



PERUBAHAN KANDUNGAN ASAM FITAT DAN ASAM AMINO ESENSIAL BAHAN-BAHAN ORGANIK PAKAN YANG DIFERMENTASI RAGI TEMPE

Changes in the Contents of Phytic Acid and Essential Amino Acids of Animal Feed Organic Materials Fermented by Tempe Starter

Arina Muniroh¹, Imam Suja'i², Aji Wibowo², Henry Kasman Hadi Saputra³,
Etyun Yunita¹, Catur Sriherwanto^{2*}

¹Dept. Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta

²Balai Bioteknologi, BPPT, Gedung 630 PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314

³Dept. Teknologi & Manajemen Akuakultur, Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat 16680

*Email: catur.sriherwanto@bppt.go.id

ABSTRACT

The contents of antinutrients and nutrients are important in the selection of feed ingredients, especially for monogastric animals. The aim of this study is to determine the change in the contents of antinutrient phytic acid and nutrient essential amino acid in selected organic materials. Nine organic ingredients of agro-industrial by-products, namely rice bran, coffee skin, cassava bagasse, corn, coconut dreg, soy bean meal, pollard, corn gluten feed (CGF), and copra meal were fermented in solid state using tempeh starter for 48 hours at 30 °C. Dense mycelia overgrowing evenly on the top, bottom, and cross-sliced surfaces was observed on rice bran, maize and copra meal substrates. These 3 selected organic materials were then analysed for the content of phytic acid and essential amino acids. The results showed that the lowest decrease (75.80%) in phytic acid content occurred in maize, namely from $18.49 \pm 0.41 \text{ mg g}^{-1}$ (before fermentation) to $4.48 \pm 0.19 \text{ mg g}^{-1}$ (after fermentation). The highest increase (59%) of total essential amino acids occurred in copra meal, namely from $38,991.89 \pm 447.12 \text{ mg kg}^{-1}$ (before fermentation) to $61,816.56 \pm 894.24 \text{ mg kg}^{-1}$ (after fermentation).

Keywords: *phytic acid, essential amino acids, fermentation, tempeh starter, organic material*

ABSTRAK

Kandungan antinutrisi dan nutrisi merupakan hal penting dalam pemilihan bahan pakan, terutama untuk hewan monogastrik. Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan kandungan antinutrisi asam fitat dan nutrisi asam amino esensial pada bahan organik tertentu yang terpilih. Sembilan bahan organik yang merupakan hasil samping agroindustri, yakni dedak padi, kulit kopi, onggok, jagung, ampas kelapa, bungkil kedelai (*soy bean meal*), dedak gandum (*pollard*), produk samping jagung corn gluten feed (CGF), dan bungkil kopra difermentasi padat menggunakan ragi tempe selama 48 jam pada suhu 30°C. Miselium yang tumbuh subur, padat, dan merata pada permukaan atas, bawah, dan irisan melintang teramati pada dedak padi, jagung, dan bungkil kopra. Tiga bahan organik terpilih ini kemudian dianalisa kandungan asam fitat dan asam amino esensialnya. Hasil menunjukkan bahwa penurunan terbesar (75,80%) kandungan asam fitat terjadi pada jagung, yakni dari $18,49 \pm 0,41 \text{ mg g}^{-1}$ (sebelum fermentasi) menjadi $4,48 \pm 0,19 \text{ mg g}^{-1}$ (setelah fermentasi). Peningkatan tertinggi (59%) asam amino esensial total terjadi pada bungkil kopra, yakni dari $38.991,89 \pm 447,12 \text{ mg kg}^{-1}$ (sebelum fermentasi) menjadi $61.816,56 \pm 894,24 \text{ mg kg}^{-1}$ (setelah fermentasi).

Kata Kunci: asam fitat, asam amino esensial, fermentasi, ragi tempe, bahan organik

PENDAHULUAN

Asam fitat merupakan salah satu zat antinutrisi utama yang ada pada tanaman pangan yang keberadaannya menurunkan ketersediaan hayati (*bioavailability*) dari zat-zat nutrisi (Pramitha et al. 2020, Samtiya et al. 2020). Karakter antinutrisi ini terutama berlaku pada hewan monogastrik dan manusia yang sistem pencernaan makanannya tidak mampu memetabolisme asam fitat (Kumar dan Sinha 2018). Secara khusus, asam fitat mengurangi pemanfaatan nutrisi oleh organisme pengonsumsi bahan organik yang mengandung asam fitat tersebut dengan cara membentuk kompleks dengan ion logam dan menghambat penyerapannya, mengurangi ketersediaan hayati mineral, dan menjadi penyebab kekurangan logam seng (Samtiya et al. 2020).

Sejumlah upaya sudah dikaji dalam rangka menurunkan kandungan asam fitat ini pada bahan pangan, diantaranya melalui pemanasan uap bertekanan (*autoclaving*), perkecambahan (*germination*), perendaman (*soaking*), penghilangan lapisan kulit luar (*debranning*), dan fermentasi (*fermentation*) (Samtiya et al. 2020). Secara khusus, metode fermentasi telah banyak dilakukan dalam penelitian sebelumnya untuk menurunkan kadar asam fitat pada kacang lupin (Villacrés et al. 2020), biji asam Jawa (Olagunju et al. 2018), hasil samping bungkil kedelai (Tudor et al. 2013, Chen et al. 2014, Chen et al. 2016), produk samping industri sereal (Verni et al. 2019), bungkil *canola* dan *camelina* (Olukomaiya et al. 2019), dedak gandum (Majzoobi et al. 2014), okara (Vong et al. 2018), roti gandum (Yildirim dan Arici 2019), adonan biji pohon ek (Hashemi et al. 2019), jagung (Anaemene dan Fadupin 2020), sorgum (Venkatasubbaiah dan Rajesh 2020), dedak padi (Marsetyo et al. 2021), tepung tef (*Eragrostis tef*) (Fischer et al. 2014), biji serta tepung *quinoa*, *canihua*, dan *amaranth* (Castro-Alba et al. 2019); serta bungkil biji kapuk, bungkil kacang tanah, dan kulit kacang tanah (Duodu et al. 2018).

Selain dapat menurunkan konsentrasi asam fitat, aktivitas enzimatik mikroba dalam fermentasi secara simultan juga dapat meningkatkan kualitas nutrisi. Di antara nutrisi yang dapat ditingkatkan

melalui fermentasi yang juga menurunkan kandungan asam fitat ini adalah protein (Alhomodi et al. 2021), asam amino esensial (Duodu et al. 2018), senyawa antioksidan (Villacrés et al. 2020), serat pangan larut, asam amino bebas, *isoflavone aglycones*, dan asam fenolat bebas (Vong et al. 2018), serta meningkatkan ketersediaan hayati (*bioavailability*) beragam mineral, senyawa fenolik, dan vitamin (Verni et al. 2019).

Proses pembuatan tempe, yang merupakan makanan khas tradisional Indonesia (Shurtleff dan Aoyagi 2020), adalah teknologi fermentasi padat menggunakan ragi tempe atau kapang dari genus *Rhizopus* pada substrat kedelai. Teknologi pengolahan pangan yang murah, menyehatkan, dan berkelanjutan ini dapat digunakan untuk memproduksi pangan lain kaya protein menggunakan aneka biji-bijian maupun kacang-kacangan (Ahnhan-Winarno et al. 2021). Aktivitas mikroba selama fermentasi padat tersebut diketahui berdampak pada penurunan kandungan asam fitat kedelai, dan pada saat yang sama memperbaiki nutrisi tertentu. Di antara aspek nutrisi yang meningkat pada fermentasi tempe adalah senyawa fenolik, *isoflavone aglycone*, dan aktivitas antioksidan (Ahmad et al. 2015, Kuligowski et al. 2016, Xiao et al. 2016), ketersediaan kalsium, magnesium, dan fosfor (Duliński et al. 2017), komposisi asam amino, asam alfa linolenat, mineral, vitamin E dan D2 (Gmoser et al. 2020), asam gamma aminobutirat dan asam gamma linolenat (Polanowska et al. 2020).

Efektivitas teknologi fermentasi tempe tersebut dalam mengurangi asam fitat dan meningkatkan kandungan nutrisi tertentu pada bahan organik dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas nutrisi bahan pakan berbasis produk samping agro-industri. Tujuan penelitian ini adalah memilih bahan pakan terbaik dari sembilan bahan organik berupa dedak padi, kulit kopi, onggok, jagung, ampas kelapa, bungkil kedelai (*soy bean meal*), dedak gandum (*pollard*), produk samping jagung *corn gluten feed* (CGF), dan bungkil kopra melalui fermentasi padat menggunakan ragi tempe; serta mengetahui kandungan asam fitat dan asam amino esensialnya.

BAHAN DAN METODE

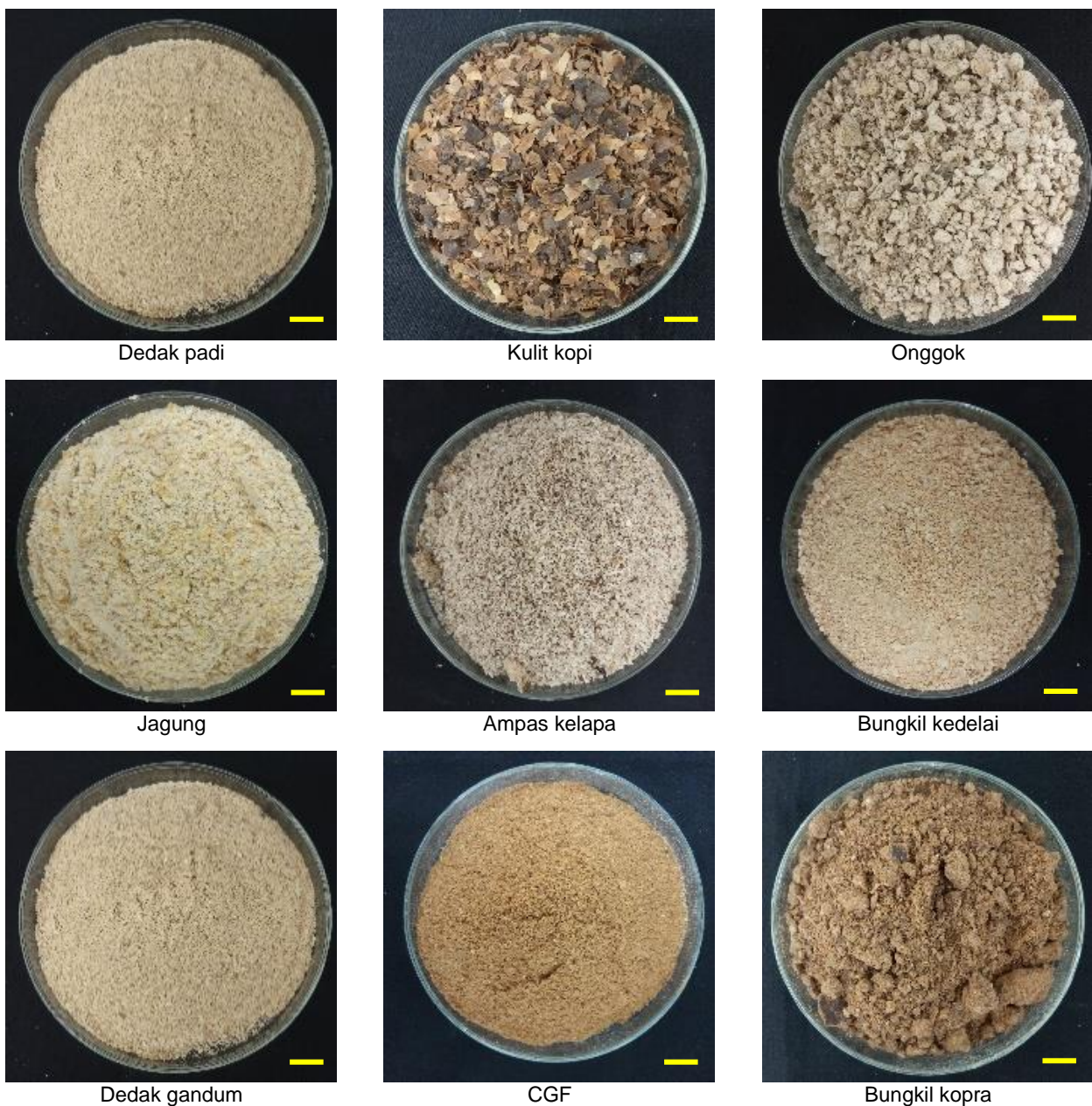
Penelitian ini terdiri dari 3 tahapan, yakni seleksi bahan organik terbaik sebagai substrat fermentasi menggunakan ragi tempe, pengukuran biomassa kapang, kandungan asam fitat, dan asam amino esensial, serta analisis data. Seleksi bahan organik terbaik dilakukan berdasarkan hasil pengamatan pertumbuhan kapang tempe secara kualitatif maupun kuantitatif. Bahan organik terseleksi ini lalu dianalisa lebih lanjut untuk mengetahui kadar biomassa miselium kapang tempenya berikut asam fitat dan asam amino esensialnya.

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan dari bulan Juni sampai dengan Desember 2020 di Laboratorium Agromikrobiologi, Balai Bioteknologi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Lembaga ini berlokasi di Gedung 630, Kawasan Puspitek, Tangerang Selatan, Banten.

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa hasil samping agroindustri sebagai bahan organik (Gambar 1), dan ragi tempe. Bahan organik yang berjumlah 9 tersebut adalah dedak padi, kulit kopi,



Gambar 1. Sembilan bahan organik yang berasal dari produk samping agroindustri. (Garis skala kuning: 1 cm)

Tabel 1. Komposisi nutrisi bahan pakan

No.	Bahan Pakan	Air (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Energi (kcal/kg)	Serat Kasar (%)	Abu (%)
1	Dedak padi ¹	9,13	9,98	8,00	4146,33	17,40	10,73
2	Kulit kopi ²	11,08	8,76	1,29	3892,00	29,65	8,15
3	Onggok ¹	11,69	2,36	0,24	3612,00	28,43	3,99
4	Jagung ³	9,90	7,89	1,44	3854,94	1,82	1,19
5	Ampas kelapa ⁴	6,51	6,19	31,57	-	33,96	3,60
6	Bungkil kedelai ¹	10,03	51,59	1,78	4409,33	3,02	6,34
7	Dedak gandum ¹	10,11	18,68	4,13	4257,00	10,54	4,82
8	CGF ¹	8,30	23,93	2,25	2882,58	9,73	5,49
9	Bungkil kopra ¹	8,94	27,19	1,82	4157,00	22,08	7,32

¹ Data bersumber dari toko penjual bahan pakan, yang merupakan hasil analisis Laboratorium Balai Penelitian Ternak, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Ciawi, Bogor. Data ini adalah rerata dari 3 kali ulangan, kecuali onggok 4 kali ulangan; ²(Dinata and Utami 2019); ³(Tahuk et al. 2016); ⁴(Hafsah et al. 2020)

Tabel 2. Perhitungan berat, ragi, dan volume air per cawan petri bahan pakan

No.	Bahan Pakan	Berat (g)	Ragi (g)	Volume Air (mL)
1	Dedak padi	25	0,50	27,5
2	Kulit kopi	15	0,30	10,5
3	Onggok	10	0,20	25,0
4	Jagung	32	0,64	16,5
5	Ampas kelapa	12	0,24	20,0
6	Bungkil kedelai	22	0,44	13,5
7	Dedak gandum	10	0,20	10,0
8	CGF	28	0,56	26,5
9	Bungkil kopra	13	0,26	15,0

onggok, jagung, ampas kelapa, bungkil kedelai (*soy bean meal*), dedak gandum (*pollard*), produk samping jagung *corn gluten feed* (CGF), dan bungkil kopra (Tabel 1). Bahan organik tersebut didapatkan dari CV. Nuansa Baru di Jln. Raya Parung KM 26 Bogor, Desa Pondok Udik, Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor (S 6° 29' 32.5", E 106° 44' 38.718") sedangkan ragi tempe (tanpa merek) diperoleh dari industri tempe lokal, Serpong, Tangerang Selatan (S 6° 19' 33.787", E 106° 39' 50.094"). Seluruh bahan, alat, dan proses fermentasi dilakukan tanpa sterilisasi dan dalam kondisi tidak steril.

Fermentasi padat

Bahan organik yang berbentuk butiran kering dihaluskan menggunakan *blender* dapur (Philips Cucina, HR 1741, China) dan diayak menggunakan saringan teh berukuran ± 200 mesh (Erizal et al. 2016). Setiap bahan dimasukkan ke dalam cawan petri hingga

permukaannya rata setinggi mulut cawan tersebut, lalu ditambahkan air mineral dan ragi tempe sebanyak 2% dari berat keringnya, setelah itu diaduk rata. Berat bahan organik per cawan petri berbeda-beda untuk setiap jenisnya karena perbedaan massa jenis atau kepadatan bahan organik tersebut. Setelah dimasukkan ke dalam cawan petri, bahan organik tersebut juga tidak dipadatkan agar rongga-rongga antarpartikel tetap tersedia sebagai ruang transfer massa dan panas (*mass and heat transfer*). Karena menggunakan prinsip fermentasi padat, maka volume air kran yang ditambahkan berbeda-beda untuk setiap bahan organik tersebut, sesuai dengan daya serap maksimal masing-masing bahan organik tersebut yang telah diukur sebelumnya (Tabel 2), sehingga tidak ada air bebas yang tidak terikat substrat (Behera dan Ray 2016). Penambahan air yang melebihi kapasitas maksimal daya serap bahan organik tersebut akan menyisakan

Tabel 3. Metode analisis asam amino esensial

Asam Amino Esensial Yang Dianalisa	Kode Metode
Fenilalanin, isoleusin, valin, lisin, leusin, threonin, dan histidin	18-5-17/MU/SMM-SIG (UPLC)
Metionin	18-12-38/MU/SMM-SIG (LCMS/MS)
Triptofan	18-5-63/MU/SMM-SIG (HPCL)
Keterangan:	
UPLC	: Ultra Performance Liquid Chromatography
LCMS/MS	: Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry
HPLC	: High-Performance Liquid Chromatography

keberadaan air yang tidak terikat bahan organik tersebut (*free flowing water*) sehingga pertumbuhan kapang tempe kurang optimal dan bakteri kontaminan mudah tumbuh. Seluruh sampel kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C. Setiap sampel dilakukan 3 kali pengulangan, dan diamati pertumbuhan miseliumnya.

Seleksi bahan pakan

Seleksi bahan organik terbaik sebagai substrat fermentasi dilakukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan miselium pada permukaan bagian atas dan bagian bawah, serta pada permukaan irisan melintang sampel terfermentasi. Pengamatan menggunakan mikroskop stereo secara khusus dilakukan untuk melihat keberadaan miselium pada irisan melintang sampel sebagai bukti kemampuan kapang untuk tumbuh dengan baik dengan mengkolonisasi permukaan partikel bahan organik hingga ke bagian dalam.

Penentuan biomassa miselium

Penentuan biomassa miselium kapang tempe dilakukan hanya pada sampel tertentu saja, yakni yang memperlihatkan pertumbuhan kapang tempe terbaik. Penentuan biomassa ini dilakukan menggunakan metode Sukma et al. (2018) yang dimodifikasi. Sampel basah hasil fermentasi dihaluskan menggunakan mortar, lalu diambil 1 g dan dimasukkan ke dalam tabung *falcon* 15 mL. Sebanyak 7 mL larutan Na₂SO₄ 15% ditambahkan, di *vortex* selama 30 detik hingga menghasilkan suspensi homogen lalu disentrifugasi 12.000 rpm selama 15 menit. Setelah sentrifugasi, suspensi tersebut akan berubah menjadi tiga lapisan: lapisan atas berupa miselium kapang tempe, lapisan tengah adalah

larutan Na₂SO₄ 15%, dan lapisan bawah adalah substrat bahan organik.

Lapisan atas dipisahkan menggunakan mikropipet yang ujung *pipet tipnya* telah dipotong agar miselium dapat mudah tersedot, dan dipindahkan ke permukaan kertas saring Whatman No.42. Larutan dan endapan yang tersisa di dalam tabung *falcon* lalu di *vortex* dan dituangkan ke kertas saring untuk mendapatkan sisa substrat bahan organik. Pembersihan sisa substrat yang masih tertinggal di tabung *falcon* dilakukan dengan pembilasan menggunakan larutan Na₂SO₄ 15%. Kertas saring yang mengandung biomassa dan substrat kemudian dioven pada 40°C sampai diperoleh berat tetap, yakni selama 24 jam. Konsentrasi biomassa miselium kapang tempe dihitung menggunakan rumus berikut:

$$X = \frac{x}{x + W} \times 100\%$$

X = konsentrasi biomassa (%)

x = berat kering miselium (g)

S = berat kering substrat (g)

Analisa asam fitat

Pengujian kadar fitat dilakukan menggunakan layanan jasa komersial di laboratorium Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (TPHP), Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Sampel sebanyak 10 g ditambahkan 50 mL larutan HNO₃ 0,5 M. Larutan ini dihomogenkan menggunakan pengaduk magnetik selama 2 jam pada suhu ruang, kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh digunakan untuk menetapkan kadar asam fitat.

Penentuan kadar asam fitat dilakukan secara spektrofotometri. Tabung reaksi yang berisi 0,5 mL filtrat ditambahkan 0,9 mL HNO₃ 0,9 M dan 1 mL FeCl₃ 0,3 mM.

Tabel 4. Hasil pengamatan makroskopis pertumbuhan miselium kapang tempe

No,	Bahan Pakan	Pertumbuhan Miselium Kapang Tempe pada:	
		permukaan atas (bidang cawan petri)	bagian dalam (irisian melintang)
1	Dedak padi	++	+++
2	Kulit kopi	+	+
3	Onggok	+	+
4	Jagung	++	+++
5	Ampas kelapa	++	+
6	Bungkil kedelai	+	+
7	Dedak gandum	++	+
8	CGF	-	+
9	Bungkil kopra	+++	+++

Keterangan:

Pertumbuhan miselium dilambangkan sebagai berikut:

- : tidak terdapat pertumbuhan sama sekali
- + : kurang bagus, jarang, dan tidak merata
- ++ : bagus, kurang padat, dan merata
- +++ : sangat bagus, padat, dan merata

Kemudian tabung reaksi ditutup, lalu direndam dalam air mendidih selama 20 menit. Setelah sedingin suhu ruang, 5 mL $C_5H_{12}O$ dan 1 mL larutan NH_4SCN 0,1mM ditambahkan, dan selanjutnya disentrifuge 1500 rpm selama 10 menit. Setelah terbentuk 2 lapisan, lapisan $C_5H_{12}O$ diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 465 nm dengan blanko $C_5H_{12}O$, 15 menit setelah penambahan NH_4SCN .

Analisa asam amino esensial

Analisis pengujian asam amino esensial dilakukan melalui jasa analisa komersial di laboratorium PT Saraswanti Indo Genetech Bogor, Jawa Barat. Adapun metode analisis yang digunakan disajikan dalam Tabel 3.

Analisis data

Analisis yang digunakan pada uji fitat dan asam amino esensial dilakukan secara kualitatif. Data yang dikumpulkan disajikan dalam bentuk tabel lalu dibahas secara deskriptif, kemudian membandingkan bahan organik yang difermentasi dan yang tidak difermentasi pada kandungan asam fitat serta asam amino esensial. Analisa biomassa miselium kapang tempe pada dedak padi, jagung dan bungkil kopra terhadap bahan pakan ikan, diuji statistika menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf kepercayaan 5%, kemudian dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seleksi bahan organik

Seleksi 9 bahan organik dengan fermentasi padat menggunakan ragi tempe selama 48 jam memperlihatkan adanya pertumbuhan miselium kapang tempe pada permukaan dedak padi, kulit kopi, onggok, jagung, ampas kelapa, bungkil kedelai (soy bean meal), dedak gandum (pollard), dan bungkil kopra dengan tingkat kepadatan miselium yang berbeda (Gambar 2 dan 3, Tabel 4). Kapang tempe memperlihatkan pertumbuhan terbaiknya pada bahan organik bungkil kopra, terlihat dari padatnya miselium yang teramat. Satu-satunya bahan organik yang tidak memperlihatkan pertumbuhan kapang tempe adalah CGF (Gambar 2). Namun, pengamatan lebih lanjut pada irisan melintang bahan organik yang telah difermentasi memperlihatkan pertumbuhan terbaik miselium kapan ditemukan pada sela-sela antarpartikel 3 jenis bahan organik saja, yakni dedak padi, jagung, dan bungkil kopra (Gambar 3). Berdasarkan pengamatan miselium kapang tempe pada permukaan atas dan irisan melintang ini maka dedak padi, jagung, dan bungkil kopra ditetapkan sebagai bahan organik terbaik sebagai substrat kapang tempe (Tabel 4), untuk kemudian dianalisa lebih lanjut kandungan biomassa miselium, asam fitat, dan asam amino esensialnya.

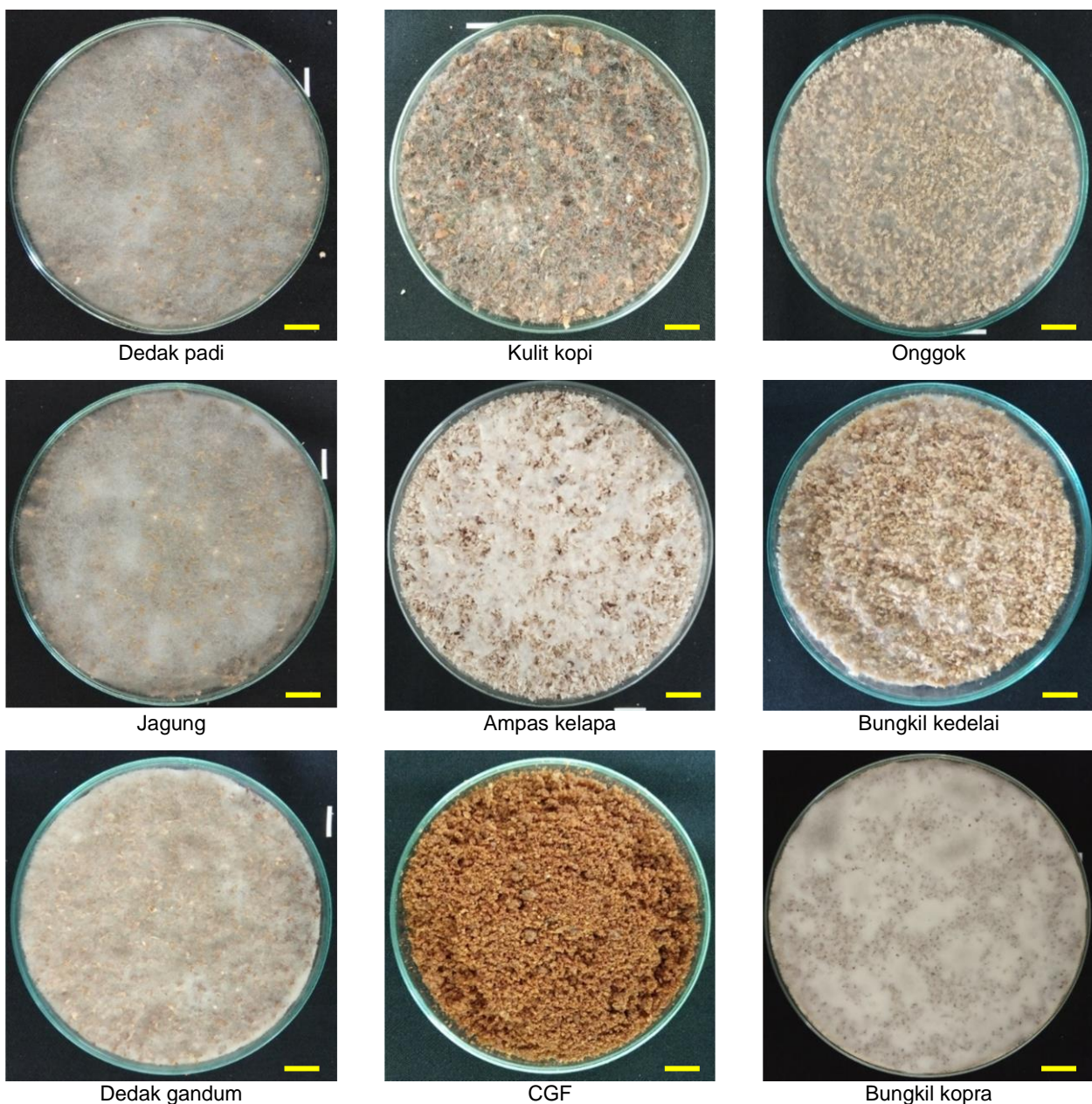
Kemampuan kapang tempe mampu tumbuh dengan baik pada dedak padi, jagung, dan bungkil kopra menunjukkan

ketiga bahan organik ini memiliki komposisi nutrisi yang mendukung pertumbuhan kapang pada kondisi fermentasi yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian sebelumnya juga telah menunjukkan bahwa kapang tempe mampu tumbuh pada dedak padi (Massarolo et al. 2016, Janary dan Gunathilake 2020), jagung (Sánchez-Magaña et al. 2019, Anigboro et al. 2020), dan bungkil kopra (Laining et al. 2017). Adapun pertumbuhan miselia yang kurang padat di bahan pakan lain kemungkinan disebabkan oleh sejumlah faktor. Kapang tempe sulit tumbuh pada onggok kemungkinan dikarenakan rendahnya kandungan protein

(Tabel 1). Pada 5 bahan pakan lain, yakni kulit kopi, ampas kelapa, bungkil kedelai, dan CGF, tidak diketahui pasti mengapa kapang tempe sulit tumbuh meskipun bahan tersebut mengandung nutrisi yang memadai (Tabel 1). Kemungkinannya adalah dikarenakan kelima bahan pakan tersebut mengandung faktor penghambat pertumbuhan kapang tempe yang tidak diketahui dan/atau kondisi fermentasi yang tidak optimal.

Asam fitat

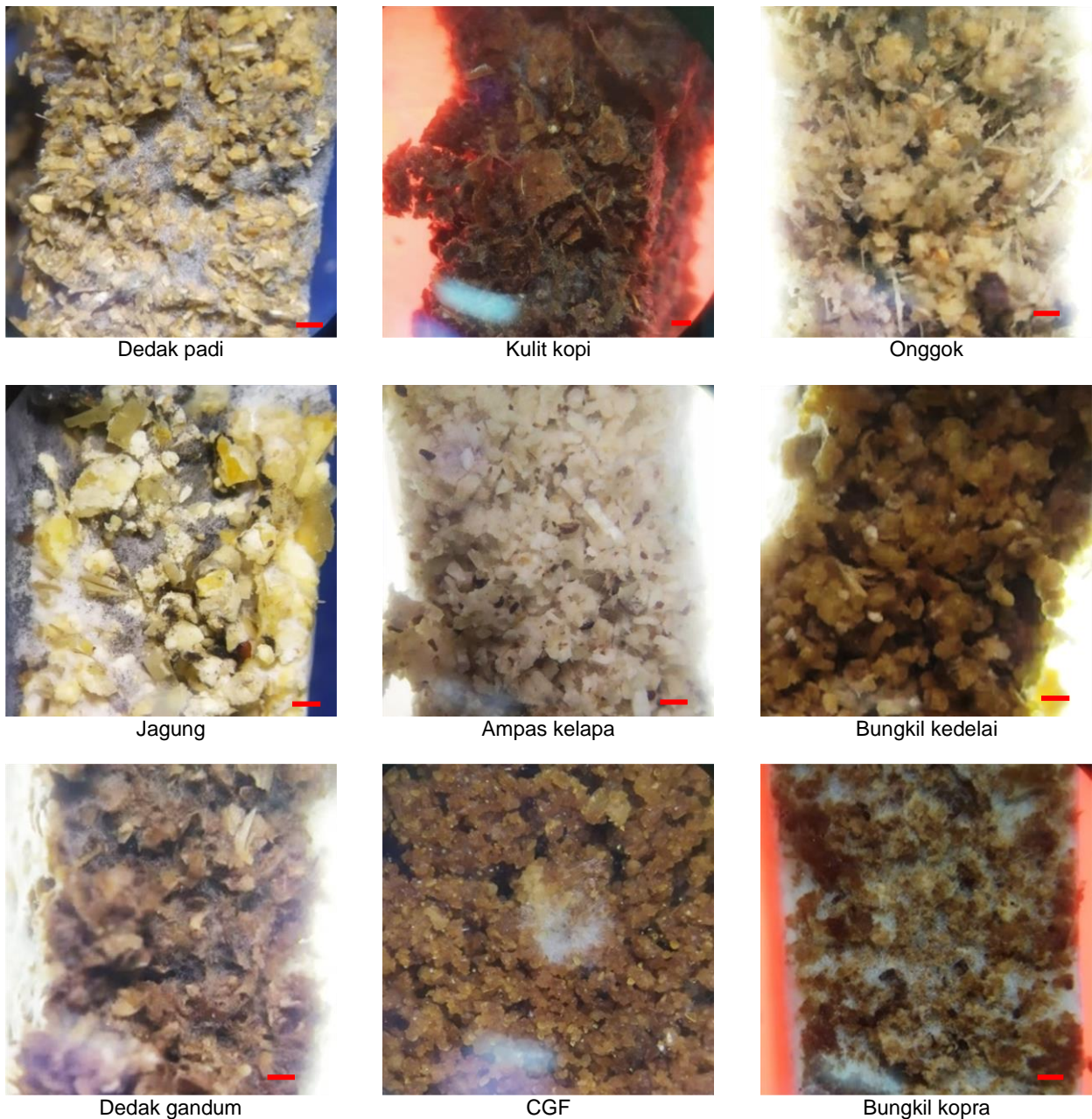
Asam fitat (*myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate*; InsP6) merupakan senyawa yang terdapat pada tanaman, yang



Gambar 2. Penampakan permukaan atas setelah 48 jam fermentasi ragi tempe pada sembilan bahan organik yang berasal dari produk samping agroindustri. (Garis skala kuning: 1 cm)

seringkali ditemukan pada vakuola biji tumbuhan, sebagai sarana untuk menyimpan fosfor, inositol, dan logam yang keberadaannya sangat penting bagi nutrisi tanaman (Shitan dan Yazaki 2013, Sandberg dan Scheers 2016). Sebagai zat antinutrisi, asam fitat dapat menurunkan ketersediaan zat-zat gizi seperti asam amino dan mineral seperti magnesium, kalsium, seng, dan besi (Godoy et al. 2018). Dalam penelitian ini, asam fitat pada ketiga bahan organik terpilih, seluruhnya mengalami penurunan lebih dari 40% dari konsentrasi awal sebelum difermentasi (Tabel 5). Penurunan terbesar

terjadi pada jagung yakni sebesar 75,80% kandungan asam fitat berkurang setelah fermentasi. Penurunan kadar asam fitat akibat fermentasi menggunakan kapang tempe ini sebanding dengan yang telah dilaporkan sebelumnya pada substrat gandum *oats* (*Avena sativa* L.) sebesar 63% (Cai et al. 2014), kedelai (*Glycine max*) sebesar 78% (Omodara dan Aderibigbe 2019), kacang merah serta biji jojoba sebesar masing-masing 34,6 dan 70% (Abu-Salem et al. 2014). Pada penelitian terdahulu ini, sebelum inokulasi menggunakan kapang tempe, substrat terlebih dahulu mengalami



Gambar 3. Penampakan penampang irisan melintang setelah 48 jam fermentasi ragi tempe pada sembilan bahan organik yang berasal dari produk samping agroindustri. (Garis skala merah: 1 mm)

Tabel 5. Kadar fitat dedak padi, jagung, dan bungkil kopra sebelum dan sesudah fermentasi

Bahan Organik	Kandungan Asam Fitat		
	Sebelum Fermentasi (mg g ⁻¹)	Setelah Fermentasi (mg g ⁻¹)	Penurunan (%)
Dedak padi	10,44 ± 0,18	4,39 ± 0,18	57,95
Jagung	18,49 ± 0,41	4,48 ± 0,19	75,80
Bungkil kopra	12,27 ± 0,35	7,24 ± 0,25	41,04

Tabel 6. Kadar asam amino esensial total bahan organik terpilih sebelum dan sesudah fermentasi, serta kadar biomassa miselium kapang setelah fermentasi

Bahan organik	Kandungan Asam Amino Esensial Total			Biomassa Miselium (%, w/w)
	Sebelum Fermentasi (mg kg ⁻¹)	Setelah Fermentasi (mg kg ⁻¹)	Prosentase Kenaikan (%)	
Dedak padi	12.937,77 ± 56,98	13.523,48 ± 113,91	5	14,4 ± 1,3 ^a
Jagung	32.604,51 ± 87,37	44.660,41 ± 174,75	37	14,8 ± 4,7 ^a
Bungkil kopra	38.991,89 ± 447,12	61.816,56 ± 894,24	59	16,7 ± 10,2 ^a

Catatan: Huruf yang sama pada nilai biomassa miselium menunjukkan nilai tidak berbeda nyata ($p > 5\%$)

perlakuan pemanasan berupa perebusan ataupun pengukusan. Sebaliknya, pada penelitian ini, baik dedak padi, jagung, maupun bungkil kopra tidak mengalami pemanasan sehingga prosesnya lebih praktis dan ekonomis.

Penurunan kadar fitat pada fermentasi tempe ini dikarenakan kemampuan kapang *Rhizopus* memproduksi fitase pada fermentasi padat menggunakan aneka produk samping agroindustri (Suresh et al. 2013, Suresh dan Radha 2015, Suresh dan Radha 2016). Enzim fitase mampu menurunkan kandungan asam fitat dengan cara menghidrolisis fitat sehingga melepaskan senyawa fosfor dalam bentuk bebas yang dapat diserap oleh hewan (Kumar dan Sinha 2018, Romano dan Kumar 2018). Secara khusus gugus fosfat dilepaskan dari asam fitat oleh enzim ini, sehingga menyisakan myo-inositol setelah proses defosforilasi keseluruhan (Gonzalez-Uarquin et al. 2020).

Kadar asam amino esensial

Penjumlahan konsentrasi masing-masing asam amino esensial tersebut menghasilkan profil asam amino esensial total (Tabel 6). Dari ketiga bahan organik tersebut, secara keseluruhan kandungan asam amino esensial total meningkat sekitar 5-60% setelah fermentasi padat

menggunakan ragi tempe. Kenaikan kandungan asam amino total tertinggi terdapat pada bungkil kopra, baik sebelum (39 g kg⁻¹) maupun setelah fermentasi (62 g kg⁻¹), dengan kenaikan tertinggi sebesar 59%. Kenaikan asam amino tertinggi ini kemungkinan erat kaitannya dengan pertumbuhan terbaik kapang tempe pada bahan organik tersebut dibandingkan yang lain serta kandungan proteinnya yang memang tertinggi dibandingkan dedak padi dan jagung (Tabel 1).

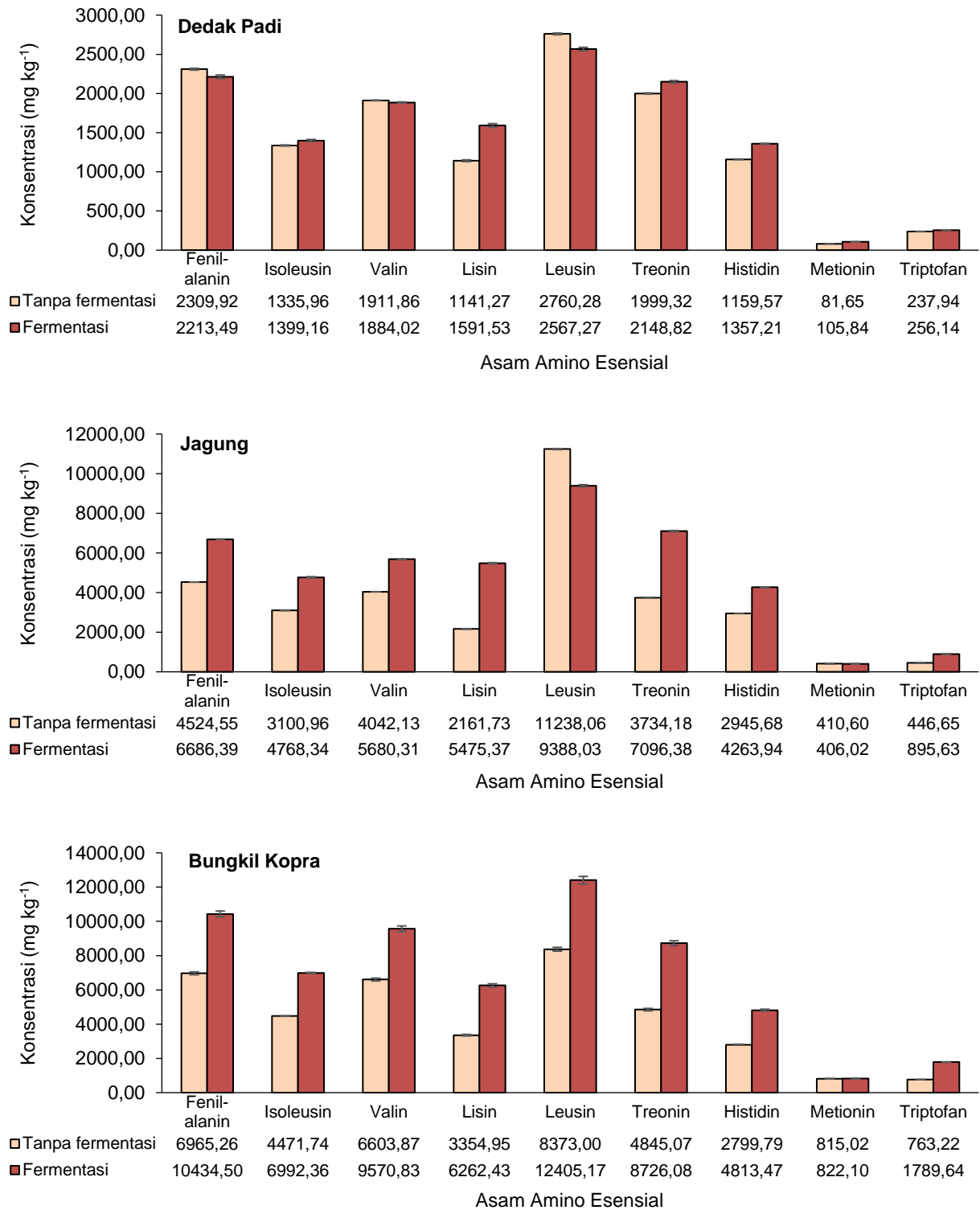
Dilihat dari konsentrasi biomassa miselium kapang, baik dedak padi, jagung, maupun bungkil kopra merupakan substrat terbaik bagi pertumbuhan kapang tempe pada kondisi fermentasi yang digunakan. Secara pengamatan makroskopis dan pengukuran biomassa memperlihatkan bungkil kopra sebagai bahan organik terbaik sebagai substrat fermentasi menggunakan ragi tempe. Namun analisa statistik menunjukkan biomassa miselium ketiganya tidak berbeda nyata (Tabel 6).

Hewan monogastrik memerlukan 9-10 asam amino esensial, yakni asam amino yang tidak dapat disintesis oleh tubuh, dan harus tersedia dalam makanan (Miller 2003). Oleh karena itu, asam amino esensial ini sangatlah penting ada dalam bahan organik yang akan dijadikan bahan pakan hewan monogastrik. Sebanyak 9 asam amino

esensial dianalisa kandungannya dalam dedak padi, jagung, dan bungkil kopra sebelum dan sesudah fermentasi menggunakan ragi tempe (Gambar 4).

Secara umum, fermentasi menyebabkan hampir seluruh kandungan

asam amino esensial tersebut mengalami kenaikan. Beberapa asam amino esensial yang mengalami penurunan konsentrasi akibat fermentasi diantaranya adalah fenilalanin, valin, dan leusin pada dedak padi; serta leusin dan metionin pada jagung.



Gambar 4. Profil asam amino esensial dedak padi, jagung, dan bungkil kopra sebelum dan sesudah fermentasi 48 jam menggunakan ragi tempe

Berbeda dengan dedak padi dan jagung, bungkil kopra mengalami kenaikan pada seluruh 9 asam amino esensial setelah fermentasi.

Secara khusus, pada fermentasi ketiga bahan organik tersebut, fenilalanin dan leusin merupakan 2 asam amino esensial dengan kadar tertinggi sebelum maupun sesudah fermentasi, dibandingkan asam amino esensial lainnya. Sebaliknya, triptofan dan metionin adalah yang terendah. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Sitanggung et al. (2020) pada fermentasi ampas tahu menggunakan *Rhizopus oligosporus* terkait fenilalanin, leusin, triptofan, dan metionin ini. Metionin merupakan salah satu asam amino penting, dimana keberadaannya dalam dosis rendah pada pakan menghasilkan perpanjangan umur pada beragam spesies seperti hewan pengerat, lalat buah, nematoda dan ragi. Efek pleiotropik asam amino dengan gugus belerang seperti metionin dalam kadar terbatas diantaranya meliputi penghambatan pembentukan lemak, peningkatan metabolisme glukosa, pengurangan efek peradangan, pengurangan penanda stres oksidatif, dan penurunan resiko terkena kanker (Ables 2020).

Penggunaan kapang tempe dalam fermentasi bahan organik lain berupa hasil samping agroindustri maupun sampah makanan juga telah dilakukan sebelumnya, dengan tujuan mendapatkan bahan pakan alternatif dengan nilai gizi yang lebih baik. Menggunakan sampah sisa buah dan sayur, fermentasi menggunakan *Rhizopus* sp. mampu meningkatkan kadar protein dengan kandungan asam amino esensial hampir 50% (Ibarruri et al. 2021). Hal berbeda terjadi pada ampas tahu yang difermentasi menggunakan *R. oligosporus*, dimana mayoritas asam amino esensialnya mengalami penurunan, kecuali metionin, triptofan, dan lisin yang mengalami peningkatan sedikit saja (Sitanggung et al. 2020). Lisin dilaporkan mengalami peningkatan signifikan pada kacang *Canavalia cathartica* yang difermentasi menggunakan *R. oligosporus* (Niveditha dan Sridhar 2016). Perbedaan profil asam amino esensial sebelum dan sesudah fermentasi kemungkinan disebabkan oleh perbedaan substrat, strain *Rhizopus*, maupun kondisi fermentasi masing-masing studi tersebut.

KESIMPULAN

Dari 9 bahan organik produk samping agroindustri, dedak padi, jagung, dan bungkil kopra menunjukkan pertumbuhan miselium kapang tempe terbaik. Fermentasi pada ketiga bahan organik ini menurunkan kandungan asam fitat dan meningkatkan asam amino esensial total. Penurunan konsentrasi asam fitat terbesar terjadi pada jagung (75,8%), sedangkan peningkatan tertinggi kandungan asam amino esensial terjadi pada bungkil kopra (59%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Balai Bioteknologi, BPPT, yang telah memberikan dukungan fasilitas dan sarana penelitian ini. Terima kasih juga kami haturkan kepada Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, atas dukungan sumberdaya manusia. Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Hadi Saputra dari Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, atas dukungan bahan baku pakan untuk penelitian ini; serta kepada seluruh pihak lain yang tidak disebutkan satu per satu.

PERNYATAAN KEPENULISAN

Catur Sriherwanto memiliki kontribusi utama dalam penelitian ini sebagai ketua dan pengarah keseluruhan penelitian dari awal hingga akhir, perancang alur metode, serta penyusun draf akhir manuskrip yang dikirimkan kepada redaksi JBBI. Arina Muniroh, Imam Suja'i dan Aji Wibowo memberikan kontribusi utama berupa melaksanakan kolaborasi dalam melakukan seluruh penelitian di laboratorium Balai Bioteknologi BPPT. Etyun Yunita memiliki kontribusi dalam melakukan supervisi dan revisi draf proposal penelitian, hasil penelitian, serta draf manuskrip JBBI. Henry Kasman Hadi Saputra berkontribusi dalam penyediaan bahan penelitian serta revisi draf manuskrip JBBI.

DAFTAR PUSTAKA

Ables GP (2020) Sulfur amino acid-restricted diets: Mechanisms and health benefits.

- In: Reference Module in Life Sciences. Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-819460-7.00061-X
- Abu-Salem FM, Mohamed RK, Gibriel AY, Rasmy NM (2014) Levels of some antinutritional factors in tempeh produced from some legumes and joboas seeds. *Int J Biol Agric Biosyst Life Sci Eng* 8: 280–285. doi: 10.5281/zenodo.1093040
- Ahmad A, Ramasamy K, Majeed ABA, Mani V (2015) Enhancement of β -secretase inhibition and antioxidant activities of tempeh, a fermented soybean cake through enrichment of bioactive aglycones. *Pharm Biol* 53: 758–766. doi: 10.3109/13880209.2014.942791
- Ahnan-Winarno AD, Cordeiro L, Winarno FG, Gibbons J, Xiao H (2021) Tempeh: A semicentennial review on its health benefits, fermentation, safety, processing, sustainability, and affordability. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 20: 1717–1767. doi: 10.1111/1541-4337.12710
- Alhomodi AF, Zavadil A, Berhow M, Gibbons WR, Karki B (2021) Composition of canola seed sprouts fermented by *Aureobasidium pullulans*, *Neurospora crassa*, and *Trichoderma reesei* under submerged-state fermentation. *Food Bioprod Process* 126: 256–264. doi: 10.1016/j.fbp.2021.01.008
- Anaemene DI, Fadupin GT (2020) Effect of fermentation, germination and combined germination-fermentation processing methods on the nutrient and anti-nutrient contents of quality protein maize (QPM) seeds. *J Appl Sci Environ Manag* 24: 1625–1630. doi: 10.4314/jasem.v24i9.21
- Anigboro AA, Aganbi E, Tonukari NJ (2020) Solid state fermentation of maize (*Zea mays*) offal by *Rhizopus oligosporus* under acidic and basic conditions. *J Sci Res* 12: 751–756. doi: 10.3329/jsr.v12i4.46993
- Behera SS, Ray RC (2016) Solid state fermentation for production of microbial cellulases: Recent advances and improvement strategies. *Int J Biol Macromol* 86: 656–669. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.10.090
- Cai S, Gao F, Zhang X, Wang O, Wu W, Zhu S, Zhang D, Zhou F, Ji B (2014) Evaluation of γ -aminobutyric acid, phytate and antioxidant activity of tempeh-like fermented oats (*Avena sativa* L.) prepared with different filamentous fungi. *J Food Sci Technol* 51: 2544–2551. doi: 10.1007/s13197-012-0748-2
- Castro-Alba V, Lazarte CE, Perez-Rea D, Carlsson N, Almgren A, Bergenstahl B, Granfeldt Y (2019) Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate. *J Sci Food Agric* 99: 5239–5248. doi: 10.1002/jsfa.9793
- Chen L, Vadlani PV, Madl RL, Gibbons W (2016) Degradation of phytic acid and soy protein in soy meal via co-fermentation of *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus ficuum*. *J Am Oil Chem Soc* 93: 45–50. doi: 10.1007/s11746-015-2754-9
- Chen L, Vadlani PV, Madl RL (2014) High-efficiency removal of phytic acid in soy meal using two-stage temperature-induced *Aspergillus oryzae* solid-state fermentation. *J Sci Food Agric* 94: 113–118. doi: 10.1002/jsfa.6209
- Dinata AANBS, Utami ASJ (2019) Nutrient content of coffee berries husk fermented with different inoculants. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 387: 012006. doi: 10.1088/1755-1315/387/1/012006
- Duliński R, Stodolak B, Byczyński Ł, Poreda A, Starzyńska-Janiszewska A, Żyła K (2017) Solid-state fermentation reduces phytic acid level, improves the profile of myo-inositol phosphates and enhances the availability of selected minerals in flaxseed oil cake. *Food Technol Biotechnol* 55:413–419. doi: 10.17113/ftb.55.03.17.4981
- Duodu CP, Adjei-Boateng D, Edziyie RE, Agbo NW, Owusu-Boateng G, Larsen BK, Skov PV (2018) Processing techniques of selected oilseed by-products of potential use in animal feed: Effects on proximate nutrient composition, amino acid profile and antinutrients. *Anim Nutr* 4: 442–451. doi: 10.1016/j.aninu.2018.05.007
- Erizal E, Lana M, Setyo R, Abbas B (2016) Sintesis dan karakterisasi hidrogel superabsorben berbasis asam akrilat

- hasil iradiasi gamma. *J Ilm Apl Isot dan Radiasi* 11: 27–38. doi: 10.17146/jair.2015.11.1.2697
- Fischer MM, Egli IM, Aeberli I, Hurrell RF, Meile L (2014) Phytic acid degrading lactic acid bacteria in tef-injera fermentation. *Int J Food Microbiol* 190: 54–60. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.08.018
- Gmoser R, Fristedt R, Larsson K, Undeland I, Taherzadeh MJ, Lennartsson PR (2020) From stale bread and brewers spent grain to a new food source using edible filamentous fungi. *Bioengineered* 11: 582–598. doi: 10.1080/21655979.2020.1768694
- Godoy MG, Amorim GM, Barreto MS, Freire DMG (2018) Agricultural residues as animal feed. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, pp 235–256. doi: 10.1016/B978-0-444-63990-5.00012-8
- Gonzalez-Uarquin F, Kenéz, Rodehutsord M, Huber K (2020) Dietary phytase and myo-inositol supplementation are associated with distinct plasma metabolome profile in broiler chickens. *Animal* 14: 549–559. doi: 10.1017/S1751731119002337
- Hafsah, Damry HB, Hata U, Sundu B (2020) Fermented coconut dregs quality and their effects on the performance of broiler chickens. *Trop Anim Sci J* 43: 219–226. doi: 10.5398/tasj.2020.43.3.219
- Hashemi SMB, Gholamhosseinpour A, Mousavi Khaneghah A (2019) Fermentation of acorn dough by lactobacilli strains: Phytic acid degradation and antioxidant activity. *LWT Food Sci Technol* 100: 144–149. doi: 10.1016/j.lwt.2018.10.054
- Ibarruri J, Cebrián M, Hernández I (2021) Valorisation of fruit and vegetable discards by fungal submerged and solid-state fermentation for alternative feed ingredients production. *J Environ Manage* 281: 111901. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111901
- Janarny G, Gunathilake KDPP (2020) Changes in rice bran bioactives, their bioactivity, bioaccessibility and bioavailability with solid-state fermentation by *Rhizopus oryzae*. *Biocatal Agric Biotechnol* 23: 101510. doi: 10.1016/j.bcab.2020.101510
- Kuligowski M, Pawłowska K, Jasińska-Kuligowska I, Nowak J (2016) Isoflavone composition, polyphenols content and antioxidative activity of soybean seeds during tempeh fermentation. *CyTA - J Food* 15: 1–7. doi: 10.1080/19476337.2016.1197316
- Kumar V, Sinha AK (2018) Chapter 3 - General aspects of phytases. In: Nunes CS, Kumar V (eds) *Enzymes in Human and Animal Nutrition*, 1st edn. Academic Press, pp 53–72. doi: 10.1016/b978-0-12-805419-2.00003-4
- Laining A, Usman U, Syah R (2017) Nutritive value of copra cake meal fermented with *Rhizopus* spp. and its use as a protein source in practical diets for rabbitfish (*Siganus javus*). *J Appl Aquac* 29: 307–321. doi: 10.1080/10454438.2017.1359726
- Majzoobi M, Pashangeh S, Farahnaky A, Eskandari MH, Jamaljan J (2014) Effect of particle size reduction, hydrothermal and fermentation treatments on phytic acid content and some physicochemical properties of wheat bran. *J Food Sci Technol* 51: 2755–2761. doi: 10.1007/s13197-012-0802-0
- Marsetyo, Sulendre IW, Mustaring, Pamulu M (2021) The effect of fermentation without or with lactic acid bacteria and storage time on the phytic acid, in vitro dry matter digestibility, and nutrient contents of rice bran. *J Phys Conf Ser* 1763: 012029. doi: 10.1088/1742-6596/1763/1/012029
- Massarolo KC, de Souza TD, Ribeiro AC, Furlong EB, de Souza Soares LA (2016) Influence of cultivation *Rhizopus oryzae* on rice bran on lipid fraction: Fatty acids and phospholipids. *Biocatal Agric Biotechnol* 8: 204–208. doi: 10.1016/j.bcab.2016.10.002
- Miller EL (2003) Protein nutrition requirements of farmed livestock and dietary supply. In: *Protein Sources for the Animal Feed Industry*. FAO, Rome, pp 29–76
- Niveditha VR, Sridhar KR (2016) Improvement of nutritional qualities of fermented kernels of wild legume *Canavalia cathartica* by *Rhizopus oligosporus*. *Curr Biochem Eng* 3: 128–138. doi: 10.2174/2212711902666150701190732
- Olagunju OF, Ezekiel OO, Ogunshe AO,

- Oyeyinka SA, Ijabadeniyi OA (2018) Effects of fermentation on proximate composition, mineral profile and antinutrients of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed in the production of daddawa-type condiment. *LWT - Food Sci Technol* 90: 455–459. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.064
- Olukomaiya OO, Fernando WC, Mereddy R, Zhang D, Li X, Sultanbawa Y (2019) Phytic acid reduction in canola and camelina meals by fungal fermentation for potential broiler feeding. In: *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium*, vol. 30. The World's Poultry Science Association, Sydney, p 203
- Omodara TR, Aderibigbe EY (2019) Comparative studies on the effect of fermentation on the nutritional compositions and anti-nutritional levels of *Glycine max* fermented products: Tempeh and soy-iru. *Annu Res Rev Biol* 32: 1–9. doi: 10.9734/arrb/2019/v32i430094
- Polanowska K, Grygier A, Kuligowski M, Rudzińska M, Nowak J (2020) Effect of tempe fermentation by three different strains of *Rhizopus oligosporus* on nutritional characteristics of faba beans. *LWT Food Sci Technol* 122: 109024. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109024
- Pramitha JL, Rana S, Aggarwal PR, Ravikesavan R, Joel AJ, Muthamilarasan M (2020) Diverse role of phytic acid in plants and approaches to develop low-phytate grains to enhance bioavailability of micronutrients. In: *Advances in Genetics*. Academic Press Inc., pp 89–120. doi: 10.1016/bs.adgen.2020.11.003
- Romano N, Kumar V (2018) Chapter 4 - Phytase in animal feed. In: Nunes CS, Kumar V (eds) *Human and Animal Nutrition*. Academic Press, pp 73–88. doi: 10.1016/B978-0-12-805419-2.00004-6
- Samtiya M, Aluko RE, Dhewa T (2020) Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Prod Process Nutr* 2: 1–14. doi: 10.1186/s43014-020-0020-5
- Sánchez-Magaña LM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S, León-López L, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO (2019) Influence of solid-state bioconversion by *Rhizopus oligosporus* on antioxidant activity and phenolic compounds of maize (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 53: 45–57
- Sandberg AS, Scheers N (2016) Phytic acid: Properties, uses, and determination. In: *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier Inc., pp 365–368. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00544-4
- Shitan N, Yazaki K (2013) New insights into the transport mechanisms in plant vacuoles. In: *International Review of Cell and Molecular Biology*. Elsevier Inc., pp 383–433. doi: 10.1016/B978-0-12-407695-2.00009-3
- Shurtleff W, Aoyagi A (2020) *History of Tempeh and Tempeh Products (1815-2020): Extensively Annotated Bibliography and Sourcebook*. Soyinfo Center, Lafayette, USA
- Sitanggang AB, Sinaga WSL, Wie F, Fernando F, Krusong W (2020) Enhanced antioxidant activity of okara through solid state fermentation of GRAS fungi. *Food Sci Technol* 40: 178–186. doi: 10.1590/fst.37218
- Sukma A, Jos B, Sumardiono S (2018) Kinetic of biomass growth and protein formation on rice bran fermentation using *Rhizopus oryzae*. *MATEC Web Conf* 156: 01023. doi: 10.1051/mateconf/201815601023
- Suresh S, Radha KV (2015) Effect of a mixed substrate on phytase production by *Rhizopus oligosporus* MTCC 556 using solid state fermentation and determination of dephytinization activities in food grains. *Food Sci Biotechnol* 24: 551–559. doi: 10.1007/s10068-015-0072-5
- Suresh S, Radha KV (2016) Statistical optimization and mutagenesis for high level of phytase production by *Rhizopus oligosporus* MTCC 556 under solid state fermentation. *J Environ Biol* 37: 253–259.
- Suresh S, Radha K V, Surya KK, Vanitha S, Suresh S (2013) Production and optimization of phytase from *Rhizopus oligosporus* using agro residues by solid state fermentation. *Artic Middle East J Sci Res* 17: 1839–1845. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2013.17.12.116
- Tahuk PK, Budhi SPS, Panjono, Baliarti E (2016) *In vitro* characteristics of rumen fermentation of fattening rations with

- different protein-energy levels fed to Bali cattle. *Pakistan J Nutr* 15: 897–904. doi: 10.3923/pjn.2016.897.904
- Tudor KW, Jones MA, Hughes SR, Holt JP, Wiegand BR (2013) Effect of fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* strain PJ69-4 on the phytic acid, raffinose, and stachyose contents of soybean meal. *Prof Anim Sci* 29:529–534. doi: 10.15232/s1080-7446(15)30274-6
- Venkatasubbaiah R, Rajesh SK (2020) Food processing and fermentation studies on reduction of phytic acid in *Triticum aestivum* and *Sorghum bicolor* (L.). *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 10: 166–169. doi: 10.15414/jmbfs.2020.10.2.166-169
- Verni M, Rizzello CG, Coda R (2019) Fermentation biotechnology applied to cereal industry by-products: Nutritional and functional insights. *Front Nutr* 6:42. doi: 10.3389/fnut.2019.00042
- Villacrés E, Quelal MB, Fernández E, García G, Cueva G, Rosell CM (2020) Impact of debittering and fermentation processes on the antinutritional and antioxidant compounds in *Lupinus mutabilis* sweet. *LWT Food Sci Technol* 131: 109745. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109745
- Vong WC, Hua XY, Liu SQ (2018) Solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus* and *Yarrowia lipolytica* improved nutritional and flavour properties of okara. *LWT - Food Sci Technol* 90: 316–322. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.050
- Xiao Y, Fan J, Chen Y, Rui X, Zhang Q, Dong M (2016) Enhanced total phenolic and isoflavone aglycone content, antioxidant activity and DNA damage protection of soybeans processed by solid state fermentation with *Rhizopus oligosporus* RT-3. *RSC Adv* 6: 29741–29756. doi: 10.1039/C6RA00074F
- Yildirim RM, Arici M (2019) Effect of the fermentation temperature on the degradation of phytic acid in whole-wheat sourdough bread. *LWT Food Sci Technol* 112: 108224. doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.122