

PENINGKATAN SERAT PANGAN LARUT DARI AMPAS TAHU DAN SIFAT FUNGSIONALNYA DENGAN PERLAKUAN FISIK: TINJAUAN LITERATUR

INCREASED SOLUBLE DIETARY FIBER OF TOFU DREGS AND ITS FUNCTIONAL PROPERTIES WITH PHYSICAL TREATMENT: A REVIEW

Rizki Aristyarini¹⁾, Sedarnawati Yasni^{2*)}, dan Elvira Syamsir²⁾

¹⁾Program Study of Food Science, Graduated School, Faculty of Agricultural Engineering and Technology
IPB University, Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²⁾Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology,
IPB University, Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

*Email of corresponding author: sedarnawati@yahoo.com

Makalah: Diterima 12 Agustus 2021; Diperbaiki 10 Februari 2022; Disetujui 10 Maret 2022

ABSTRACT

Tofu processing leaves by-product in the form of tofu dregs whose the utilization as food is still limited. Tofu dregs contain higher insoluble dietary fibre (IDF) than the soluble dietary fibre (SDF). SDF components have wider range of health benefits, and they tend to contribute better to food processing. This study aimed to analyse the potential of physical treatment to increase in SDF tofu dregs, examine changes in its functional properties, and determine the potential physical treatment applied in Indonesia based on the SDF profile. Research data from scientific literature namely research journals, master theses, undergraduate theses, and scientific reviews were collected and analyzed descriptively. The results of descriptive analysis of the literature showed that the physical treatments identified were combination of HHP and autoclave, steam explosion, combination of single screw extrusion and alkaline solution, double screw extrusion, BEP double screw extrusion, and autoclaving. Physical treatment on all instruments can increase the SDF content of tofu dregs. The water retention capacity (WRC) and swelling capacity of tofu dregs increased after being treated with combination of HHP and autoclave, double screw extrusion, and BEP double screw extrusion. The oil holding capacity (OHC) increased after being treated with combination of HHP and autoclave, and double screw extrusion, but the WRC and OHC decreased in the steam explosion treatment. The solubility of tofu dregs increased after being given steam explosion and autoclave. Changes in the functional characteristics of tofu dregs expand their potential for use in specific processed foods.

Keywords: tofu dregs, physical modification, soluble dietary fiber, food processing

ABSTRAK

Pengolahan tahu menyisakan produk samping berupa ampas tahu yang pemanfaatannya sebagai bahan pangan masih terbatas. Ampas tahu mengandung komponen serat pangan tidak larut (*insoluble dietary fiber*, IDF) yang lebih tinggi dibandingkan serat pangan larutnya (*soluble dietary fiber*, SDF). Komponen SDF memiliki manfaat yang beragam bagi kesehatan, dan cenderung berkontribusi lebih baik dalam proses pengolahan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi perlakuan fisik dalam meningkatkan SDF ampas tahu, mengkaji perubahan sifat fungsionalnya, serta menentukan perlakuan fisik yang potensial diterapkan di Indonesia berdasarkan profil SDF. Data penelitian dari literatur ilmiah yaitu jurnal-jurnal hasil penelitian, tesis, skripsi, serta ulasan ilmiah (*review*) berbahasa Inggris dan Indonesia dikumpulkan dan dianalisis secara deskriptif. Hasil analisis deskriptif dari literatur menunjukkan perlakuan fisik yang teridentifikasi adalah kombinasi HHP dan autoklaf, ledakan uap, kombinasi ekstrusi ulir tunggal dan larutan basa, ekstrusi ulir ganda, ekstrusi ulir ganda BEP, serta autoklaf. Perlakuan fisik pada seluruh instrumen dapat meningkatkan kadar SDF ampas tahu. Daya menahan air dan daya mengembang ampas tahu meningkat setelah diberikan perlakuan kombinasi HHP dan autoklaf, ekstrusi ulir ganda, serta ekstrusi ulir ganda BEP. Daya ikat minyak meningkat setelah diberikan perlakuan kombinasi HHP dan autoklaf, dan ekstrusi ulir ganda, tetapi daya menahan air dan daya ikat minyak mengalami penurunan pada perlakuan ledakan uap. Kelarutan ampas tahu meningkat setelah diberikan perlakuan ledakan uap dan autoklaf. Perubahan karakteristik sifat fungsional ampas tahu memperluas potensi pemanfaatannya pada pangan olahan spesifik.

Kata kunci: ampas tahu, modifikasi fisik, serat pangan larut, pengolahan pangan

PENDAHULUAN

Ampas tahu merupakan residu yang tersisa setelah tahapan penyaringan fraksi larut kacang kedelai yang berjumlah sekitar 25% hingga 35% dari

jumlah tahu yang diproduksi. Ampas tahu diketahui masih mengandung komponen gizi dan serat pangan yang dapat dikembangkan menjadi bahan baku pangan fungsional (Kaswinarni, 2007). Tepung ampas tahu mengandung serat pangan sebesar

58,60% yang berdasarkan kelarutannya dibagi atas serat pangan larut 1,91% dan serat pangan tidak larut 55,63% (Lu *et al.*, 2013).

Manfaat serat bagi kesehatan dapat diaplikasikan lebih luas dengan menggunakannya sebagai bahan pangan, namun serat memiliki sifat fisik atau sifat fungsional tertentu. Hal ini menyebabkan penggunaan serat perlu disesuaikan dengan jenis produk pangan yang diproduksi (Yangilar, 2013). Serat pangan tidak larut umumnya tidak dapat langsung dijadikan sebagai komposisi suatu produk pangan sebab sulit mencapai adonan yang homogen, dapat menurunkan kesan renyah pada produk panggang, serta dapat menurunkan kualitas sensori (Sajilata *et al.*, 2006; Nassar *et al.*, 2008; Aravind *et al.*, 2012; Hamid *et al.*, 2015).

Berbeda halnya dengan serat pangan tidak larut, serat pangan larut lebih mudah terdispersi dalam air sehingga cenderung lebih disukai, lebih mudah dimasukkan ke dalam formulasi produk olahan, dan tidak menghasilkan tekstur produk yang kurang disukai (Elleuch *et al.*, 2011; Yangilar, 2013). Prinsip konversi serat pangan tidak larut menjadi serat pangan larut adalah pemutusan parsial ikatan glikosidik pada polimer serat pangan tidak larut dan menghasilkan serat dengan bobot molekul yang lebih rendah, serta rantai cabang meningkat (Chen *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2015).

Beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kelarutan serat pangan tidak larut diantaranya berbasis kimia, fisik, dan melibatkan enzim (Huang *et al.*, 2015; Mateos-Aparicio *et al.*, 2010b; Vong *et al.*, 2017). Teknologi berbasis kimia dikhawatirkan masih menyisakan zat sisa yang berbahaya bagi kesehatan, sedangkan penggunaan enzim dibutuhkan kemurnian tertentu agar reaksi enzimatik berlangsung maksimal, dan terkadang diperlukan tahapan lanjutan untuk mengisolasi produk yang dihasilkan (Aparicio *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2015; Navarro *et al.*, 2018). Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk menganalisis potensi perlakuan fisik dalam meningkatkan serat pangan larut ampas tahu, mengkaji perubahan sifat fungsionalnya, dan menentukan perlakuan fisik yang potensial diterapkan di Indonesia berdasarkan profil serat pangan larutnya.

BAHAN DAN METODE

Uraian ini ditulis secara deskriptif dengan data analisis berupa literatur ilmiah yang berasal dari jurnal hasil penelitian, tesis, skripsi, serta ulasan ilmiah (*review*). Literatur ilmiah diperoleh dari pangkalan data *google scholar* agar dapat diperoleh sumber pustaka yang mencakup berbagai jenis tulisan ilmiah dari Indonesia dan luar negeri. Waktu publikasi yang dicakup adalah pada rentang tahun 2004 hingga 2021 dengan sumber pustaka yang berbahasa Indonesia dan Inggris. Perspektif yang

dianalisis adalah potensi serat pangan ampas tahu sebagai bahan baku pangan olahan, prinsip peningkatan serat pangan tidak larut dengan perlakuan fisik, perubahan sifat fungsional ampas tahu hasil perlakuan fisik dan potensinya dalam memperbaiki kualitas pangan olahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Serat Pangan Ampas Tahu Dan Aplikasinya Pada Pangan Olahan

Serat pangan merupakan polimer karbohidrat jenis polisakarida non pati yang tersusun atas gula-gula sederhana dan memiliki derajat polimerisasi tidak kurang dari tiga, serta tahan mengalami dekomposisi oleh enzim-enzim pencernaan manusia (Gyurova dan Enikoya, 2015). Sejumlah perbedaan dari penggolongan serat pangan berdasarkan kelarutannya disajikan dalam Tabel 1.

Komponen serat pangan tidak larut mendominasi kandungan ampas tahu (Tabel 2). Hasil penelitian Sutedja (2010) menunjukkan bahwa berdasarkan pengujian metode Van Soest, hemiselulosa adalah komponen serat tertinggi pada ampas tahu yakni sebesar 40,49%, kemudian diikuti oleh selulosa sebesar 19,15%, serta lignin sebesar 8,63%. Pada hasil penelitian lainnya, ampas tahu mengandung 13,6% serat (akumulasi lignin dan pektin) (Choi *et al.*, 2015).

Serat pangan tidak larut secara fisiologis mampu meningkatkan volume feses, serta bermanfaat dalam proses detoksifikasi pada saluran pencernaan (Napolitano *et al.*, 2009), sedangkan serat pangan larut meningkatkan waktu transit dengan menunda pengosongan lambung, memperlambat penyerapan glukosa di usus halus, dan mengikat kolesterol (El Khoury *et al.*, 2012; Nsor-Atindana *et al.*, 2012).

Snack bar yang disubstitusi dengan tepung ampas tahu alami sebanyak 25% memiliki karakteristik kasar dan beremah sehingga kurang disukai (Rachmayani *et al.* 2017). Biskuit dengan penambahan tepung ampas tahu sebesar 30% dan 50% menghasilkan kue kukis bebas gluten dengan tekstur yang keras (Ostermann-Porcel *et al.*, 2017). Penggunaan tepung serat alami dengan jumlah yang lebih besar pada produk kue lapis bebas gluten hingga roti panggang dapat menurunkan volume roti, menyebabkan tekstur keras, serta warna lebih gelap sehingga tingkat penerimaan rendah pada uji hedonik (Seker *et al.*, 2009; Demirkesen *et al.*, 2010; Ng *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2020; Ostermann-Porcel *et al.*, 2020).

Potensi Teknologi Berbasis Fisik Untuk Meningkatkan Serat Pangan Larut Ampas Tahu

Konversi serat pangan tidak larut menjadi serat pangan larut bertujuan untuk meningkatkan fungsi fisiologis serat bagi tubuh dan memperbaiki fungsi fungsionalnya pada pangan olahan (Yang *et al.*, 2017).

Tabel 1. Penggolongan serat berdasarkan kelarutannya

Item	Komponen serat	Deskripsi
Serat pangan tidak larut	Selulosa	Polisakarida rantai lurus yang terdiri atas ribuan unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik (Dhingra <i>et al.</i> , 2011).
	Hemiselulosa	Hemiselulosa terdiri dari gula-gula pentosa (xylosa), heksosa yang terikat dengan asam metil uronat (Sharma <i>et al.</i> , 2015).
	Lignin	Kompleks makromolekul dari polifenol yang terdiri dari tiga jenis unit fenil propana (Chakar dan Ragauskas, 2004).
	Pati resisten (Resistant Starch)	Pati resisten terdiri atas 4 fraksi yaitu RS 1 (terdapat pada jaringan biji-bijian dan sereal), RS 2 (biasanya terdapat pada bahan yang belum diolah seperti kentang atau pisang mentah), RS 3 (terbentuk dari proses pemanasan dan pendinginan), dan RS 4 (pati yang dimodifikasi strukturnya secara kimia) (Sajilata <i>et al.</i> , 2006; Fuentes-Zaragoza <i>et al.</i> , 2010; Kusnandar 2010). Pati resisten terukur menjadi bagian serat pangan tidak larut pada analisa serat pangan (Purnamasari, 2018).
Serat pangan larut	Pektin	Polisakarida linear yang penyusun utamanya adalah sekitar 300-1000 unit monosakarida dari D-asam galakturonat yang terhubung dengan ikatan α -1,4 glikosidik (Theuwissen dan Mensink, 2008).
	Galaktomannan	Polisakarida heterogen yang memiliki ikatan β -1,4-D-mannan pada rantai utama dan satu rantai cabang pada ikatan α -1,6-D-galaktosa yang meningkatkan kelarutan dalam air (Prajapati <i>et al.</i> , 2013).
	β -glukan	Polisakarida linear dan bercabang yang tersusun atas molekul glukosa yang terhubung dengan ikatan β -1,3 dan β -1,4 glikosidik (Theuwissen dan Mensink, 2008).

Tabel 2. Komposisi proksimat dan serat pada tepung ampas tahu (%basis kering (bk))

Komponen Pangan	Jumlah ^{a)}	Jumlah ^{b)}	Jumlah ^{c)}	Jumlah ^{d)}	Jumlah ^{e)}
Air	6,71	-	10,95	11,42	2,5
Abu	3,85	3,70	3,95	2,89	4,0
Protein	15,31	33,40	24,34	26,51	27,4
Lemak kasar	5,90	8,50	16,91	16,16	9,5
Karbohidrat	-	-	54,80	54,44	45,5
Serat Pangan	57,54	54,30	-	-	-
Serat tidak larut	55,63	50,10	50,35	-	-
Hemiselulosa	-	-	-	40,42	-
Selulosa	-	-	-	19,15	-
Lignin	-	-	-	8,63	13,6*
Serat larut	1,90	4,20	-	-	-
Pektin	-	-	-	-	-
Pati	-	0,5	-	-	-

^aLu *et al.* (2013), ^bMateos-Aparicio *et al.* (2010b), ^cRachmayani (2017), ^dSutedja (2010),

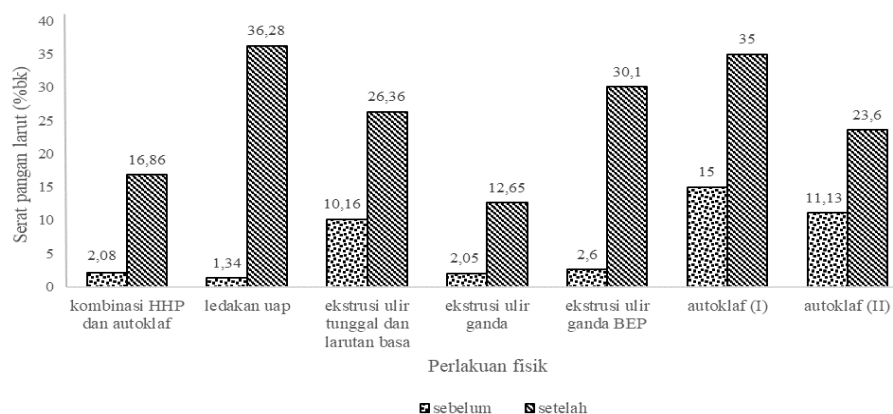
^eChoi *et al.* (2010)

Keterangan: * total nilai lignin (%) dan pektin (%)

Sebanyak enam perlakuan fisik teridentifikasi dapat meningkatkan kadar serat pangan larut ampas tahu. Perlakuan fisik yang dimaksud terdiri atas kombinasi HHP dan autoklaf, ledakan uap, kombinasi ekstrusi ulir tunggal dan larutan basa, ekstrusi ulir ganda, ekstrusi ulir ganda BEP, serta autoklaf yang selanjutnya akan dibahas kaitannya dengan perubahan sifat fungsional ampas tahu. Perubahan kadar serat pangan larut ampas tahu setelah diberikan perlakuan fisik dapat disimak pada Gambar 1.

Teknologi High Hydrostatic Pressure dan Autoklaf

Secara umum teknologi HHP digunakan untuk menginaktivasi mikroba patogen dan pembusuk dalam waktu singkat (Balasubramaniam *et al.*, 2015), tetapi prinsip tekanan tinggi HHP berpeluang meningkatkan kadar serat pangan larut pada ampas tahu.



Gambar 1. Perubahan kadar serat pangan larut ampas tahu sebelum dan setelah diberikan perlakuan fisik (Zongcai *et al.*, 2007; Mateos-Aparicio *et al.*, 2010b; Chi 2011; Jing dan Chi, 2013; Chen *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2019a; Li *et al.*, 2019b)

Mateos-Aparicio *et al.* (2010b) menyatakan bahwa rasio serat pangan larut terhadap total serat pangan tepung ampas tahu meningkat lebih dari delapan kali lipat dibandingkan kontrol (melalui pemanasan autoklaf sebagai pra perlakuan tanpa HHP). Tepung ampas tahu terlebih dahulu didefatisasi, dihidrasi, diautoklaf, kemudian diberi perlakuan HHP (Gambar 1; Tabel 4). Peningkatan tersebut berbanding terbalik dengan kadar serat pangan tidak larut yang mengalami penurunan dibandingkan kontrol yakni, 43,64% menjadi 28,40%. Perubahan komposisi serat ampas tahu menunjukkan konversi serat tidak larut menjadi serat larut.

Prinsip teknologi HHP adalah memberikan tekanan tinggi dari segala arah pada produk yang telah dikemas dengan wadah fleksibel dan ditempatkan pada bejana produk. Secara umum air digunakan sebagai media tekanan (Gopal *et al.*, 2017). Pra perlakuan hidrasi dan autoklaf kemudian memudahkan tekanan tinggi HHP mencapai matriks dinding sel serat ampas tahu. Tekanan tinggi melepaskan energi panas yang menyebabkan munculnya gesekan, serta kavitasi yang mengenai ampas tahu sehingga sejumlah ikatan pada serat dapat dipisahkan (Mateos-Aparicio *et al.*, 2010b). Hasil penelitian Tejada-Ortigoza *et al.* (2017) juga menunjukkan degradasi parsial serat pangan tidak larut pada tepung kulit jeruk akibat perlakuan HHP pada tekanan 600 MPa selama 10 menit pada suhu 22°C. Peningkatan kadar serat larut tepung kulit jeruk HHP dibandingkan kontrol (tanpa HHP) yaitu dari 3,72% menjadi 5,40%. Kadar serat pangan larut pada tepung serat kentang ungu juga meningkat setelah diberikan perlakuan HHP pada tekanan 200 MPa selama 30 menit pada suhu 25°C yakni dari 17,9% menjadi 19,6%, tetapi peningkatannya tidak signifikan (Xie *et al.*, 2017). Oleh karena itu, perlakuan fisik HHP pada tekanan tinggi berpotensi digunakan untuk meningkatkan kadar serat larut dalam waktu yang singkat.

Teknologi ledakan uap (*steam explosion*)

Prinsip teknologi ledakan uap adalah mengondisikan sampel dengan uap bertekanan pada suhu tinggi dan tekanan tersebut diturunkan (dekompresi) dalam waktu sangat singkat. Kadar serat pangan larut ampas tahu meningkat dari 1,34% menjadi 36,28 ketika diberikan perlakuan ledakan uap (Gambar 1; Tabel 4), serta mengalami penurunan serat pangan tidak larut dari 75,04% menjadi 34,95% (Li *et al.*, 2019a). Hal ini menunjukkan redistribusi atau konversi serat tidak larut menjadi serat larut. Ledakan uap menyebabkan dinding sel serat pecah kemudian menghasilkan komponen serat dengan bobot molekul rendah, serta menyebabkan rantai glikosidik pada serat dan lignin-karbohidrat terputus (Deepa *et al.* 2011; Yu *et al.*, 2012; Gong *et al.*, 2012)

Teknologi ledakan uap menjadi alternatif perlakuan fisik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kadar serat pangan larut pada ampas tahu. Teknologi ledakan uap juga mampu meningkatkan ekstraksi rendemen serat pangan kulit jeruk (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) dari 8,04% hingga mencapai 33,74% pada tekanan 0,8 MPa selama 7 menit, akan tetapi tahapan tersebut diawali perendaman sampel dengan katalis asam sulfat 0,8% (Wang *et al.*, 2015). Oleh karena itu, perlakuan ledakan uap pada tekanan yang lebih tinggi menjadi alternatif dalam meningkatkan kadar serat pangan larut dalam waktu yang lebih singkat tanpa menggunakan senyawa kimia. Meskipun demikian, penggunaan tekanan yang terlalu tinggi perlu dikaji sebab dapat menurunkan kadar serat pangan larut (Li *et al.*, 2019a).

Teknologi ekstrusi

Pengolahan pangan menggunakan ekstruder melibatkan suhu tinggi dalam waktu singkat (Budijanto *et al.*, 2012). Rendemen serat pangan larut tepung ampas tahu hasil perlakuan ekstrusi ulir tunggal yang kemudian diinkubasi dengan larutan basa meningkat hingga mencapai 26,36% sedangkan

tanpa perlakuan ekstrusi hanya 10,16% (Chi, 2011). Ekstrusi ulir tunggal tanpa perlakuan kimia juga meningkatkan serat larut pada tepung kulit biji lupin (*Lupinus angustifolius*) dari 2,9%bk menjadi 9,03%bk, sebaliknya serat pangan tidak larut mengalami penurunan dari 89,9% menjadi 82,6% (Zhong *et al.*, 2019).

Ekstrusi ulir ganda dapat meningkatkan kadar serat pangan larut ampas tahu dari 2,05% menjadi 12,65%, serta menurunkan kadar serat pangan tidak larut dari 60,85% menjadi 50,39% tanpa perlakuan kimia (Jing dan Chi, 2013). Mekanisme kerja alat ekstrusi melibatkan daya dorong, suhu pemanasan yang singkat, kecepatan pencampuran bahan, rasio pencampuran adonan, gaya geser, sekaligus tekanan terhadap bahan. Kombinasi atribut mekanik tersebut menyebabkan sejumlah perubahan kimia seperti protein terdenaturasi, bobot molekul serat hemiselulosa mengalami penurunan, gelatinisasi pati, serta kerusakan pada struktur dinding sel, dan perubahan sifat reologi bahan (Singh *et al.*, 2007; Wolf, 2010; Lobato *et al.*, 2011; Mojiono *et al.*, 2016).

Ekstrusi ulir ganda cenderung lebih efisien dalam memodifikasi serat ampas tahu karena rentang suhu penggunaan kecil dan didominasi suhu tinggi, serta peningkatan kecepatan ulir dapat mengurangi waktu proses sehingga konsumsi energi lebih rendah. Semakin tinggi kecepatan ulir maka semakin tinggi tekanan dalam barel sehingga menyebabkan molekul serat kompleks menjadi lebih lunak. Pengaruh mekanik meningkatkan luas permukaan serat dengan memotong, membuyarkan ikatan kimia, hingga memisahkan rantai serat dari struktur kompleksnya sehingga diperoleh molekul lebih sederhana yang terhitung sebagai serat larut (Jing dan Chi, 2013; Duque *et al.*, 2017).

Teknologi ekstrusi yang dikembangkan oleh ilmuwan dengan istilah *blasting extrusion processing* (selanjutnya disebut BEP) merupakan inovasi dari ekstrusi ulir ganda dengan mengombinasikan atribut mekanik seperti tekanan tinggi, gaya geser, torsi, dan suhu tinggi. Ekstrusi BEP meningkatkan kadar serat pangan larut ampas tahu dari 2,6% menjadi 30,1% dengan merusak kestabilan ikatan kimia pada polimer selulosa dan hemiselulosa sehingga mengakibatkan sejumlah serat pangan larut terbebaskan (Chen *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2015). Peningkatan kadar serat pangan larut pada ekstrusi BEP salah satunya dipicu oleh modifikasi cetakan khusus dengan diameter 2,5mm serta suhu pengolahan yang lebih tinggi, sedangkan pada ekstrusi ulir ganda melibatkan suhu yang lebih rendah namun dengan kecepatan ulir yang lebih tinggi (Jing dan Chi, 2013; Chen *et al.*, 2014). Perlakuan ekstrusi BEP menghasilkan peningkatan kadar serat pangan larut ampas tahu lebih tinggi dibandingkan ekstrusi ulir tunggal dan ulir ganda tanpa modifikasi cetakan (*die*) (Gambar 1). Perlakuan fisik ekstrusi menjadi salah satu perlakuan efisien

untuk meningkatkan kadar serat pangan larut ampas tahu, serta aman dari paparan senyawa kimia.

Pemanasan Bertekanan

Instrumen autoklaf atau *retort* memiliki mekanisme yang serupa dengan *pressure cooker* dan tidak hanya berperan pada proses sterilisasi komersil di lingkup laboratorium, namun dapat digunakan untuk mengkaji pengaruh panas bertekanan terhadap profil serat bahan pangan dengan melibatkan pengaturan rasio air dan bahan, suhu tinggi, tekanan, serta durasi waktu pemanasan yang terkontrol (Li *et al.*, 2019b). Hasil penelitian Zongcai *et al.* (2007) menunjukkan bahwa panas bertekanan autoklaf meningkatkan kadar serat pangan larut ampas tahu segar dari 15% menjadi 35% pada pemanasan suhu 100°C selama 20 menit (autoklaf I) (Gambar 1). Kenaikan kadar serat pangan larut disebabkan oleh interaksi area kristal pada hemiselulosa dan selulosa dengan molekul air sehingga rantai hemiselulosa larut dan terhitung sebagai kadar serat pangan larut (Zongcai *et al.*, 2007).

Kadar serat pangan larut tepung ampas tahu (hasil defatisasi) meningkat dari 11,13% menjadi 23,60% pada pemanasan autoklaf suhu 128°C selama 10 menit (autoklaf II) (Li *et al.*, 2019b). Penulis menduga bahwa peningkatan kadar serat pangan larut disebabkan oleh pengaruh kombinasi suhu tinggi dan tekanan sehingga mengakibatkan degradasi makromolekul dan diperoleh serat dengan bobot molekul lebih rendah (Li *et al.*, 2019b).

Penggunaan autoklaf cenderung aman sebab tidak melibatkan senyawa kimia yang dapat meninggalkan zat sisa berbahaya bagi kesehatan, akan tetapi metode ini belum dapat meningkatkan kadar serat pangan larut secara masif dalam waktu singkat. Degradasi lanjut serat pangan tidak larut ampas tahu membutuhkan energi yang lebih besar dari kemampuan autoklaf (Zongcai *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2015; Özkaya *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019b).

Secara umum kadar serat pangan larut ampas tahu meningkat drastis pada perlakuan ledakan uap dengan peningkatan 26 kali dibandingkan kontrol, kemudian diikuti perlakuan HHP dan autoklaf, perlakuan ekstrusi, dan autoklaf (Gambar 1). Perlakuan HHP melibatkan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan tekanan yang dihasilkan pada perlakuan ekstrusi (Gambar 1) (Mateos-Aparicio *et al.*, 2010b; Chi, 2011; Jing dan Chi, 2013; Chen *et al.*, 2014). Perlakuan ledakan uap yang melibatkan suhu tinggi dan dekompresi instan dapat meningkatkan kadar serat pangan larut lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan HHP (Mateos-Aparicio *et al.*, 2010b; Sui *et al.*, 2018; Li *et al.* 2019a). Fenomena tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak atribut mekanik dalam proses maka semakin besar peningkatan kadar serat pangan larut ampas tahu. Konversi parsial serat pangan larut dengan perlakuan fisik mengganggu kestabilan ikatan kovalen maupun non kovalen pada

serat, mengubah ukuran serat pangan tidak larut menjadi lebih kecil (Bader *et al.*, 2019). Dengan demikian teknologi dengan perlakuan fisik berpotensi dikembangkan untuk meningkatkan kadar serat larut sebagaimana perlakuan kimia dan enzimatis, tetapi teknologi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Perbandingan antara kelebihan dan kekurangan perlakuan fisik, kimia, dan enzimatis dalam meningkatkan kadar serat pangan larut disajikan pada Tabel 3.

Potensi Pemanfaatan Tepung Ampas Tahu Hasil Perlakuan Fisik Pada Pangan Olahan

Karakteristik sifat-sifat fungsional serat diantaranya daya ikat air, daya retensi air, daya ikat lemak, daya mengembang, serta kelarutan (Yu *et al.*, 2007; Mudgil dan Barak, 2013; Ozyurt dan Ötles, 2016). Perlakuan kombinasi autoklaf dan HHP, serta ekstrusi ulir ganda dapat meningkatkan daya retensi air yang mengindikasikan peningkatan daya mengembang tepung ampas tahu (Tabel 4). Modifikasi ampas tahu segar dengan ekstrusi BEP meningkatkan daya retensi air dan daya mengembang dibandingkan kontrol. Pemanasan ekstrusi mengakibatkan perubahan struktur tiga dimensi serat sehingga memungkinkan menyerap lebih banyak molekul air dan minyak (Jing dan Chi, 2013; Chen *et al.*, 2014). Peningkatan daya serap air akibat ekstrusi ulir ganda juga terjadi pada residu serat kentang manis (Qiao *et al.*, 2021), sedangkan ekstrusi BEP pada serat dedak gandum (Yan *et al.*, 2015).

Daya retensi air tepung hasil modifikasi metode HHP meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan kontrol (Tabel 4). Daya serap air ampas

anggur (sisa ekstraksi sari anggur) juga meningkat (1,5 kali dibandingkan kontrol) setelah diberikan perlakuan HHP pada tekanan 200 MPa selama 10 menit (Sheng *et al.*, 2017). Peningkatan daya retensi air dan daya ikat air berpotensi mengendalikan sineresis pada produk pangan (Prabandari, 2011; García-Magaña *et al.*, 2013; Ozyurt dan Ötles, 2016). Sineresis merupakan istilah yang menggambarkan terpisahnya cairan dari struktur pangan olahan seperti selai, jus tomat, jeli, yoghurt, dan saus (Mizrahi, 2010).

Daya ikat minyak pada ampas tahu hasil modifikasi fisik sebagian besar meningkat dibandingkan kontrol kecuali pada perlakuan fisik ledakan uap (Tabel 4). Bahan dengan daya serap minyak tinggi berpotensi digunakan sebagai emulsifier, *ingredient* untuk produk rendah kalori, serta mampu memperbaiki stabilitas dan tekstur produk daging (Elleuch *et al.*, 2011; Yi *et al.*, 2014; Ozyurt dan Ötles, 2016). Penggunaan tepung kulit buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) dengan daya serap minyak 0,99g/g telah dapat menggantikan lemak es krim dengan titik leleh yang dianggap sama dengan kontrol (Utpott *et al.*, 2020).

Perlakuan ledakan uap menghasilkan kelarutan tepung ampas tahu yang lebih baik, namun daya retensi air dan daya ikat minyak rendah dibandingkan kontrol meskipun serat pangan larutnya meningkat tajam (Tabel 4). Perlakuan ledakan uap menyebabkan struktur molekul serat ampas tahu rusak dan dihasilkan partikel-partikel kecil tidak beraturan dengan luas permukaan yang kecil.

Tabel 3. Kelebihan dan kekurangan perlakuan fisik, kimia, dan enzimatis dalam meningkatkan kadar serat pangan larut

	Kelebihan	Referensi	Kekurangan	Referensi
Perlakuan fisik	Waktu proses lebih singkat, produktivitas tinggi, cenderung terjangkau, dapat mengurangi penggunaan pelarut kimia, mengurangi kerusakan pada produk karena tahapan proses yang ringan dan sederhana	Faraj <i>et al.</i> 2004; Alvira <i>et al.</i> 2010; Jacquet <i>et al.</i> 2015; Huang <i>et al.</i> 2015; Bader <i>et al.</i> 2019; Li <i>et al.</i> 2019a	Berpeluang mendenaturasikan protein, mekanisme degradasi belum spesifik seperti enzim, kadar serat pangan larut dapat turun drastis apabila kondisi pemanasan tidak spesifik, rangkaian alat harus lengkap untuk proses maksimal	Moore <i>et al.</i> 2007; Lu <i>et al.</i> 2013; Huang <i>et al.</i> 2015; Li <i>et al.</i> 2019a
Perlakuan kimia	Mudah digunakan sebagai katalisator untuk degradasi serat dengan konsentrasi rendah	Chi 2011; Huang <i>et al.</i> 2015; Wang <i>et al.</i> 2015;	Berpeluang menyisakan residu berbahaya bagi pangan dan peralatan, serta menurunkan aktivitas fungsional bagi kesehatan	Huang <i>et al.</i> 2015; Wang <i>et al.</i> 2015; Feng <i>et al.</i> 2017
Perlakuan enzim	Bekerja spesifik memutus ikatan tertentu pada struktur serat, serta ramah lingkungan	Ma dan Mu 2016; Wen <i>et al.</i> , 2017; Bader <i>et al.</i> 2019	Biaya proses kurang ekonomis, serta waktu proses lama	Aparicio <i>et al.</i> 2010; Huang <i>et al.</i> 2015; Ma dan Mu 2016; Wen <i>et al.</i> , 2017; Vong <i>et al.</i> 2017

Tabel 4 Karakteristik fisik tepung ampas tahu setelah diberi perlakuan fisik

No	Bahan dan Perlakuan Fisik	WRC(g/g)		OHC(g/g)		SWC(g/g)		SOL(g/100mL)		Sumber
		Sb	St	Sb	St	Sb	St	Sb	St	
1	Autoklaf dan Tekanan Hidrostatik Tinggi (<i>High Hydrostatic pressure/HHP</i>): Kondisi HHP Tepung hasil perlakuan autoklaf, kemudian diberikan tekanan 400 MPa selama 15 menit, pada suhu 60°C	6,8	12,6	3,8	7,9	9,1	13,0	-	-	Mateos-Aparicio <i>et al.</i> , 2010b
2	Ledakan uap (<i>Steam explosion</i>): Tepung ampas tahu diberikan tekanan 1,5 MPa selama 30 detik	13	3	3,2	1,5	-	-	-	-	Li <i>et al.</i> , 2019a
2	Ekstrusi ulir ganda: Kadar air tepung ampas tahu 31%, kecepatan ulir 180 rpm, dan suhu bahan 115°C	8,0	10,5	77,4	97,1	5,8	6,1	-	-	Jing dan Chi, 2014
3	Ekstrusi: <i>blasting extrusion processing</i> (BEP) Kadar air ampas tahu 80%, kecepatan ulir ganda 150 rpm, dan suhu bahan 170°C	2,6	3,7	-	-	5,3	6,6	9,1	10,1	Chen <i>et al.</i> , 2014
4	Autoklaf; Tepung ekstrak serat pangan dihidrasi (rasio tepung dan air yakni, 1:3), suhu autoklaf 128°C, waktu pemanasan 10 menit	-	-	-	-	-	-	8,4	9,2	Li <i>et al.</i> , 2019b

Keterangan: WRC (*water retention capacity*)/ daya ikat air; OHC (*oil holding capacity*)/ daya ikat minyak; SWC (*swelling capacity*)/ daya mengembang; SOL (*solubility*)/kelarutan; Sb: sebelum perlakuan; St: Setelah perlakuan.

Hal ini mengakibatkan daya retensi air dan daya ikat minyak ampas tahu rendah, tetapi bahan dengan daya menahan air yang rendah dan stabil dapat digunakan pada pangan olahan tertentu. Daya serap air bahan yang lebih rendah dari serat alami dapat diaplikasikan pada produk bertekstur renyah, dan menguntungkan pada persiapan adonan roti.

Sebagai contoh, daya serap air pati resisten yang rendah tidak memberikan perubahan yang berarti pada reologi adonan. Roti yang disubstitusi dengan serat alami memiliki karakteristik volume roti yang lebih rendah, serta rasa yang kurang disukai (Sajilata *et al.*, 2006; Ashwar *et al.*, 2016). Oleh karena itu, karakteristik sifat fungsional serat hasil perlakuan

fisik perlu disesuaikan pemanfaatannya pada produk spesifik agar dapat memperbaiki kualitas proses pengolahan maupun produk akhir.

Kelaurutan ampas tahu meningkat setelah diberikan perlakuan fisik dengan ekstrusi BEP, serta autoklaf (Tabel 4). Suhu tinggi pada autoklaf merusak struktur serat yang kokoh dan padat pada ampas tahu, akibatnya sejumlah zat terbebaskan dari jaringan serat kompleks sehingga meningkatkan jumlah gugus hidrofilik dan kelaurutan (Li *et al.*, 2019b). Pada hasil penelitian lainnya, kelaurutan serat pangan larut dedak *oat* yang telah diekstrusi pada kondisi terkontrol meningkat yang ditandai dengan perubahan struktur permukaan serat yang bersekat-sekat berdasarkan pengujian dengan mikroskop elektron (SEM) (Zhang *et al.*, 2011). Serat pangan larut residu ginseng memiliki kelaurutan yang sangat baik disebabkan strukturnya yang lebih kecil dibandingkan serat pangan tidak larut (Hua *et al.*, 2020). Kelaurutan menjadi sifat fungsional penting pada serat sebab dapat memperluas penerapannya pada pangan olahan (Yangilar, 2013; Li *et al.*, 2019b). Ampas tahu hasil modifikasi fisik menjadi bentuk inovasi sebab tidak hanya meningkatkan kadar serat larut namun mengalami perubahan profil sifat fungsional sehingga berpotensi diaplikasikan pada beragam produk minuman, pangan olahan yang dipanggang, pangan dengan kadar air rendah, pangan yang membutuhkan daya ikat lemak tinggi namun rendah kalori.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Modifikasi dengan perlakuan fisik melibatkan sejumlah atribut mekanik dan menyebabkan serat pangan tidak larut mengalami perubahan struktur permukaan, rantai serat merenggang, dan penurunan bobot molekul yang mengakibatkan kadar serat pangan larut meningkat. Perlakuan fisik yang berpotensi digunakan di Indonesia adalah perlakuan ledakan uap yang menghasilkan kadar serat pangan larut tertinggi (36,28%) dibandingkan kontrol (1,34%). Ampas tahu hasil perlakuan fisik disertai dengan perubahan sifat fungsionalnya sehingga perlu disesuaikan dengan karakteristik pangan olahan yang diinginkan. Karakteristik daya retensi air dan daya mengembang yang tinggi pada ampas tahu hasil perlakuan fisik berpotensi digunakan untuk mengurangi sineresis pada pangan olahan, sebaliknya daya menahan air dan daya mengembang yang rendah berpotensi digunakan untuk produk bakeri, daya menahan minyak yang tinggi berpotensi sebagai emulsifier, dan kelaurutan yang tinggi berpotensi menstabilkan produk minuman. Pemanfaatan ampas tahu modifikasi pada pangan olahan sekaligus berpotensi untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang berkelanjutan.

Saran

Peningkatan kadar serat pangan larut dengan perlakuan fisik berpotensi diaplikasikan, namun diperlukan kajian lebih detail terkait formulasi serat pangan larut ampas tahu hasil modifikasi fisik dalam komposisi pangan olahan. Kajian tentang formulasi dapat memberikan rekomendasi persen penambahan ampas tahu untuk menghasilkan pangan olahan dengan kesan sensorial yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim editor dan tim reviewer yang telah memberikan masukan-masukan demi perbaikan tulisan kajian ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvira P, Tomás-Pejó M, Ballesteros, M, Negro MJ. 2010. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology*. 101 : 4851–4861.
- Aravind A, Sissons M, Egan N, Fellows C. 2012. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*. 130 : 299–309.
- Ashwar BA, Gani A, Shah A, Wani IA, Masoodi FA. 2016. Preparation, health benefits and applications of resistant starch-a review. *Starch*. 68 : 287–301.
- Bader Ul Ain H, Saeed F, Ahmed A, Asif Khan M, Niaz B, Tufail T. 2019. Improving the physicochemical properties of partially enhanced soluble dietary fiber through innovative techniques: A coherent review. *Journal of Food Processing and Preservatives*. e13917.
- Balasubramaniam VM, Martínez-Monteaudo SI, dan Gupta RM. 2015. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*. 6 : 435-462.
- Budijanto S, Sitanggang AB, Wiaranti H, Koesbiantoro B. 2012. Pengembangan teknologi sereal sarapan bekatul dengan menggunakan *twin screw extruder*. *Jurnal Pascapanen*. 9 (2): 63-69.
- Chakar FSR dan Ragauskas AJ. 2004. Review of current and future softwood kraft lignin process chemistry. *Industrial Crops and Production*. 20 (2): 131–41.
- Chen Y, Ye R, Yin L, Zhang N. 2014. Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary

- fiber from soybean residue and in vivo. evaluation. *Journal of Food Engineering*. 120 : 1–8.
- Chi Y. 2011. Optimization of the technology for preparing soluble dietary fiber from extruded soybean residue. Di dalam Tzi-Bun Ng. (ed.), *Soybean - Applications and Technology*. Rijeka: Intech. P55-66.
- Choi IS, Kim YG, Jung JK, Bae HJ. 2015. Soybean waste (okara) as a valorization biomass for the bioethanol production. *Energy*. 93 : 1742–1747.
- Deepa B, Abraham E, Cherian BM, Bismarck A, Blaker JJ, Pothan LA, Leao AL, de Souza SF, Kottaisamy M. 2011. Structure, morphology and thermal characteristics of banana nano fibers obtained by steam explosion. *Bioresource Technology*. 102 (2): 1988–1997.
- Demirkesen I, Mert B, Sumnu G, Sahin S. 2010. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 101 : 329–336.
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. 2011. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 49 (3): 255–266.
- Duque A, Manzanares P, dan Ballesteros M. 2017. Review: extrusion as a pretreatment for lignocellulosic biomass: fundamentals and applications. *Renewable Energy*. 114B : 1427–1441.
- El Khoury D, Cuda C, Luhovyy L, Anderson GH. 2012. Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 1-28. Article ID 851362.
- Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*. 124 (2): 411–421.
- Faraj A, Vasanthan T, dan Hoover R. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*. 37 (5): 517–525.
- Feng Z, Dou W, Alaxi S, Niu Y, Yu LL. 2017. Modified soluble dietary fiber from black bean coats with its rheological and bile acid binding properties. *Food Hydrocolloids*. 62:94–101.
- Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete MJ, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. 43 (4): 931–942.
- García-Magaña MDL, García HS, Bello-Pérez LA, Sáyo-Ayerdi SG, de Oca MMM. 2013. Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica L.*, cv ataulfo and tommy atkins). *Plant Foods for Human Nutrition*. 68 (3): 254–258.
- Gong L, Huang L, dan Zhang Y. 2012. Effect of steam explosion treatment on barley bran phenolic compounds and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60 (29): 7177–7184.
- Gopal KR, Kalla AM, dan Srikanth K. 2017. High pressure processing of fruits and vegetable products: A review. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. 5 (5): 680–692.
- Gyurova D dan Enikoya R. 2015. Dietary fibers – definitions, classifications and analytical methods for the physiological assessment of their content in foods: review. *Journal of Bioscience and Biotechnology*. 209-213.
- Hamid S, Muzzafar S, Wani IA, Masoodi FA. 2015. Physicochemical and functional properties of two cowpea cultivars grown in temperate Indian climate. *Cogent Food Agric*. 1 (1): 1–11.
- Hua M, Sun Y, Shao Z, Lu J, Lu Y, Liu Z. 2020. Functional soluble dietary fiber from ginseng residue: Polysaccharide characterization, structure, antioxidant, and enzyme inhibitory activity. *Journal of Food Biochemistry*. 2020;00:e13524.
- Huang HW, Hsu CP, dan Wang CY. 2020. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry: review article. *Journal of Food and Drug Analysis*. 28:1e13.
- Huang S, He Y, Zou Y, Liu Z. 2015. Modification of insoluble dietary fibres in soya bean okara and their physicochemical properties. *International Journal of Food Science and Technology*. 50 : 2606–2613.
- Jacquet N, Maniet G, Vanderghem, Devigne F, Richel A. 2015. Application of steam explosion as pretreatment on lignocellulosic material: a review. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 54 : 2593–2598.
- Jing Y dan Chi YJ. 2013. Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*. 138 : 884–889.
- Kaswinarni F. 2007. Kajian teknis pengolahan limbah padat dan cair industri tahu: studi kasus industri tahu tandang Semarang, sederhana Kendal dan gagal sipat Boyolali [Tesis]. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Kusnandar F. 2010. *Kimia Pangan: Komponen Makro*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Lee DPS, Gan AX, dan Kim JE. 2020. Incorporation of biovalorised okara in biscuits: Improvements of nutritional, antioxidant, physical, and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*. 134 : 10990.
- Li B, Yang W, Yuanyang N, Kang F, Goff HD, Cuic SW. 2019a. Effect of steam explosion on

- dietary fiber, polysaccharide, protein and physicochemical properties of okara. *Food Hydrocolloids*. 94 : 48–56.
- Li S, Chen S, Qiang S, Tang D, Chen Y, Zhang Z, Lei Z, Chen Y. 2019b. Intensifying soluble dietary fiber production and properties of soybean curd residue via autoclaving treatment. *Bioresource Technology Reports*. 7 : 100203.
- Lobato LP, Anibal D, Lazaretti MM, Grossmann MVE. 2011. Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *Food Science and Technology*. 44 : 933–939.
- Lu F, Liu Y, dan Li B. 2013. Okara dietary fiber and hypoglycemic effect of okara foods. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2 (2): 26–132.
- Ma M, dan Mu T. 2016. Modification of deoiled cumin dietary fiber with laccase and cellulase under high hydrostatic pressure. *Carbohydrate Polymers*. 136: 87–94.
- Mateos-Aparicio I, Mateos-Peinado C, dan Rupérez P. 2010b. High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 11 (3): 445–450.
- Mateos-Aparicio I, Redondo-Cuenca A, dan Villanueva-Suárez MJ. 2010a. Isolation and characterisation of cell wall polysaccharides from legume by-products: Okara (soymilk residue), pea pod and broad bean pod. *Food Chemistry*. 122 : 339–345.
- Mizrahi S. 2010. Syneresis in food gels and its implications for food quality. *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages*. 324–348.
- Mojiono, Nurtama B, dan Budijanto S. 2016. Pengembangan mi bebas gluten dengan teknologi ekstrusi. *Jurnal Pangan*. 25 (2): 125 – 136.
- Moore J, Cheng Z, Hao J, Guo G, Liu JG, Lin C, Lu L. 2007. Effects of solid-state yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 : 10173e82.
- Mudgil D dan Barak S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 61 : 1–6.
- [Napolitano A](#), [Costabile A](#), [Martin-Pelaez S](#), [Vitaglione P](#), [Klinder A](#), [Gibson GR](#), [Fogliano V](#). 2009. Potential prebiotic activity of oligosaccharides obtained by enzymatic conversion of durum wheat insoluble dietary fibre into soluble dietary fibre. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Disease*. 19 (4): 283-90.
- Nassar AG, Abdel-Hamied AA, dan El-Naggar EA. 2008. Effect of citrus by-products flour incorporation on chemical, rheological and organoleptic characteristics of biscuits. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4 (5): 612–616.
- Navarro RR, Otsuka Y, Nojiri M, Ishizuka S, Nakamura M, Shikinaka K, Matsuo K, Sasaki K, Kimbara K, Nakashimada Y, Kato J. 2018. Simultaneous enzymatic saccharification and comminution for the valorization of lignocellulosic biomass toward natural products. *BMC Biotechnology*. 18:(1).
- Ng SH, Wan Amir NWA, dan Wan Rosli WI. 2017. Incorporation of *Pleurotus sajor-caju* powder in cinnamon biscuit: study on nutritional, physical, colour and sensorial properties. *International Food Research Journal*. 24 (6): 2442-2450.
- Nsor-Atindana J, Zhong F, dan Mothibe KJ. 2012. In vitro hypoglycemic and cholesterol lowering effects of dietary fiber prepared from cocoa (*Theobroma cacao* L.) shells. [Food Functional](#). 3 (10): 1044-1050.
- Ostermann-Porcel MV, Quiroga-Panelo N, Rinaldoni AN, Campderrós ME. 2017. Incorporation of okara into gluten-free cookies with high quality and nutritional value. *Journal of Food Quality*. Article ID 4071585.
- Ostermann-Porcel MV, Rinaldoni AN, Campderrós ME, Gómez M. 2020. Evaluation of gluten-free layer cake quality made with okara flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14 : 1614–1622
- Özkaya H, Özkaya B, Duman B, Tursoy S. 2017. Effect of dephytinization by fermentation and hydrothermal autoclaving treatments on the antioxidant activity, dietary fiber, and phenolic content of oat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 65 (28): 5713–5719.
- Ozyurt VYH dan Ötles S. 2016. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*. 15 (3): 233–245.
- Prabandari W. 2011. Pengaruh penambahan berbagai jenis bahan penstabil terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik yoghurt jagung. [Skripsi]. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Prajapati VD, Jani GK, Moradiya NG, Randeria NP, Nagar BJ, Naikwadi NN, Variya BC. 2013. Galactomannan: a versatile biodegradable seed polysaccharide (review). *International Journal of Biological Macromolecules*. 60 : 83–92.
- Purnamasari, N. 2018. Karakteristik fisikokimia dan prebiotik tepung daluga (*Cyrtosperma merkusii* (hassk.) schott) hasil modifikasi

- fermentasi bakteri asam laktat (bal) dan *heat moisture treatment* (HMT). [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Qiao H, Shao H, Zheng X, Liu J, Liu J, Zhang C, Liu Z, Wang J, Guan W. 2021. Modification of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) residues soluble dietary fiber following twin-screw extrusion. *Food Chemistry*. 335 : 127522.
- Rachmayani N, Rahayu WP, Faridah DN, Syamsir E. 2017. Snack bar tinggi serat berbasis tepung ampas tahu (okara) dan tepung ubi ungu. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 28 (2): 139-149.
- Rachmayani N. 2017. *Pengembangan snack bar sebagai pangan jajanan sehat tinggi serat. [Skripsi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sajilata MG, Singhal RS, dan Kulkarni PR. 2006. Resistant starch: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5 (1): 1-7.
- Seker IT, Özboy-Özbaş O, Gökbulut I, Öztürk S, Köksel H. 2009. Effects of fiber-rich apple and apricot powders on cookie quality. *Food Science and Biotechnology*. 18 (4): 948-953.
- Sharma SK, Bansal S, Mangal M, Dixit AK, Gupta RK, Mangal AK. 2015. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56 (10): 1647–1661.
- Sheng K, Qu H, Liu C, Yan L, You J, Shui S, Zheng L. 2017. A comparative assess of high hydrostatic pressure and superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of grape pomace. *International Journal of Food Science and Technology*. 52 (9): 2106–2114.
- Singh S, Gamlath S, dan Wakeling L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 42 (8): 916-929.
- Sui W, Xie X, Liu R, Wu T, Zhang M. 2018. Effect of wheat bran modification by steam explosion on structural characteristics and rheological properties of wheat flour dough. *Food Hydrocolloids*. 84: 571–580.
- Sutedja AM. 2010. Fraksinasi protein dan karakterisasi sifat fungsional tepung okara. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tejada-Ortigoza V, Garcia-Amezquita LE, O Serna-Saldı́var S, Welti-Chanes J. The dietary fiber profile of fruit peels and functionality modifications induced by high hydrostatic pressure treatments. *Food Science and Technology International*. 23(5): 396-402.
- Tejada-Ortigoza V, Garcia-Amezquita LE, Serna-Saldı́va SO, Martín-Belloso O, Welti-Chanes J. 2018. High hydrostatic pressure and mild heat treatment for the modification of orange peel dietary fiber: effects on hygroscopic properties and functionality. *Food and Bioprocess Technology*. 11 : 110–121
- Theuwissen E dan Mensink RP. 2008. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease (review). *Physiology and Behavior*. 94 (2): 285–292.
- Utpott M, Ramos de Araujo R, Galarza Vargas C, Nunes Paiva AR, Tischer B, de Oliveira Rios A, Flóres HS. 2020. Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*. e14420.
- Vong WC, Lim XY, dan Liu SQ. 2017. Biotransformation with cellulase, hemicellulase and *Yarrowia lipolytica* boosts health benefits of okara. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 101 (19): 7129-7140.
- Wang L, Xu H, Yuan F, Fan R, Gao Y. 2015. Analytical methods preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chemistry*. 185 : 90–98.
- Wen Y, Niu M, Zhang B, Zhao S, Xiong S. 2017. Structural characteristics and functional properties of rice bran dietary fiber modified by enzymatic and enzyme-micronization treatments. *LWT*. 75: 344–351.
- Wolf B. 2010. Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. 15 (1-2): 50–54
- Xie F, Li M, Lan X, Zhang W, Gong S, Wu J, Wang Z. 2017. Modification of dietary fibers from purple-fleshed potatoes (Heimeiren) with high hydrostatic pressure and high pressure homogenization processing: A comparative study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 42 : 157-164.
- Yan X, Ye R, dan Chen Y. 2015. Blasting extrusion processing: The increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble-fiber polysaccharides from wheat bran. *Food Chemistry*. 180 : 106–115.
- Yang YY, Ma S, Wang XX, Zheng XL. 2017. Modification and application of dietary fiber in foods: review article. *Journal of Chemistry*. 9340427
- Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of Food Nutrition Research*. 1 (3): 13-23.
- Yi T, Huang X, Pan S, Wang L. 2014. Physicochemical and functional properties of micronized jincheng orange by-products (*Citrus sinensis* Osbeck) dietary fiber and its application as a fat replacer in yogurt.

- International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 65 (5): 565-572.
- Yu J, Ahmedna M, dan Goktepe I. 2007. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*. 103 (1): 121-129.
- Yu ZD, Zhang BL, Yu FQ, Xua GZ, Song AD. 2012. A real explosion: the requirement of steam explosion pretreatment. *Bioresource Technology*. 121 : 335-341.
- Zhang M, Bai X, dan Zhang Z. 2011. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*. 54 (1): 98-103.
- Zhong L, Fang Z, Wahlqvist ML, Hodgson JM, Johnson SK. 2019. Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. *LWT*. 99 : 547-554.
- Zongcai T, Jinlin L, Ruan R, Chengmei L, Hui W, Dan W. 2007. Process for increasing soluble dietary fiber content of soybean meals. *Chinese Society of Agricultural Engineering*. 23 (5): 246-249.