa penelitian terdahulu belum banyak yang mengkaji model matematis pada reaksi degradasi pigmen coklat dengan larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  dan kinetika pada reaksi fermentasi menggunakan bakteri *L. plantarum*.

## METODE

### Bahan dan Alat

Biji durian varietas Kalimantan diperoleh dari penjual durian di Balikpapan, Kalimantan Timur. Bakteri *L. plantarum* SMN 25 dibeli dari Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gadjah Mada. Akuades diperoleh dari CV Hasta Kencana Balikpapan (Amidis). Natrium metabisulfit dibeli dari Sinar 88 Bahan Kue Balikpapan.

### Sintesis Produk

Pemilihan biji durian dengan bentuk biji yang utuh dan tidak ada permukaan yang hitam. Dibersihkan dari dagingnya kemudian rendam di dalam larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  0,6% (b/v). Setelah itu, dilakukan perendaman menggunakan bakteri *L. plantarum* dengan rasio konsistensi biji durian, konsentrasi substrat, dan waktu fermentasi. Pengerangan dan penggerusan biji setelah proses fermentasi menggunakan alat pengerang rak dan *micro mill*. Ukuran pengayakan adalah 80 mesh sesuai dengan standar ukuran tepung komersil (BSN 2018).

### Pengujian Bahan

Perhitungan jumlah bakteri dengan menggunakan metode ALT (Angka Lempeng

Total) bakteri (Hidayat *et al.* 2023). Pengukuran kandungan proksimat mengikuti metode (Latimer 2016). Derajat putih diukur menggunakan *colorimeter* (Minolta Type CR-300). Jumlah karboksil, karbonil, dan derajat substitusi sesuai dengan metode titrasi (Liu *et al.* 2022). Sifat-sifat fungsional yang terdiri dari daya kembang molekul, kelarutan dalam air, tingkat penyerapan air dan minyak digunakan metode yang telah dimodifikasi (Munfarida and Hidayat 2023).

### Analisis Pengujian Data

Model kinetika reaksi diselesaikan dengan metode Runge-Kutta orde 3 menggunakan *solver* pada Ms. Excel 2021, sehingga diperoleh parameter kinetika reaksi. Sampel kontrol (tanpa fermentasi) digunakan sebagai pembandingan dari pengaruh terhadap variabel kondisi operasi. Hasil percobaan dilakukan sebanyak pengulangan tiga kali. Data diolah menggunakan program Minitab 18.1 berdasarkan uji beda nyata (ANOVA). Apabila hasil perlakuan beda nyata sangat signifikan, digunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan menggunakan program SPSS 21.0.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Derajat Putih

Mekanisme pencoklatan melibatkan dua macam sebab yang terdiri dari reaksi enzimatis karena adanya aktivitas enzim, seperti polipenol oksida dan polimerisasi senyawa penol. Reaksi enzimatis, pigmen coklat terbentuk karena proses oksidasi mono dan difenol menjadi *o-quinones* yang dikatalis oleh polipenol oksida (PPO) kemudian diikuti oleh polimerisasi atau reaksi dari *o-quinones* dengan asam amino. Agen pengoksidasi digunakan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  yang dapat mencegah terjadinya pencoklatan molekul (Kumoro and Hidayat 2018b). Anion sulfat yang menghambat aktivitas enzim polipenol oksida dan dapat bereaksi dengan *o-quinones* membentuk senyawa dipenol tidak berwarna sehingga tepung biji durian semakin cerah karena adanya kestabilan reaksi antara kedua senyawa tersebut. Hal ini menjadi bukti telah terjadi peningkatan nilai kecerahan tepung biji durian.

Pencoklatan non-enzimatik sebagai akibat dari reaksi Maillard dan terjadi ketika ada interaksi gugus karbonil pada karbohidrat dengan asam amino yang ada di dalam protein. Hidayat *et al.* (2022) melaporkan bahwa penambahan

sulfat dapat mencegah pembentukan dikarbonil seperti *methylglyoxal* (MGO) karena sifatnya yang nukleofilik, kemudian dapat bereaksi dengan dikarbonil pada tepung biji durian seperti *3-DG*, *3,4-dideoxyhexosulos-3-ene* agar menjadi produk yang tidak reaktif (*3,4-dideoxy-4-sulphohexosulose*) sehingga mencegah terjadinya reaksi pencoklatan (Munfarida and Hidayat 2023).

Penampakan tepung biji durian yang melalui proses perendaman dalam larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  0,6% b/v (gambar 1b) mengalami kenaikan nilai L sebesar 18,75% dari nilai sampel kontrol 65 (gambar 1a) menjadi 80.



(a)

(b)

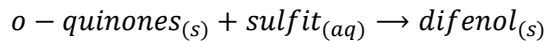
(c)

Gambar 1 Hasil tepung biji durian (a) tanpa modifikasi; (b) terendam Natrium metabisulfat; (c) termodifikasi *L. plantarum*

Hasil analisis residu sulfat dari tepung biji durian mengalami peningkatan secara berturut-turut selama waktu perendaman di dalam larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  0,6% (b/v) (0; 23,12; 37,45; 50,34; 85,71; 102,56) ppm. Nilai tertinggi terletak pada waktu perendaman 120 menit, yaitu sebesar 102,56 ppm atau setara dengan 102,56 mg/kg. Semakin lama waktu perendaman maka residu sulfat pada tepung biji durian meningkat dikarenakan waktu kontak yang lebih lama antara biji durian dan anion sulfat dalam larutan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ . Akibat dari waktu kontak tersebut, sebagian dari  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  terjebak dalam pori setelah proses pengeringan. Berdasarkan nilai ambang batas FAO 1995 untuk residu sulfat di dalam pati dan tepung sebagai bahan pangan sebesar 200 mg/kg. Hasil penelitian memberikan informasi bahwa tepung biji durian masih dapat diterima sebagai bahan olahan pangan dikarenakan besar residu sulfat masih dibawah nilai ambang batas. Hasil setelah persiapan bahan baku menjadi tepung fermentasi termodifikasi sesuai gambar 1c.

**Model Kinetika Degradasi Pigmen Coklat**

Reaksi degradasi konsentrasi pigmen coklat menurut (Kumoro and Hidayat 2018b) dapat dituliskan sebagai berikut:



Kinetika laju reaksi degradasi pigmen coklat pada penelitian secara umum dapat dirumuskan dengan Persamaan (1).

$$-r_{CD} = k [C_D]^n \tag{1}$$

$-r_{CD}$  (mol/l menit) sebagai laju reaksi degradasi;  $[C_D]$  (mol/l) adalah konsentrasi pigmen coklat dalam bentuk polimer kompleks;  $k$  adalah koefisien laju reaksi (per menit); dan  $n$  adalah orde reaksi terhadap konsentrasi pigmen coklat. Lebih jauh lagi, tujuan daripada permodelan kinetik yaitu mencari nilai parameter  $k$  (per menit) menggunakan metode diferensial dan dinyatakan dalam Persamaan (2).

$$-\frac{d[C_D]}{dt} = k [C_D] \tag{2}$$

Hasil penelitian memberikan adanya pengaruh  $[C_D]$  dengan nilai  $L$  (kecerahan) pada irisan biji durian. Semakin lama waktu perendaman maka semakin tinggi nilai  $L$ , dengan demikian nilai  $[C_D]$  dapat dianggap semakin berkurang.

$$\frac{1}{L_0} \sim [C_D] \tag{3}$$

Setelah substitusi, diperoleh persamaan yang kemudian diselesaikan dengan cara diferensiasi orde 1.

$$-\frac{d(1/L_0)}{dt} = k (1/L_0)$$

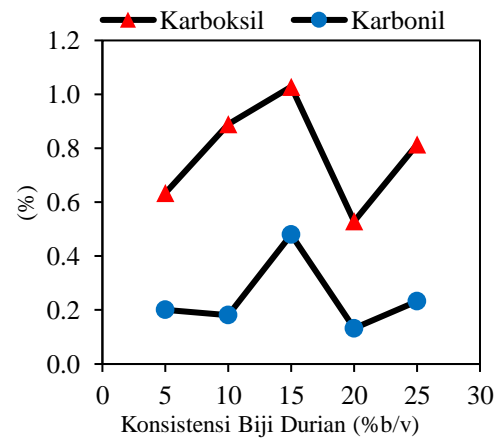
$$\ln(L_{00}/L_0) = -k t \tag{4}$$

Model menghasilkan garis lurus dengan kemiringan yang sesuai dengan plot persamaan orde satu  $[y = -k \cdot x]$ . Besar nilai  $k$  (laju reaksi) sebesar 0,0016/menit. Koefisien laju reaksi pada penurunan model kinetika digunakan untuk memprediksi rentang waktu perendaman tertentu dalam larutan  $Na_2S_2O_5$ .

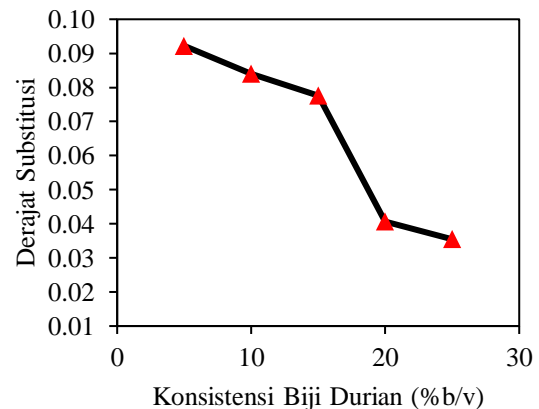
**Penentuan Konsentrasi Substrat Optimal**

Konsistensi biji durian mempunyai hubungan yang erat dengan bakteri *L. plantarum*

dikarenakan pengaruhnya menghasilkan enzim amilase untuk memodifikasi granula pati sehingga dapat meningkatkan sifat fungsional tepung biji durian.



Gambar 2 Nilai gugus karbonil dan karboksil pada varian berat biji durian



Gambar 3 Derajat substitusi pada varian berat biji durian

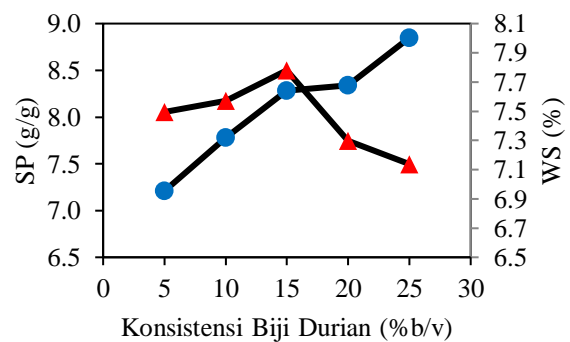
Kenaikan gugus karboksil (Gambar 2) sebesar 62,14% dan karbonil 137,62% dari konsistensi berat biji durian (5-15%) (b/v) dikarenakan aktivitas bakteri yang semakin meningkat yang ditandai dengan meningkatnya produksi amilase ekstraseluler, protease, dan tannase (Purwitasari et al. 2023). Produksi amilase yang meningkat akan memecah granula pati untuk memutus ikatan antara amilosa dan amilopektin dan mengubah sifat fisiknya agar lebih amorf (Zhou et al. 2015). Proses fermentasi memudahkan transformasi karbohidrat kompleks (polisakarida) seperti pati yang terdapat dalam tepung biji durian menjadi bentuk karbohidrat yang lebih sederhana (monosakarida) dalam hal ini produknya yaitu asam laktat. Asam laktat sebagai agen substitusi gugus hidroksil

menggunakan gugus laktatnya. Asam laktat dihasilkan dari proses reduksi asam piruvat oleh Nikotinamida Adenosin Dinukleotida Hidrogen (NADH) dari proses pemecahan glukosa (substrat) yang dikenal juga dengan proses glikolisis (Sieuwerts *et al.* 2018).

Konsistensi berat biji durian lebih dari 15% (b/v) berdampak pada turunnya aktivitas bakteri dan nilai derajat substitusi (Gambar 3). Konsentrasi substrat yang terlalu tinggi, akan mengakibatkan dehidrasi sel dalam larutan yang pekat sehingga menghambat pertumbuhan sel (*substrate inhibition*).

Kenaikan nilai *swelling power* (Gambar 4) hingga konsistensi berat biji durian sebesar 15% dan kemudian berangsur-angsur menurun hingga konsentrasi substrat 25%. Kenaikan ini terjadi karena meningkatnya produksi enzim amilase ekstraseluler, protease, dan tannase (Purwitasari *et al.* 2023). Enzim amilase yang dihasilkan oleh bakteri *L. plantarum* yang bersifat homo-fermentatif berasal dari proses metabolisme bakteri. Kemudian terjadi peningkatan selama proses fermentasi karena jumlah substrat yang tersedia masih banyak. Semakin banyak produksi enzim dari bakteri *L. plantarum* maka akan semakin banyak pula reaksi antara enzim dan substrat sehingga dapat mengubah struktur dari granula pati dan mengakibatkan nilai *swelling*

*power* meningkat. Perubahan struktur tersebut diakibatkan oleh adanya efek lanjutan dari hadirnya enzim amilase yang memberikan ruang kepada asam laktat dengan merusak struktur granula pati menjadi semi kristal (Posoongnoen *et al.* 2015). Asam laktat berfungsi sebagai agen substitusi gugus hidroksil menggunakan gugus laktatnya. Asam laktat tersebut dihasilkan karena adanya proses reduksi asam piruvat oleh Nikotinamida Adenosin Dinukleotida Hidrogen (NADH) dari proses pemecahan glukosa (substrat) yang dikenal juga dengan proses glikolisis (Sieuwerts *et al.* 2018).



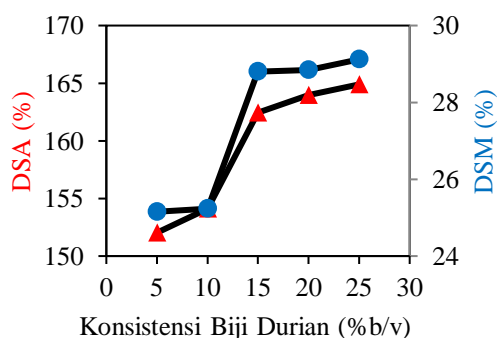
Gambar 4 Daya kembang (SP) dan kelarutan air (WS) pada berbagai berat biji durian

Tabel 1 Hasil Pengukuran Parameter Fermentasi Biji Durian

Run	Konsentrasi Substrat (%b/v)	Konsentrasi Starter (%v/v)	Waktu Fermentasi (jam)	Karboksil (%)	Karbonil (%)	DS	SP (g/g)	WS (%)	DSA (%)	DSM (%)
1	5	5	24	0,0634	0,202	0,092	8,05	6,95	152,02	25,15
2	10	5	24	0,889	0,180	0,084	8,17	7,32	154,12	25,23
3										
4										
5	15	5	24	1,028	0,480	0,078	8,50	7,64	162,43	28,81
6	20	5	24	0,529	0,133	0,041	7,74	7,68	163,96	28,85
7	25	5	24	0,814	0,233	0,035	7,50	8,00	164,89	29,12
8	15	2,5	24	0,309	0,120	0,052	8,20	6,58	155,88	26,26
9	15	5	24	1,028	0,480	0,078	8,50	7,64	162,43	28,81
10	15	10	24	0,945	0,164	0,097	8,40	7,63	166,39	28,96
11	15	15	24	0,860	0,110	0,098	8,54	7,55	159,59	28,60
12	15	5	8	0,082	0,747	0,032	11,33	8,60	213,23	30,90
13	15	5	16	0,379	0,201	0,037	10,80	8,35	209,83	29,07
14	15	5	24	1,028	0,480	0,078	8,50	7,64	162,43	28,81
15	15	5	32	0,620	0,325	0,049	7,11	6,79	153,73	26,83
16	15	5	40	0,762	0,302	0,018	6,26	5,97	142,60	25,13
C	-	-	-	0,12	0,27		8,00	7,40	151,77	25,00



Peningkatan nilai *solubility*, daya serap air dan minyak hingga konsistensi berat biji durian sebesar 25% (Gambar 5). Peningkatan tersebut diakibatkan oleh granula pati pecah yang ditandai dengan aktivitas enzim amilase untuk memutus ikatan antara amilosa dan amilopektin yang kemudian mengeluarkan amilosa dari permukaan kristal tepung dan mengubah sifat fisiknya agar lebih amorf (Sun *et al.* 2022). Dampaknya pada saat konsentrasi substrat yang semakin tinggi akan meningkatkan aktivitas enzim amilase dan porositas tepung. Porositas tepung yang semakin tinggi akan memudahkan air untuk meresap ke dalam bahan saat waktu rehidrasi. Diduga bahwa minyak juga terperangkap dalam rantai cabang glukosa (monosakarida) sehingga daya serap minyak terjadi peningkatan. Hal ini sesuai dengan (Zuhri *et al.* 2015), bahwa interaksi antara substrat dan bakteri memberikan pengaruh terhadap sifat fungsional tepung dan meningkatkan nilai daya serap air sebesar 50,72% dan nilai daya serap minyak sebesar 63,33%.



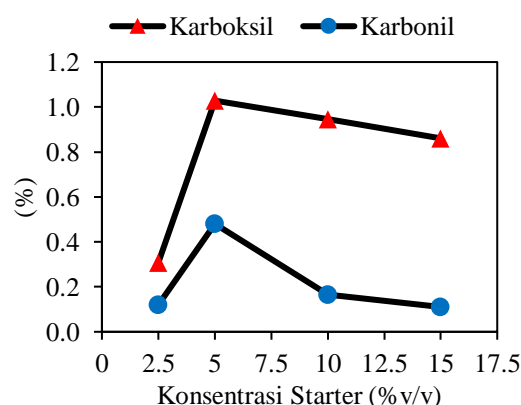
Gambar 5 Daya serap air (DSA) dan minyak (DSM) pada varian berat biji durian

Namun terdapat penurunan nilai *swelling power* ketika konsistensi biji durian meningkat dari 20% hingga 25%. Penurunan tersebut diakibatkan oleh aktivitas *L. plantarum* berangsur-angsur menurun karena jumlah substrat yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri terlalu banyak kuantitasnya. Konsentrasi substrat terlalu tinggi akan mengakibatkan dehidrasi sel dalam larutan sehingga akan menghambat proses fermentasi. Istilah ini dapat disebut sebagai *substrate inhibition* (Wardhani *et al.* 2019). Tidak hanya itu, konsentrasi substrat yang tinggi akan menghasilkan produk yang rendah. Hal ini menjadi suatu kerugian dikarenakan dapat menghambat pertumbuhan bakteri *L. plantarum*. Kondisi demikian tidak diinginkan karena dapat

menyebabkan kematian pada mikroorganisme itu sendiri (Widayat *et al.* 2020).

### Penentuan Konsentrasi Starter Optimal

Sistem fermentasi cair (*submerged fermentation*), konsentrasi starter bakteri *L. plantarum* juga merupakan parameter yang penting terhadap produktivitas produk. Konsentrasi starter yang rendah menyebabkan penggunaan substrat secara perlahan sehingga memperpanjang waktu inkubasi. Sebaliknya, pada konsentrasi starter yang tinggi dapat menyebabkan persaingan pertumbuhan antar mikroorganisme dengan jumlah substrat yang terbatas (Hidayat *et al.* 2023).

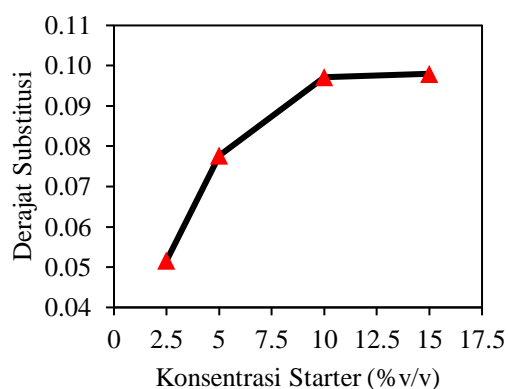


Gambar 6 Nilai gugus karbonil dan karboksil pada varian konsentrasi *L. plantarum*

Data pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar gugus karboksil meningkat cukup signifikan dari 0,309% menjadi 1,028%. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan aktivitas bakteri *L. plantarum*. Peningkatan tersebut juga diikuti dengan kadar gugus karbonil dengan jumlah 0,48% dari 0,12% pada konsentrasi yang sama. Peningkatan aktivitas tersebut ditandai dengan meningkatnya produksi enzim amilase, protease, dan tannase (Purwitasari *et al.* 2023). Semakin banyak starter yang tersedia, maka semakin banyak reaksi yang terjadi antara enzim dan substrat yang mengakibatkan adanya interaksi diantara kedua senyawa tersebut yang kemudian membentuk asam laktat. Namun, baik kadar gugus karboksil maupun karbonil terjadi penurunan yang cukup signifikan setelah konsentrasi starter lebih dari 5%. Penurunan gugus karboksil sebesar 16,34% dan gugus karbonil sebesar 65,83% diakibatkan adanya peningkatan viskositas dalam media kultur sehingga terjadi penurunan aktivitas air dan menghambat tumbuh dan kembang bakteri *L.*

*plantarum*. Oleh karenanya, sistem fermentasi berubah dari dari cair (*submerged fermentation*) menjadi semi padat atau padat (*solid state fermentation*) (Anasiru *et al.* 2019).

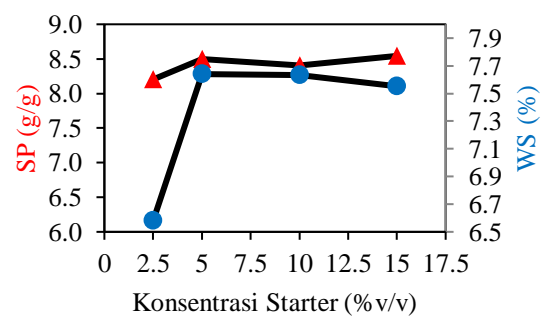
Peningkatan nilai derajat substitusi (Gambar 7) terjadi pada fase lag (adaptasi) dan fase eksponensial *L. plantarum*. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin banyak pula gugus laktat yang berdifusi dan teradsorpsi melalui permukaan pati (Hidayat *et al.* 2022a, Kumoro *et al.* 2022). Ketika konsentrasi starter diatas 10% menunjukkan nilai derajat substitusi yang relatif konstan karena produksi asam laktat tidak terlalu menunjukkan perubahan yang signifikan dan menandakan bahwa pertumbuhan mikroba pada fase stasioner (Tripathi *et al.* 2015).



Gambar 7 Derajat substitusi pada varian konsentrasi *L. plantarum*

Fermentasi tepung biji durian dengan konsentrasi bakteri 5% menghasilkan tepung termodifikasi dengan nilai *swelling power* dan *solubility* tertinggi secara berturut-turut, yaitu sebesar 8,5 g/g dan 7,64%. Peningkatan nilai *swelling power* dan *solubility* dikarenakan aktivitas bakteri yang tinggi untuk memproduksi asam laktat sehingga dapat mengubah struktur dari granula pati (Luz *et al.* 2020). Lebih jauh lagi, konsentrasi *starter* yang sesuai memungkinkan hilangnya fase lag dikarenakan fase lag yang terlalu panjang akan mengakibatkan waktu fermentasi memakan waktu yang lebih lama dan media yang digunakan untuk mempertahankan jumlah bakteri yang layak sebelum pertumbuhannya dimulai menjadi lebih sulit untuk dikendalikan. Oleh karena itu, (Natarajan *et al.* 2022) melaporkan bahwa konsentrasi starter sebesar 5% lebih baik daripada 10% karena fase lagnya sedikit lebih cepat.

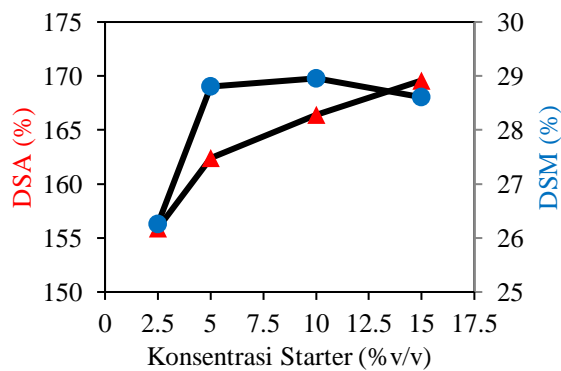
Selanjutnya, semakin tinggi nilai *swelling power* maka semakin mudah tepung dibuat adonan dan semakin tinggi nilai kelarutan dalam air, maka semakin mudah tepung tersebut untuk dicerna oleh tubuh manusia. Kedua sifat fungsional tersebut dipengaruhi oleh kadar gugus karboksil (-COOH) yang digunakan sebagai bahan pangan. Untuk itu, kadar gugus karboksil dalam tepung termodifikasi tidak boleh melebihi 1,1% dikarenakan akan berdampak buruk terhadap kesehatan manusia yang dikenal juga sebagai asidosis laktat (Fonseca *et al.* 2015). Kadar gugus karboksil yang terbentuk pada konsentrasi starter 5% sebesar 1,028% sehingga masih aman untuk dikonsumsi.



Gambar 8 Daya kembang (SP) dan kelarutan air (WS) pada berbagai konsentrasi *L. plantarum*

Peningkatan juga terjadi pada nilai daya serap air hingga konsentrasi substrat 15% (Gambar 8). Meningkatnya sifat fungsional tersebut diakibatkan oleh granula pati pecah yang ditandai dengan sifat fisiknya yang berubah lebih amorf (Retnowati *et al.* 2018). Akibatnya, saat konsentrasi *starter* yang semakin tinggi akan meningkatkan aktivitas dari enzim amilase dan menghasilkan porositas tepung yang semakin tinggi. Porositas tepung yang tinggi akan memudahkan rehidrasi (Wardhani *et al.* 2022). Berbeda dengan nilai daya serap minyak yang cenderung tidak mengalami perubahan karena tidak ada peningkatan rantai cabang glukosa yang bersifat hidrofobik akibat adanya asam laktat pada produk fermentasi bakteri *L. plantarum*.

Hasil penelitian dan kajian pengaruh konsentrasi starter (Gambar 9) terhadap sifat fungsional tepung menjadi dasar bahwa konsentrasi bakteri *L. plantarum* sebesar 5% merupakan konsentrasi bakteri yang optimal pada penelitian ini. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Tripathi *et al.* 2015, Nagarjun 2015, Taleghani *et al.* 2016).



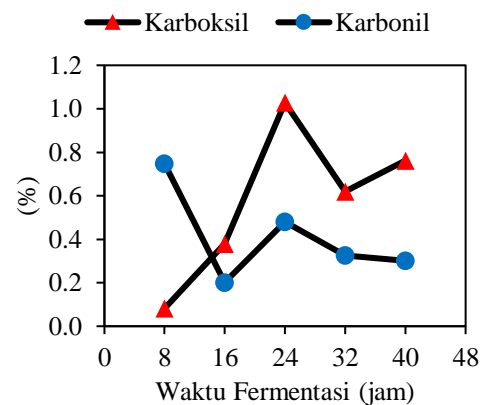
Gambar 9 Daya serap air (DSA) dan minyak (DSM) pada varian konsentrasi *L. plantarum*

### Penentuan Waktu Fermentasi Optimal

Pada modifikasi biji durian secara fermentasi menggunakan bakteri *L. plantarum* dilakukan uji kadar gugus karbonil dan kadar gugus karboksil pada tepung hasil modifikasi yang divariasikan terhadap waktu proses. Pada fase pertumbuhan lag (fase adaptasi) ditunjukkan pada Gambar 10, yaitu sebelum 16 jam kadar gugus karbonil mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu sebesar 73,09%. Hal ini terjadi karena, kemungkinan pada fase lag ini gugus karbonil yang terbentuk pada saat inkubasi dalam media *Potato Dextrose Brooth* (PDB) teroksidasi menjadi gugus karboksil hingga waktu fermentasi 16 jam. Kemudian pada waktu fermentasi 24 jam mulai terjadi kenaikan kadar karbonil sebesar 32,39% disebabkan oleh peningkatan aktivitas bakteri *L. plantarum* sehingga gugus karboksil yang telah terbentuk akan teroksidasi langsung menjadi gugus karbonil kembali. Setelah waktu fermentasi 24 jam, kadar gugus karbonil cenderung menurun dan kemudian konstan karena bakteri mulai mengalami fase kematian karena sudah tidak dapat aktif kembali untuk melakukan oksidasi (Klein *et al.* 2014, Yaqin *et al.* 2019).

Kadar gugus karboksil pada tepung biji durian termodifikasi terus menunjukkan kecenderungan naik hingga 24 jam. Kenaikan kadar gugus karboksil terjadi karena oksidasi lanjut dari gugus karbonil yang dilakukan oleh bakteri *L. plantarum*. Gugus hidroksil dalam pati akan dioksidasi menjadi gugus karbonil selama fermentasi, kemudian gugus karbonil ini akan dioksidasi lebih lanjut menjadi gugus karboksil yang merupakan produk akhir (Kumoro and Hidayat 2018a, Kumoro *et al.* 2020, Ma *et al.* 2022). Meskipun terjadi penurunan pada waktu fermentasi 32 jam yang dikarenakan

pertumbuhan bakteri mulai menurun yang berakibat menurunnya kadar gugus karboksil maupun kadar gugus karbonil. Kemudian pada saat waktu fermentasi 40 jam terjadi sedikit peningkatan kadar gugus karboksil sebesar 22,9% yang merupakan sisa hasil oksidasi. Di lain hal, kadar gugus karbonil menurun dan cenderung tidak berubah karena bakteri sudah tidak mampu mengoksidasi gugus hidroksil pada substrat.



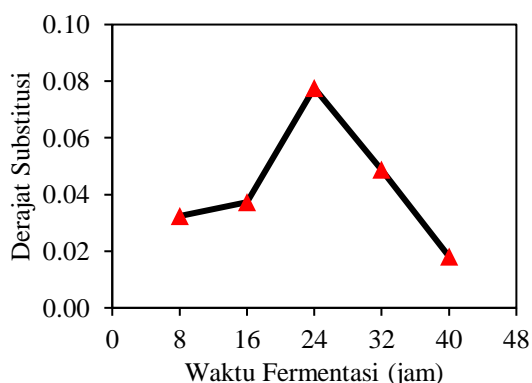
Gambar 10 Nilai gugus karbonil dan karboksil pada berbagai waktu fermentasi

Nilai derajat substitusi (Gambar 11) terjadi peningkatan pada waktu fermentasi 0-24 jam dan kemudian berangsur-angsur menurun pada waktu fermentasi (32-40) jam. Kenaikan DS terjadi pada saat bakteri *L. plantarum* mengalami fase lag (adaptasi) dan fase eksponensial. Jumlah atau populasi bakteri yang hidup meningkat dengan cepat sehingga semakin banyak gugus OH yang dapat digantikan oleh gugus laktat yang berdifusi dan teradsorpsi melalui permukaan pati (Suzihaque *et al.* 2022). Saat reaksi fermentasi lebih dari 24 jam terjadi penurunan yang kemudian diasumsikan bahwa bakteri telah berada pada fase kematian. Di samping itu memang semakin lama waktu fermentasi juga dapat memicu terjadinya hidrolisis pati laktat (Aryanti *et al.* 2017). Tepung biji durian termodifikasi asam laktat yang dihasilkan sudah layak digunakan sebagai bahan pangan. Menurut (FAO 1997) pati laktat yang bisa digunakan sebagai pangan adalah pati laktat dengan derajat substitusi rendah yaitu 0,01-0,2.

Waktu fermentasi 0 jam hingga 40 jam, nilai *swelling power* cenderung mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena penurunan dari kestabilan granula tepung sebagai akibat dari penguraian heliks ganda yang ada pada susunan kristalin granula tepung. Kondisi ini memicu



amilosa pada granula tepung berikatan dengan lipid membentuk ikatan kompleks. Selain itu penurunan juga disebabkan oleh peningkatan kristalinitas pati yang membatasi resapan air dalam molekul pati dan stabilitas granula pati (Kumoro *et al.* 2019, Wei *et al.* 2022). Kekuatan pembengkakan granula mencerminkan tingkat kekuatan asosiatif dalam tepung.

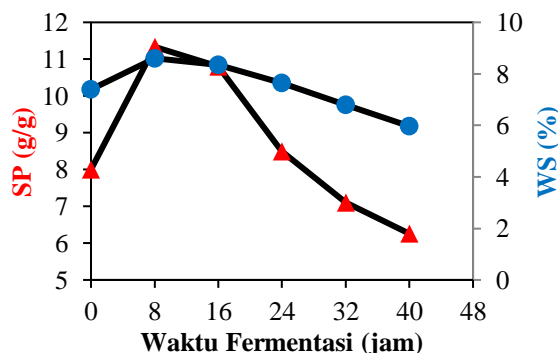


Gambar 11 Derajat substitusi pada varian waktu fermentasi

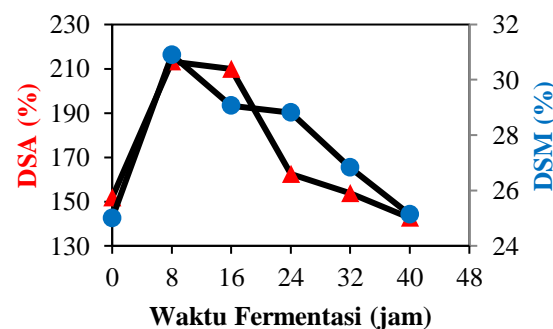
Oleh karena itu, semakin rendah kekuatan asosiatifnya, maka semakin rendah daya pembengkakan. Kekuatan pembengkakan pati yang lebih rendah mungkin disebabkan oleh kerusakan butir pati selama proses fermentasi (Sun *et al.* 2022). Amilosa memiliki sifat larut dalam air sedangkan amilopektin bersifat tidak larut dalam air (Tran *et al.* 2015, Yaruro Cáceres *et al.* 2021). Daya pembengkakan berkurang sampai batas tertentu hingga 12,1% pada fermentasi alami dan 15,5% pada inokulum dikarenakan melemahnya kekuatan asosiatif dalam butiran, terutama di daerah amorf (Rahma *et al.* 2017). Zhou *et al.* 2015 mengamati bahwa percabangan dalam rantai karbon pada molekul pati dapat mencegah asosiasi antarmolekul dalam polimer karbohidrat. Namun, ketika beberapa cabang terhidrolisis, seperti yang terjadi selama fermentasi, ada kemungkinan ikatan hidrogen antarmolekul dari proses pemecahan mengurangi jumlah gugus hidroksil bebas dimana gugus tersebut memiliki ikatan hidrogen yang dapat mengikat lebih banyak molekul air.

Selain itu, nilai *solubility* (Gambar 12) mengalami penurunan karena adanya komponen non-karbohidrat dalam tepung. Komponen non-karbohidrat (lemak) akan berikatan dengan amilosa membentuk ikatan kompleks yang bersifat hidrofobik (Blok *et al.* 2023). Ikatan kompleks tersebut dapat menghambat pengikatan

air oleh granula tepung sehingga amilosa tidak dapat keluar dari granula lalu mengakibatkan kelarutan tepung biji durian menurun seiring bertambahnya waktu fermentasi (Segura-Campos *et al.* 2015).



Gambar 12 Daya kembang (SP) dan kelarutan air (WS) pada berbagai varian waktu fermentasi



Gambar 13 Daya serap air (DSA) dan minyak (DSM) pada berbagai waktu fermentasi

Nilai daya serap air dan minyak (Gambar 13) juga mengalami penurunan secara berturut-turut pada berbagai waktu fermentasi. Hal ini diakibatkan oleh berkurangnya kadar karbohidrat yang disebabkan oleh fermentasi yang diikuti dengan meningkatnya kadar protein. Kadar protein yang tinggi akan menyebabkan granula pati tertanam di dalam matriks protein, dimana selanjutnya akan menghalangi air yang berdifusi ke dalam pori pati sehingga mengurangi daya serap air (Shiraga *et al.* 2016, Huisken Mejouyo *et al.* 2022). Sedangkan penurunan daya serap minyak disebabkan oleh kandungan protein dimana terdiri rantai cabang asam amino yang bersifat hidrofilik sehingga lebih memilih mengikat molekul air daripada molekul lemak (Shi *et al.* 2022). Tidak hanya itu, rendahnya nilai daya serap minyak dibandingkan nilai daya serap air dapat disebabkan oleh sedikitnya rantai cabang asam amino yang bersifat hidrofobik yang terbentuk akibat proses fermentasi dimana

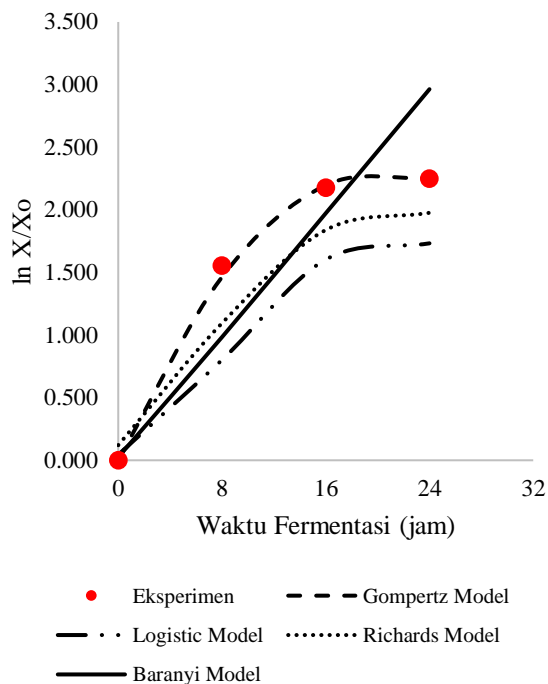
rantai tersebut dapat mengikat sejumlah lemak (Kumoro and Hidayat 2018b).

Dengan ini, waktu fermentasi optimal dapat ditentukan berdasarkan hasil uji sifat fisikokimia tepung biji durian terfermentasi pada konsistensi biji durian 15% (b/v) dengan konsentrasi bakteri *L. plantarum* sebesar 5% (v/v). Waktu fermentasi optimal dicapai jika pada saat tersebut kadar gugus karboksil, kelarutan dan *swelling power* mencapai nilai yang tertinggi. Meskipun nilai *swelling power* dan *solubility* tertinggi pada waktu fermentasi 8 jam tetapi kadar gugus karboksil sangat rendah. Hal ini dikarenakan belum ada produk yang terbentuk dari proses fermentasi dan penurunan terhadap nilai *swelling power* dan *solubility* tidak terlalu signifikan. Penurunan tersebut diakibatkan oleh hidrolisis cabang rantai karbon dalam molekul pati seperti yang terjadi selama fermentasi, ada kemungkinan ikatan hidrogen antarmolekul dari pemecahan mengurangi jumlah gugus hidroksil bebas dimana molekul air yang memiliki ikatan hidrogen tidak mampu berikatan dengan gugus hidroksil yang ada pada granula pati. Hal ini akan menyebabkan rendahnya penyerapan air dan pembengkakan selama perlakuan panas (Klein et al. 2014)..

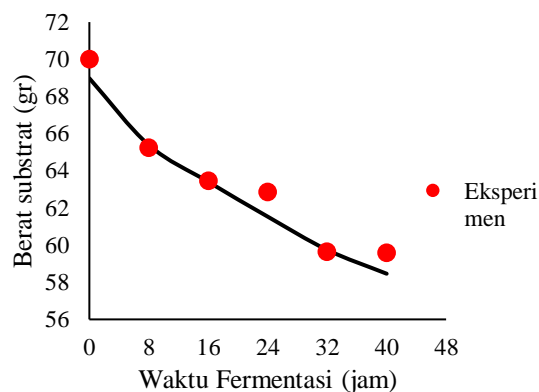
### Profil Jumlah Bakteri dan Substrat *L. plantarum*

Pertumbuhan bakteri *L. plantarum* dalam konsistensi biji durian selama proses fermentasi dihitung berdasarkan metode Angka Lempeng Total (ALT) yang digunakan oleh (da Silva Sabo et al. 2017) dengan sedikit modifikasi. Kemudian, hasilnya yaitu profil pertumbuhan bakteri (Gambar 14) dan massa substrat pada suspensi biji durian (Gambar 15).

Penelitian-penelitian terdahulu tentang fase pertumbuhan beberapa bakteri asam laktat (LAB) dan kemampuannya dalam memproduksi asam laktat dilakukan melalui percobaan fermentasi secara *batch* (Hashemi et al. 2017, Jia et al. 2023). Pemodelan terhadap parameter kinetika yang diuraikan dengan metode Runge-Kutta orde 3 sehingga menghasilkan laju pertumbuhan spesifik maksimal *L. plantarum* sebesar 1,902/jam. Konsentrasi bakteri ( $X_m$ ) diperoleh diperoleh ( $8,69 \times 10^{20}$ ) CFU/mL,  $K_d$  sebesar 1,631/jam,  $Y_{x/s}$  sebesar 5,375 CFU/ml  $g^{-1}$ , dan  $K_s$  sebesar 4,49 g/l.



Gambar 14 Profil pertumbuhan bakteri *L. plantarum*



Gambar 15 Profil degradasi massa substrat

Perolehan data parameter kinetika pertumbuhan bakteri dibandingkan dengan beberapa model dan hasilnya sesuai dengan Gompertz Model, sedangkan laju spesifik penurunan substrat sesuai dengan Modify Logistic Model (Mitchell et al. 2019). Keberhasilan dari proses fermentasi dapat dilihat dari berat substrat yang semakin menurun selama proses berlangsung. Hal ini dikarenakan sebagian dari gugus karboksil yang teroksidasi akibat proses fermentasi larut di dalam air karena sifatnya yang hidrofilik.

### KESIMPULAN

Nilai derajat putih terbaik ( $L=80\%$ ) berlangsung pada waktu perendaman 120 menit dengan besar residu sulfat 102,56 ppm. Formula

terbaik yang digunakan untuk fermentasi biji durian dengan konsentrasi substrat 15% (b/v) dan konsentrasi starter 5% (v/v) adalah selama 24 jam dengan kadar gugus karboksil 1,028%, kadar gugus karbonil 0,48%, nilai derajat substitusi 0,078, daya kembang 8,5 g/g, kelarutan dalam air 7,64%, daya serap air 162,43%, dan daya serap minyak 28,81%. Laju pertumbuhan spesifik maksimal *L. plantarum* pada suspensi media biji durian sebesar 1,902/jam menggunakan persamaan diferensial orde satu sesuai teori Gombertz. Nilai konsentrasi bakteri maksimum ( $X_{max}$ ),  $K_d$ ,  $K_s$  dan  $Y_{x/s}$  secara berturut-turut yang diperoleh pada penelitian ini adalah  $8,69 \times 10^{20}$  CFU/ml, 1,631/jam, 4,49 g/L, 5,375 CFU/ml  $g^{-1}$  L. Diharapkan penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar pada studi perancangan bioreaktor dalam memproduksi tepung biji durian yang mampu menggantikan tepung terigu komersil atau memenuhi baku mutu SNI 3751:2018.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anasiru, M. A., L. Ntau, M. F. Sumual, J. Assa, and R. Labatjo. 2019. The effect of fermentation period on physicochemical properties of lactobacillus casei fermented sweet corn meal (*Zea may saccharate sturt*). *Food Research* 3(1):64–69.
- Aryanti, N., F. Maharani, D. H. Wardhani, K. Haryani, and F. Maharani. 2017. Kinetic study of solid fermentation of amorphophallus oncophyllus flour using aspergillus niger and its prebiotic potential. *Capathian Journal of Food Science and Technology* 9(2):43–56.
- Baraheng, S., and T. Karrila. 2019. Chemical and functional properties of durian (*Durio zibethinus Murr.*) seed flour and starch. *Food Bioscience* 30.
- Blok, A. E., D. P. Bolhuis, L. N. Arnaudov, K. P. Velikov, and M. Stieger. 2023. Influence of thickeners (microfibrillated cellulose, starch, xanthan gum) on rheological, tribological and sensory properties of low-fat mayonnaises. *Food Hydrocolloids* 136.
- BPS. 2022. *Fruit Crop Production in Indonesia 2021*.
- BSN. 2018. SNI 3751:2018 Tepung Terigu:1–39.
- FAO. 1995. General standard for food additives.
- FAO. 1997. Manual of food quality control. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fonseca, L. M., J. R. Gonçalves, S. L. M. El Halal, V. Z. Pinto, A. R. G. Dias, A. C. Jacques, and E. da R. Zavareze. 2015. Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT* 60(2):714–720.
- Hashemi, S. M. B., A. Mousavi Khaneghah, F. J. Barba, Z. Nemati, S. Sohrabi Shokofti, and F. Alizadeh. 2017. Fermented sweet lemon juice (*Citrus limetta*) using *Lactobacillus plantarum* LS5: Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities. *Journal of Functional Foods* 38:409–414.
- Hidayat, J. P., A. Hariyadi, and F. Chosta. 2022a. Bentonite and RHA Adsorption Performance Against Characteristics Waste-Cooking Oil. *J. Sains dan Teknologi Pangan* 7(6):5600–5614.
- Hidayat, J. P., F. Robiandi, M. Arisalwadi, and A. Hariyadi. 2022b. Opportunity of durian seed flour as an alternative to commercial wheat flour. *Journal of Agritechnology and Food Processing* 2(2):54–67.
- Hidayat, J. P., H. A. Romadhona, N. Sholihah, and S. Munfarida. 2023. Aloe vera gel-based edible coating characterization by onion powder fortification method as an antimicrobial. *Agrointek* 17(3):493–501.
- Huisken Mejouyo, P. W., E. M. Tiaya, N. R. Sikame Tagne, S. T. Tiwa, and E. Njeugna. 2022. Experimental study of water-sorption and desorption of several varieties of oil palm mesocarp fibers. *Results in Materials* 14.
- Jia, J., L. Tian, Q. Song, X. Liu, J. Rubert, M. Li, and X. Duan. 2023. Investigation on physicochemical properties, sensory quality and storage stability of mayonnaise prepared from lactic acid fermented egg yolk. *Food Chemistry* 415.
- Klein, B., N. L. Vanier, K. Moomand, V. Z. Pinto, R. Colussi, E. Da Rosa Zavareze, and A. R. G. Dias. 2014. Ozone oxidation of cassava starch in aqueous solution at different pH. *Food Chemistry* 155:167–173.
- Kumoro, A. C., and J. P. Hidayat. 2018a. Functional and thermal properties of flour obtained from submerged fermentation of durian (*Durio Zibethinus Murr.*) seed chips using *Lactobacillus plantarum*.

- Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences 12(1):607–614.
- Kumoro, A. C., D. R. Lukiwati, D. Praseptianga, M. Djaeni, R. Ratnawati, J. P. Hidayat, and F. D. Utari. 2019. Effect of drying and milling modes on the quality of white rice of an Indonesian long grain rice cultivar. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 18(2):195–203.
- Kumoro, A. C., S. Mariana, T. H. Maurice, and J. P. Hidayat. 2022. Pectin Derived from Hydrolysis of Ripe Kepok Kuning Banana Peel Powder Employing Crude Pectinases Produced by *Aspergillus niger*. *Sains Malaysiana* 51(7):2047–2059.
- Kumoro, A. C., S. Mariana, T. H. Maurice, J. P. Hidayat, R. Ratnawati, and D. S. Retnowati. 2020. Extraction of pectin from banana (*Musa acuminata* x *balbisiana*) peel waste flour using crude enzymes secreted by *Aspergillus niger*. Pages 1–7 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing Ltd.
- Kumoro, A., and J. Hidayat. 2018b. Effect of soaking time in sodium metabisulfite solution on the physicochemical and functional properties of durian seed flour. Pages 1–5 MATEC Web of Conferences. EDP Sciences.
- Latimer, G. W. J. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International.
- Liu, X. L., C. F. Zhu, H. C. Liu, and J. M. Zhu. 2022. Quantitative analysis of degree of substitution/molar substitution of etherified polysaccharide derivatives. *Designed Monomers and Polymers* 25(1):75–88.
- Luz, C., V. D'Opazo, J. M. Quiles, R. Romano, J. Mañes, and G. Meca. 2020. Biopreservation of tomatoes using fermented media by lactic acid bacteria. *LWT* 130.
- Ma, Z. Y., E. Ungerfeld, Z. Ouyang, X. L. Zhou, X. F. Han, Y. Q. Zeng, and Z. L. Tan. 2022. Effect of *Lactobacillus plantarum* Inoculation on Chemical Composition, Fermentation, and Bacterial Community Composition of Ensiled Sweet Corn Whole Plant or Stover. *Fermentation* 8(1).
- Mitchell, D. A., M. H. Sugai-Guérios, and N. Krieger. 2019. Solid-State Fermentation. Page Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Elsevier.
- Munfarida, S., and J. P. Hidayat. 2023. Karakterisasi Pati *Canna Edulis* Kerr. Termodifikasi dan Uji Produk pada Pembuatan Roti Tawar. *Jurnal Keteknik Pertanian* 11(1):16–28.
- Nagarjun, P. A. 2015. Parametric optimization of lactic acid production and its scale up using free and immobilized cells of *Lactobacillus amylovorus* NRRL B-4542. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 3(5):159–168.
- Natarajan, M., S. P. Suresh Babu, M. Balasubramanian, R. Ramachandran, and J. Jesteena. 2022. Bioactive exopolysaccharide from endophytic *Bacillus thuringiensis* SMJR inhibits food borne pathogens and enhances the shelf life of foods. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 27.
- Pachekrepapol, U., Y. Kokhuenkhan, and J. Ongsawat. 2021. Formulation of yogurt-like product from coconut milk and evaluation of physicochemical, rheological, and sensory properties. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 25.
- Posoongnoen, S., R. Ubonbal, S. Thammasirirak, J. Daduang, H. Minami, K. Yamamoto, and S. Daduang. 2015.  $\alpha$ -amylase from mon thong durian (*Durio zibethinus* murr. cv. mon thong)-nucleotide sequence analysis, cloning and expression. *Plant Biotechnology* 32(1):1–10.
- Purwitasari, L., M. P. Wulanjati, Y. Pranoto, and L. D. Witasari. 2023. Characterization of porous starch from edible canna (*Canna edulis* Kerr.) produced by enzymatic hydrolysis using thermostable  $\alpha$ -amylase. *Food Chemistry Advances* 2.
- Rahma, I. N., R. H. Pratama, Alfiyanti, D. R. Alwi, W. I. S. T. Astuti, and D. H. Wardhani. 2017. Swelling power and solubility of modified breadfruit flour using *Lactobacillus plantarum*. Page Journal of Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing.
- Retnowati, D. S., A. C. Kumoro, and R. Ratnawati. 2018. Physical, thermal and functional properties of flour derived from Ubi Gembili (*Dioscorea Esculenta* L.) tubers grown in Indonesia. *Potravinárstvo*

- Slovak Journal of Food Sciences 12(1):539–545.
- Segura-Campos, M. R., S. M. López-Sánchez, A. Castellanos-Ruelas, D. Betancur-Ancona, and L. Chel-Guerrero. 2015. Physicochemical and Functional Characterization of Mucuna Depigmented Starch for Potential Industrial Applications. *International Journal of Organic Chemistry* 05(01):1–10.
- Shi, Z., Z. Xu, J. Hu, W. Wei, X. Zeng, W. W. Zhao, and P. Lin. 2022. Ascorbic acid-mediated organic photoelectrochemical transistor sensing strategy for highly sensitive detection of heart-type fatty acid binding protein. *Biosensors and Bioelectronics* 201.
- Shiraga, K., Y. Ogawa, and N. Kondo. 2016. Hydrogen Bond Network of Water around Protein Investigated with Terahertz and Infrared Spectroscopy. *Biophysical Journal* 111(12):2629–2641.
- Sieuwert, S., P. A. Bron, and E. J. Smid. 2018. Mutually stimulating interactions between lactic acid bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* in sourdough fermentation. *LWT* 90:201–206.
- da Silva Sabo, S., N. Pérez-Rodríguez, J. M. Domínguez, and R. P. de Souza Oliveira. 2017. Inhibitory substances production by *Lactobacillus plantarum* ST16Pa cultured in hydrolyzed cheese whey supplemented with soybean flour and their antimicrobial efficiency as biopreservatives on fresh chicken meat. *Food Research International* 99:762–769.
- Soumya, M. P., K. Sasikumar, A. Pandey, and K. M. Nampoothiri. 2019. Cassava starch hydrolysate as sustainable carbon source for exopolysaccharide production by *Lactobacillus plantarum*. *Bioresource Technology Reports* 6:85–88.
- Sun, L., X. Sun, Y. Du, Y. Fang, W. Yang, Q. Hu, and F. Pei. 2022. Effect of the starch structure fermented by *Lactobacillus plantarum* LB-1 and yeast on rheological and thermomechanical characteristics of dough. *Food Chemistry* 369.
- Suzihaque, M. U. H., N. A. M. Zaki, H. Alwi, U. K. Ibrahim, S. F. Abd Karim, and N. K. Anuar. 2022. Jackfruit seed as an alternative replacement for starch flour. *Materials Today: Proceedings* 63:S451–S455.
- Taleghani, H. G., G. D. Najafpour, and A. A. Ghoreyshi. 2016. A study on the effect of parameters on lactic acid production from whey. *Polish Journal of Chemical Technology* 18(1):58–63.
- Tran, P. L., D. H. D. Nguyen, V. H. Do, Y. L. Kim, S. Park, S. H. Yoo, S. Lee, and Y. R. Kim. 2015. Physicochemical properties of native and partially gelatinized high-amylose jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) seed starch. *LWT - Food Science and Technology* 62(2):1091–1098.
- Tripathi, A. D., S. K. Srivastava, P. Singh, R. P. Singh, S. P. Singh, A. Jha, and P. Yadav. 2015. Optimization of process variables for enhanced lactic acid production utilizing paneer whey as substrate in SMF. *Applied Food Biotechnology* 2(2):47–56.
- Wardhani, D. H., H. Cahyono, H. N. Ulya, A. C. Kumoro, K. Anam, and J. A. Vázquez. 2022. Spray-dryer feed preparation: Enzymatic degradation of glucomannan for iron nanoencapsulation. *AIMS Agriculture and Food* 7(3):683–703.
- Wardhani, D. H., A. C. Kumoro, A. Hakiim, N. Aryanti, and H. Cahyono. 2019. Kinetic modeling studies of enzymatic purification of glucomannan. *Chemistry and Chemical Technology* 13(3):384–390.
- Wei, C., Y. Ge, S. Zhao, D. Liu, J. Jiliu, Y. Wu, X. Hu, M. Wei, Y. Wang, W. Wang, L. Wang, and L. K. Cao. 2022. Effect of Fermentation Time on Molecular Structure and Physicochemical Properties of Corn Ballast Starch. *Frontiers in Nutrition* 9.
- Widayat, H. Satriadi, B. Cahyono, D. Girsang, N. Prabandari, and A. S. Dita. 2020. The characterization of physicochemical, microbiological and sensorial red ginger yogurt during fermentation. *Food Research* 4(5):1753–1757.
- Yaqin, N., A. N. Al-Baarri, A. M. Legowo, Widayat, and M. A. Budihardjo. 2019. Physical characteristics of modified cassava flour wastewater at room temperature. *Page IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing.
- Yaruro Cáceres, N. C., H. Suarez Mahecha, A. de Francisco, S. M. Vásquez Mejia, and C.



- Diaz Moreno. 2021. Physicochemical, thermal, microstructural and paste properties comparison of four achira (*Canna edulis* sp.) starch ecotypes. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 25.
- Zhou, W., J. Yang, Y. Hong, G. Liu, J. Zheng, Z. Gu, and P. Zhang. 2015. Impact of amylose content on starch physicochemical properties in transgenic sweet potato. *Carbohydrate Polymers* 122:417–427.
- Zuhri, M. A. A., Setyohadi, and Ridwansyah. 2015. Chemical and functional characteristics of modified flour from durian seeds. *J. Rekayasa Pangan dan Pert.* 3(2):217–222.