

Senyawa bioaktif dan potensi bekatul beras (*Oryza sativa*) sebagai bahan pangan fungsional

*The bioactive compounds and the potency of rice (*Oryza sativa*) bran as an ingredient of functional foods*

Teti Estiasih¹⁾, Kgs. Ahmadi 1^{2)*}, Vania Santoso¹⁾

¹⁾ Program Magister Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

²⁾ Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tungadewi
Email korespondensi: kgs.ahmadi@yahoo.com

Informasi Artikel:

Dikirim: 09/10/2020; disetujui: 10/01/2021; diterbitkan: 18/02/2021

ABSTRACT

Rice bran is one of the by-products of rice milling with an amount produced about 8% of the weight of rice. The high rice production in Indonesia resulted in a high amount of bran produced with an estimated 2.15 million tons. The rice bran availability is very high, but it has not been optimally utilized for the food industry as an ingredient. Besides white rice, red and black rice is currently being consumed in Indonesia. Bran produced from different rice varieties has different compositions and characteristics. The characteristics of the red and black rice bran are still not much explored. In addition to containing macro components such as protein, oil, starch, and fiber, rice bran also contains bioactive compounds i.e., phenols, flavonoids, phytosterols, gamma oryzanol, tocotrienols, and tocopherols, squalene, and polycosanols. The macro components in bran are precious ingredients for the food industry to develop functional foods. The limiting factor in the formulation of rice bran in food products is the change in palatability and product characteristics. This functional food containing rice bran is a superfood that contains multicomponent bioactive compounds that can work synergistically to modulate positive effects on health.

Keywords: *formulation, macro component, functional foods, multicomponent bioactive compounds, superfood*

ABSTRAK

Bekatul merupakan salah satu hasil samping penggilingan padi dengan jumlah yang dihasilkan sekitar 8% dari berat padi. Produksi padi di Indonesia yang tinggi menyebabkan jumlah bekatul yang dihasilkan juga tinggi yang diperkirakan berjumlah 2,15 juta ton. Ketersediaan bahan baku yang sangat tinggi dan belum dimanfaatkan optimal untuk industri pangan. Selain beras putih, beras merah dan hitam saat ini di Indonesia mulai banyak dikonsumsi. Bekatul yang dihasilkan dari varietas padi yang berbeda mempunyai komposisi dan karakteristik yang juga berbeda. Karakteristik bekatul beras merah dan hitam masih belum banyak diungkap. Bekatul selain mengandung komponen makro berupa protein, minyak, pati, dan serat juga mengandung senyawa bioaktif berupa fenol, flavonoid, fitosterol, gamma oryzanol, tokotrienol, dan tokoferol, skualen, dan polikosanol. Komponen makro yang ada dalam bekatul merupakan ingredien yang sangat berharga bagi industri pangan untuk pengembangan

pangan fungsional. Faktor pembatas dalam menformulasikan bekatul beras pada produk pangan adalah perubahan palatabilitas dan karakteristik produk. Pangan fungsional mengandung bekatul beras ini merupakan *superfood* yang mengandung senyawa bioaktif multikomponen yang dapat bersinergi memodulasi efek positif terhadap kesehatan.

Kata kunci: formulasi, komponen makro, pangan fungsional, senyawa bioaktif multikomponen, *superfood*

PENDAHULUAN

Beras merupakan sereal dengan produksi terbesar kedua dan merupakan pangan pokok paling tidak di 114 negara dan dikonsumsi setengah dari populasi dunia dengan produksi global mencapai 645 juta ton (Sharif *et al.*, 2014). Di Indonesia produksi beras tahun 2019 mencapai 26,91 juta ton (ekonomi.bisnis.com). Bekatul merupakan hasil samping penggilingan padi dengan produksi global mencapai 45 juta ton per tahun (Alauddin *et al.*, 2016). Porsi bekatul adalah 8% dari berat padi sehingga di Indonesia akan tersedia bekatul sejumlah 2.152.800 ton yang belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai bahan pangan. Saat ini bekatul digunakan terutama untuk pakan ternak dan dalam jumlah terbatas dijual untuk dikonsumsi sebagai suplemen.

Bekatul terdiri dari sejumlah kecil endosperma, germ, aleuron, subaleuron, perikarp, dan lapisan luar germ. Bekatul mengandung komponen nutrisi penting meliputi 12–22% minyak, 11–17% protein, 6–14% serat, 10–15% air, dan 8–17% abu (Sharif *et al.*, 2014). Senyawa bioaktif yang terdapat dalam bekatul meliputi γ -oryzanol, tokoferol, tokotrienol (Alauddin *et al.*, 2016), gamma aminobutyric acid (GABA) (Kim *et al.*, 2015), dan anthosianin pada beras merah dan hitam (Chen *et al.*, 2012). Semua komponen makro dari bekatul merupakan komponen penting dan berharga untuk bahan industri pangan fungsional (Gul *et al.*, 2015).

Komposisi bekatul sangat bervariasi dipengaruhi oleh varietas, jenis mesin penyosoh, perlakuan sebelum penyosohan, dan derajat penyosohan (Sharif *et al.*, 2014). Terdapat lebih dari 40.000 varietas padi yang dibudidayakan (The Rice Association, n.a.), dan di Indonesia ada sekitar 7.000 varietas

(Indonesia-FAO, n.a.). Profil nutrisi dan komposisi bekatul bervariasi tergantung varietas (Forster *et al.*, 2013). Komposisi bekatul dari jenis beras yang populer di Indonesia meliputi beras putih, merah, dan hitam belum banyak diekspolarasi. Varietas beras yang berbeda diduga mempunyai komposisi nutrisi berbeda dan karakteristik komponen makro yang berbeda, sehingga penting untuk dikaji. Dengan demikian dapat diketahui kesesuaian varietas padi dengan pemanfaatan komponen makro dari bekatul untuk bahan industri pangan.

Minyak bekatul mempunyai profil asam lemak yang luar biasa yang terutama terdiri dari asam oleat dan linoleat (Sharif *et al.*, 2014) dan dinyatakan sebagai minyak sehat karena mengandung banyak senyawa bioaktif seperti oryzanol, vitamin larut lemak, sitosterol, fitosterol lainnya dan nutrient lain (Liang *et al.*, 2014). Produksi minyak bekatul tahun 2018 mencapai 1,6 juta ton (Research and Market, 2019).

Protein bekatul berkualitas baik dan penting untuk pangan dan farmasi. Kadar protein bekatul sekitar 10-15% yang terdiri dari 37% protein larut air, 31% larut garam, 2% larut alkohol, dan 27% larut alkali dengan sifat hipoalergenik dan antikaner (Fabian dan Ju, 2011; Phongthai *et al.*, 2017) dan kualitas nutrisi setara dengan protein hewani (Han *et al.*, 2015). Protein merupakan komponen esensial untuk bahan pangan (Cho dan Jones, 2019).

Komponen terbesar dari bekatul adalah karbohidrat terutama pati (Nagendra *et al.*, 2011). Pati bekatul ini sesuai digunakan pada berbagai produk pangan (Fabian *et al.*, 2011) dan merupakan ingredien produk berbasis pati (Kuhn *et al.*, 2015) dan kadarnya dipengaruhi derajat penyosohan (Kalpanadevi *et al.*, 2018). Pati bekatul perlu direkoveri melalui proses separasi komponen

makro bekatul secara simultan.

Bekatul juga mengandung serat yang cukup tinggi yaitu sebesar 6-14%, bersifat hipolipidemik dan dapat digunakan untuk mengontrol diabetes (Qureshi *et al.*, 2002). Serat bekatul telah digunakan menurunkan kadar lemak dalam produk pangan dan meningkatkan serat pangan (Sharif *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2010). Serat bekatul juga mempunyai kemampuan mengemulsikan dan mengikat lemak (Hamid and Luan; 2000). Akan tetapi serat bekatul mengandung serat larut yang rendah (7–13%) dan kaya serat tidak larut (Sharif *et al.*, 2014). Artikel ini akan mengulas senyawa bioaktif yang terdapat dalam bekatul beras serta potensi bekatul beras untuk pengembangan pangan fungsional berdasarkan kandungan senyawa bioaktifnya. Juga akan diulas perbedaan antara bekatul beras putih, merah, dan hitam yang eksplorasinya masih terbatas.

BEKATUL BERAS PUTIH, MERAH, DAN HITAM

Padi merupakan sereal yang paling penting di Asia dan merupakan pangan pokok bagi sebagian besar penduduk Asia. Produksi padi di dunia berkontribusi terhadap 25% produksi sereal. Selama penggilingan padi, dihasilkan 70% beras (endosperm) sebagai produk utama, 20% sekam, 8% bekatul, dan 2% dedak (Nagendra *et al.*, 2011). Berhubung jumlah produksi padi yang tinggi, hasil samping penggilingan padi berupa menir, bekatul, minyak bekatul, wax dan sekam tersedia dalam jumlah yang banyak. Hasil samping ini merupakan sumber ingredien pangan yang berharga, akan tetapi penggunaannya masih terbatas (Shih *et al.*, 2012).

Bekatul merupakan bagian yang berwarna coklat dalam bentuk serbuk halus selama proses penyosohan dan penggilingan. Bekatul mengandung mikronutrien berupa senyawa bioaktif yang terdiri dari γ oryzanol, tokoferol, tokotrienol, fitosterol; 20% minyak; 15% protein; 50% karbohidrat (terutama pati) dan serat pangan termasuk di dalamnya glukukan, pektin, dan gum (Nagendra *et al.*, 2011).

Bekatul merupakan lapisan luar endosperm beras setelah biji utuh beras melewati proses *dehulling*. Proses penyosohan yang dilakukan setelah proses *dehulling* menghasilkan beras sosoh dan limbah berupa bekatul yang terlepas dari beras selama penyosohan (Khir dan Pan, 2019). Pigmen dalam beras berwarna seperti beras merah dan beras hitam terdapat dalam lapisan *pericarp* atau lapisan terluar bekatul (Priya *et al.*, 2019). Komposisi zat gizi maupun senyawa bioaktif dalam bekatul dipengaruhi oleh jenis beras, seperti bekatul dari beras putih, bekatul dari beras merah, ataupun bekatul dari beras hitam (Gul *et al.*, 2015). Bekatul tidak memiliki pengaruh terhadap sifat sensori suatu produk pangan, apabila bekatul ditambahkan dalam produk untuk meningkatkan nilai gizi produk pangan (Heiniö *et al.*, 2016). Sifat bekatul yang hipoalergenik juga meningkatkan potensi bekatul untuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat fungsional suatu produk pangan (Kaur *et al.*, 2012).

Tingkat penyosohan beras putih yang tinggi melepas seluruh lapisan bekatul beserta embrio untuk meningkatkan kemurnian atau persentase endosperm pada beras sosoh yang dihasilkan. Bekatul yang dihasilkan dari penyosohan beras putih juga mengandung bagian embrio beras (Gul *et al.*, 2015). Bekatul beras putih menyusun 3,57% biji utuh beras putih, sehingga persentase bekatul beras putih terhadap biji utuh lebih rendah dibandingkan beras merah maupun hitam meskipun tingkat penyosohan yang tinggi dapat menghasilkan limbah yang lebih banyak (Shao *et al.*, 2014).

Bekatul beras putih, merah, dan hitam masih mengandung komponen makro yang cukup signifikan dengan komponen terbesar adalah karbohidrat dalam bentuk serat (Tabel 1.). Senyawa bioaktif dalam bekatul beras putih, merah, dan hitam yang dilaporkan oleh Kalpanadevi *et al.* (2018) dan Ghasemzadeh *et al.* (2018) adalah flavonoid dan fenol. Kadar kedua senyawa ini berbeda antar jenis bekatul. Bekatul juga mengandung antosianin sebagai pigmen

yang juga merupakan senyawa bioaktif. Semakin pekat warna beras, maka kadar antosianinnya semakin tinggi sehingga kadar

antosianin tertinggi terdapat pada bekatul beras hitam.

Tabel 1. Komposisi komponen makro dan bioaktif bekatul beras putih, merah, dan hitam

Komponen makronutrien dan bioaktif	Bekatul beras		
	Putih	Merah	Hitam
Abu (%) ¹	10,68 - 11,77	7,99 ±0,11	9,80 ±0,06
Protein (%) ¹	15,75 - 17,45	7,13 ±0,03	5,07 ±0,08
Lemak (%) ¹	20,63 ±1,71	9,64 ±0,31	11,77 ±0,00
Karbohidrat (%) ¹	70,78 - 73,57	17,34 ±0,53	12,46 ±0,66
Serat pangan total (%) ¹	31,21 - 34,44	66,18 ±0,36	71,04 ±0,15
Flavonoid bebas (mg ekuivalen quercetin/ 100g) ²	28,52 - 135,18	23,26 ±1,18	23,54 ±0,29
Flavonoid terikat (mg ekuivalen quercetin/ 100g) ²	11,63 - 105,70	1,19 ±0,03	1,21 ±0,22
Total Flavonoid (mg ekuivalen quercetin/ 100g) ²	40,15 - 240,88	24,45 ±1,21	24,75 ±0,51
Antosianin (mg ekuivalen sianidin glukosida/ 100g) ²	2,18 - 10,72	218,24 - 314,99	340,78 - 526,28
Fenol Bebas (mg GAE/ 100g) ²	153,30 - 329,65	85,51 - 238,76	111,30 - 297,20
Fenol Terikat (mg GAE/ 100g) ²	102,05 - 149,28	332,98 - 457,00	452,08 - 823,88
Total Fenol (mg GAE/ 100g) ²	269,85 - 447,68	0,35 ±0,02	11,27 ±0,38

Sumber: ¹Kalpanadevi *et al.*, (2018)

²Ghasemzadeh *et al.*, (2018)

Sama halnya seperti bekatul beras putih, bekatul beras merah merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penyosohan. Tingkat penyosohan beras merah lebih rendah dibandingkan beras putih, namun bekatul beras merah memiliki persentase yang lebih besar terhadap biji utuh beras, yaitu 10,13% (Shao *et al.*, 2014). Meskipun pigmen utama dalam bekatul beras merah adalah proantosianidin, bekatul beras merah juga memiliki senyawa pigmen antosianin yang merupakan pigmen utama dalam bekatul beras hitam (Paiva *et al.*, 2014). Polifenol beras merah yang sebagian besar terdapat dalam bekatul tersusun atas 80% polifenol dalam bentuk larut (Verma dan Srivastav, 2020).

Bekatul beras hitam menyusun 13,19% biji utuh beras hitam (Shao *et al.*, 2014). Lapisan bekatul beras hitam lebih tebal dibandingkan lapisan bekatul beras merah, sehingga bekatul yang dihasilkan dari penggilingan beras hitam lebih banyak dibandingkan beras merah pada tingkat penyosohan yang sama (Paiva *et al.*, 2014). Berbeda dengan bekatul beras merah yang memiliki pigmen utama bekatul beras hitam, bekatul beras hitam tidak memiliki senyawa proantosianidin yang merupakan pigmen utama bekatul beras merah (Huang dan Lai, 2016). Bekatul beras hitam dihasilkan dari

penyosohan beras hitam yang dapat menyebabkan penurunan kadar protein yang lebih signifikan dibandingkan pada beras lainnya. Penurunan kadar protein dalam beras hitam menunjukkan bahwa protein terkonsentrasi pada bagian bekatul beras hitam (Paiva *et al.*, 2014).

STABILISASI BEKATUL BERAS

Potensi bekatul beras untuk sebagai bahan pangan untuk kesehatan terkendala umur simpannya yang pendek akibat ketengikan. Bekatul dapat mengalami ketengikan hidrolitik sebagai akibat aktivitas lipase pada berada pada bagian kulit ari dan oksidasi terhadap asam lemak tidak jenuh yang dilepaskan oleh enzim lipase tersebut. reaksi ini menyebabkan perubahan warna dan bau menjadi tidak diinginkan (Ryan, 2011).

Proses stabilisasi bekatul diperlukan melalui inaktivasi atau denaturasi enzim lipase yang menyebabkan terjadinya oksidasi pada lemak dalam bekatul (Bodie *et al.*, 2019). Stabilisasi bekatul dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode pemanasan dan metode tanpa pemanasan. Metode pemanasan terdiri dari pemanasan dengan *microwave*, *steaming*, *infrared*, dan ekstrusi, sedangkan metode tanpa pemanasan

terdiri dari pendinginan dan iradiasi sinar ultraviolet (Yu *et al.*, 2020).

Metode yang dapat digunakan untuk inaktivasi enzim lipase dalam bekatul beras putih, maupun bekatul beras merah dan bekatul beras hitam adalah pemanasan pada suhu 100°C (Ghasemzadeh *et al.*, 2018). Berdasarkan penelitian Yu *et al.* (2020), iradiasi ultraviolet merupakan metode yang dapat menurunkan aktivitas enzim lipase tanpa mempengaruhi komposisi asam lemak, vitamin E, dan oryzanol dalam bekatul secara signifikan. Thanonkaew *et al.* (2012) melakukan stabilisasi bekatul beras menggunakan *hot air heating* pada suhu 150°C selama 2 menit kemudian didinginkan pada suhu ruang selama 30 menit. Dari hasil penelitiannya, Faria *et al.* (2012) menyimpulkan bahwa metode stabilisasi bekatul beras yang berbeda menghasilkan perubahan kadar nutrient yang juga berbeda. Secara umum, kualitas nutrisi dapat dipertahankan dengan pengecualian untuk beberapa komponen yang tidak stabil. Penyangraian menurunkan kadar air bekatul beras secara efisien tetapi mempunyai dampak besar terhadap asam lemak fungsional dalam bekatul. Perlakuan gelombang mikro merupakan salah satu metode praktis untuk stabilisasi bekatul beras dan dapat mempertahankan komponen bioaktif yang fungsional terhadap kesehatan.

Kim *et al.* (2014) meneliti pengaruh berbagai metode stabilisasi bekatul beras meliputi pemanasan kering (*dry-heating*), pengeringan beku diikuti dengan pemanasan kering, pemanasan dalam autoklaf, dan perlakuan uap etanol. Perlakuan-perlakuan tersebut menyebabkan kadar asam lemak bebas yang lebih rendah dibandingkan tanpa perlakuan dan pemanasan menggunakan autoklaf menghasilkan kadar asam lemak bebas paling rendah. Kadar senyawa vitamin E (tokoferol dan tokotrienol) bervariasi 181,4-310,6 mg/kg tergantung perlakuan dan lebih tinggi dibandingkan tanpa stabilisasi. Kadar senyawa bioaktif lain yaitu fitosterol dan polikosanol tidak berubah atau meningkat karena adanya stabilisasi yang

menunjukkan perlakuan panas menginduksi pelepasan polikosanol.

SENYAWA BIOAKTIF DALAM BEKATUL

Bekatul beras berbeda dari bekatul sereal lain seperti jagung dan gandum, yaitu kaya dengan tocotrienol-tokoferol, γ oryzanol, dan β sitosterol. Keberadaan senyawa bioaktif ini penting karena berperan dalam memperbaiki profil lipid dalam mengendalikan hiperkolesterolemia. Bekatul beras juga mengandung serat larut air seperti β glukukan, pektin dan gum lainnya serta asam ferulat dalam dinding sel yang tidak mengalami lignifikasi. Sifat unik bekatul yang mempunyai lipid yang mengandung senyawa bioaktif γ oryzanol dan tokoferol serta rasio mineral yang pas seperti rasio kalsium dan fosfor, menyebabkan bekatul mempunyai pangsa pasar tersendiri sebagai produk untuk meningkatkan kesehatan atau minyak bekatul fungsional. Biasanya klaim kesehatan untuk produk bekatul adalah penurunan kolesterol dan menjaga kesehatan kardiovaskular. Secara komersial, bekatul beras yang distabilisasi telah dipasarkan sejak tahun 2004. Pemanfaatan bekatul beras menjadi produk nutrasetikal dan kesehatan telah mengubah paradigma bekatul sebagai limbah menjadi ingredien yang sangat bermanfaat bagi kesehatan (Ryan, 2011).

Walaupun Jepang berkontribusi 2% terhadap produksi padi di dunia, tetapi negara ini merupakan produsen nutrasetikal atau senyawa bioaktif berbasis bekatul. Bekatul dari varietas padi yang berwarna mempunyai aktivitas antioksidan, polifenol, karotenoid, dan tokotrienol yang membantu mencegah reaksi oksidatif dalam tubuh termasuk kerusakan DNA (Nagendra *et al.*, 2011). Profil kimia bekatul bervariasi tergantung dari varietas. Penelitian Forster *et al.* (2013) menunjukkan bahwa dari 7 varietas beras, kisaran kadar lipid adalah 5–16%, isoform vitamin E (α -, γ -, δ - tokotrienol dan tokoferol) berbeda dengan kisaran 1.3 - 15.2 kali, dan γ - oryzanol serta total fenol berkisar 100–275 ng/mg dan 57–146 ng GAE/mg.

Senyawa bioaktif dalam bekatul beras melipti antara lain γ -oryzanol, tokoferol, tokotrienol, polifenol (asam ferulat dan asam α lipoat), fitosterol (β -sitosterol, kampesterol, dan stigmasterol), dan karotenoid (α -karoten, β -karoten, likopen, lutein, dan zeaxanthin). Bekatul beras juga mengandung asam amino

esensial (triptofan, histidin, metionin, sistein, dan arginin) dan mikronutrien (Mn, Ca, P, Mg, dan 9 jenis vitamin B). Semu senyawa tersebut dapat bersinergi untuk meningkatkan kesehatan. beberapa peran senyawa bioaktif dalam bekatul beras dapat dilihat pada tabel 2 (Ryan, 2011).

Tabel 2. Peran senyawa bioaktif bekatul beras dalam pencegahan penyakit kronis

Senyawa bioaktif bekatul	Pencegahan penyakit
Asam ferulat	Antioksidan, kemopreventif, antiinflamasi, efek penurunan lipid
γ Oryzanol	Antioksidan, kemopreventif, antiinflamasi, efek penurunan lipid
Asam fitat	Menghambat pertumbuhan kanker dan pensinyalan
Kampesterol	Antiangiogenik
β Sirosterol	Penghambat kolesterol
Asam linoleat	Antiinflamasi
α Tokoferol	Penghambatan peroksidasi lipid dan pensinyalan intrasel
Tokotrienol	Penghambatan peroksidasi lipid dan pensinyalan intrasel
Asam salisilat	Antiinflamasi
Asam kafeat	Interaksi mikrobial intestinal
Asam koumarat	Antimutagenik, menghambat siklus sel, antioksidan, kemopreventif

Sumber: Ryan (2011)

Minyak kasar bekatul beras mengandung sekitar 1,5% γ -oryzanol, senyawa bioaktif sebagai penciri bekatul beras. γ -Oryzanol bersifat sebagai antioksidan dan mempunyai peran lain serta telah dipasarkan dengan klaim kesehatan untuk meningkatkan energi, memperbaiki massa otot, dan menyembuhkan luka. γ -Oryzanol juga mempunyai kemampuan menurunkan penyerapan kolesterol dan meningkatkan ekskresi asam empedu dalam feses, serta menghambat agregasi platelet pada tahapan aterosklerosis. Kadar tokotrienol dalam minyak bekatul adalah sekitar 500 ppm dan tokotrienol merupakan antioksidan yang lebih kuat dari tokoferol. Tokotrienol juga mempunyai kemampuan mencegah berbagai penyakit kronis seperti halnya γ -oryzanol (Ryan, 2011).

Tabel 1 menunjukkan bahwa semua jenis bekatul beras mengandung senyawa fenolik. Senyawa fenolik dalam bekatul meliputi asam ferulat, asam salisilat, asam kafeat, asam kumarat dan α tokoferol yang mampu meredam senyawa radikal bebas, mempengaruhi kerja enzim dan mengubah jalur biokimia seperti pada sintesis kolesterol serta mempengaruhi ekspresi gen sehingga telah diteliti kaitannya dengan pencegahan

kanker. Umumnya senyawa fenolik dalam tanaman terikat dengan komponen lain seperti teresterifikasi atau berikatan dengan polisakarida dinding sel sehingga ketersediaan hayatinya menjadi rendah. Belum dilaporkan bagaimana bioavailabilitas senyawa-senyawa fenolik yang berasal dari bekatul beras. Asam fitat bersifat sebagai antinutrisi karena menghambat penyerapan mineral dan protein melalui pembentukan kompleks. Akan tetapi, riset tentang senyawa ini menunjukkan bahwa asam fitat merupakan antioksidan yang potensial serta berperan dalam pencegahan kanker (Ryan, 2011).

Gamma-aminobutyric acid (GABA) merupakan asam amino non protein yang tersebar luas dari mulai bakteri sampai vertebrata. GABA dilaporkan memperbaiki aliran darah menuju otak sehingga meningkatkan fungsi daya ingat, menurunkan gejala depresi dan menurunkan tekanan darah. Penelitian tentang GABA banyak dilakukan pada beras cokelat yang dikecambahkan. Pada beras cokelat tanpa perkecambahan, kadar GABA sangat rendah. GABA juga terdapat dalam bekatul beras cokelat dengan kadarnya dapat mencapai 523 mg/100 g (Kim *et al.*, 2015).

Hasil penelitian Pokkanta *et al.* (2019) menunjukkan bahwa minyak bekatul mengandung

senyawa bioaktif berupa total tokols (tokoferol dan tokotrienol) sebesar 1556,8 mg/kg, total fitosterol sebesar 12.655 mg/kg, total γ oryzanol sebesar 26.484 mg/kg, serta skualen sebesar 3189 mg/kg. Minyak bekatul beras yang diekstraksi menggunakan pelarut mengandung vitamin E sampai 120,59 mg/100 g, γ oryzanol sebesar 3829,65 mg/100 g, fitosterol sebesar 599,40 mg/100 g, dan polikosanol sebesar 332,79 mg/100 g. Residu hasil ekstraksi mengandung GABA sebesar 97,37 mg/100 g (Wongwaiwech *et al.*, 2019).

Fitosterol merupakan merupakan sterol dalam tanaman dan berperan penting dalam menstabilisasi membran sel tanaman. Fitosterol juga merupakan prekursor untuk berbagai senyawa bioaktif yang disintesis oleh tanaman seperti steroidal saponin, steroidal glikoalkaloid, dan lainnya. Produk pangan mengandung fitosterol pertama kali diluncurkan sekitar 20 tahun yang lalu. Fitosterol berperan menurunkan kadar LDL kolesterol (Moreau *et al.*, 2018). Ghaedi *et al.* (2020) menunjukkan bahwa fitosterol dapat digunakan untuk terapi pasien hipertensi dan merupakan senyawa bioaktif yang berperan dalam pencegahan hipertensi bagi orang normal. Dapat disimpulkan bahwa fitosterol berperan penting dalam manajemen penyakit kardiovaskular. Menurut Ilha *et al.* (2020) penurunan total kolesterol plasma oleh fitosterol melalui mekanisme aksi fitosterol pada enterosit dan hepatosit; menggantikan kolesterol dalam misel pada proses absorpsi kolesterol pada lumen intestinal sehingga meningkatkan kolesterol dalam feses; menginduksi ekspresi reseptor LDL; dan menurunkan kerentanan LDL terhadap oksidasi sehingga berkontribusi dalam mencegah berkembangnya aterosklerosis.

Senyawa bioaktif lain yang ada dalam bekatul beras yang berperan dalam manajemen penyakit kardiovaskular adalah skualen. Menurut Ibrahim *et al.* (2020), skualen merupakan senyawa intermediat

dalam biosintesis kolesterol dan berperan seperti obat penurun kolesterol, statin, yaitu menghambat *3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A (HMG-CoA) reductase* di dalam hati. Enzim ini berperan mengubah HMGCoA menjadi mevalonat pada tahap awal sintesis kolesterol. Sifat kardioprotektif dari skualen juga disebabkan skualen bersifat sebagai antioksidan yang berkaitan dengan struktur molekulnya yang banyak mengandung ikatan rangkap.

Lilin (*wax*) bekatul beras mengandung polikosanol yang juga merupakan senyawa bioaktif. Menurut Cicero *et al.* (2015), polikosanol merupakan campuran dari alkohol jenuh primer dengan berbagai panjang rantai, yang diperoleh dari tebu, lilin lebah, bekatul beras, dan tanaman lain. Komponen utama dalam polikosanol adalah oktakosanol (60%), triacontanol (10%), esakosanol (sekitar 6% dan polikosanol yang lainnya. Polikosanol berperan menghambat mRNA pengkode sintesis HMGCoA reductase. Akibatnya terjadi penghambatan sintesis kolesterol dalam tubuh. Asupan polikosanol 10 mg/hari menyebabkan penurunan LDL kolesterol sebesar 20%

Berbagai senyawa bioaktif dalam bekatul beras menunjukkan bahwa bekatul beras merupakan bahan yang berpotensi sebagai ingredien pangan fungsional. Sinergisme antar senyawa bisa terjadi dalam memodulasi efek positif terhadap kesehatan pangan fungsional mengandung bekatul beras. Senyawa bioaktif multikomponen yang ada dalam bekatul diharapkan menghasilkan pangan fungsional dengan khasiat kesehatan yang lebih baik dibandingkan bahan pangan yang mengandung senyawa bioaktif tunggal.

KOMPONEN MAKRO BEKATUL

Pati bekatul

Pati beras merupakan pati yang mahal harganya dan sangat penting karena sifatnya yang unik. Pati bekatul merupakan sumber pati yang murah karena bekatul belum dimanfaatkan secara intensif. Pati diekstrak dari bekatul dengan cara perendaman dalam

air, kemudian campuran tersebut dicuci dengan air, alkohol, dan larutan alkali. Dengan cara ini sekitar 83% pati dari bekatul dapat diambil. Sifat dari pati bekatul ini mirip dengan pati beras baik sifat gelatinisasi, retrogradasi, maupun morfologi granulanya. Pati bekatul ini potensial digunakan pada industri pangan dan farmasi (Fabian *et al.*, 2011).

Minyak bekatul

Bekatul yang awalnya digunakan sebagai pakan, data ini banyak digunakan terutama dalam bentuk minyak bekatul. India dan Thailand merupakan negara penghasil minyak bekatul fungsional terbesar. Di India, ekstraksi pelarut minyak bekatul dari 40 ton bekatul menghasilkan 6,5 ton minyak. Industri pemurnian minyak bekatul juga menghasilkan hasil samping berupa wax, gum, dan *soapstock* yang kaya dengan senyawa bioaktif seperti γ oryzanol, tokoferol, tokotrienol, asam ferulat, lesitin, dan inositol (Nagendra *et al.*, 2011).

Minyak bekatul diperoleh melalui ekstraksi bekatul sebagai hasil samping penggilingan padi. Terdapat beberapa teknik untuk mengekstraksi minyak bekatul dengan ekstraksi pelarut merupakan metode konvensional yang paling populer untuk skala komersial. Akan tetapi kelemahan penggunaan heksana adalah mudah terbakar, toksisitas dan suhu tinggi yang digunakan menyebabkan terbentuk komponen-komponen tidak diinginkan seperti kerusakan oksidatif, ketengikan dan flavor yang tidak enak. Sejumlah metode telah dikaji untuk mengatasi kelemahan metode konvensional. Metode tersebut antara lain SCFE-CO₂, ekstraksi air subkritis, ekstraksi enzimatis, ekstraksi ultrasonik, dan ekstraksi gelombang mikro dengan tujuan menghasilkan produk minyak bebas toksikan, dan kaya komponen bioaktif. Minyak bekatul saat ini semakin populer dan aplikasinya lebih luas di bidang industri pangan, farmasi, kosmetik, dan kimia. Kelemahan minyak bekatul adalah harganya yang mahal dibandingkan minyak nabati yang lain (Garba *et al.*, 2017).

Minyak bekatul mempunyai sifat yang unik dan banyak manfaat terhadap kesehatan.

Keunggulan minyak bekatul adalah stabilitasnya yang baik, flavor yang enak dan tahan lama digunakan sebagai minyak goreng, juga sesuai digunakan untuk membuat margarin, *shortening*, dan minyak sehat. Selain untuk pangan, minyak bekatul sesuai digunakan untuk farmasi dan kosmetik. Minyak bekatul mengandung senyawa nutrasetikal seperti vitamin larut lemak, sitosterol, serta fitosterol. Penelitian tentang minyak bekatul di berbagai negara umumnya fokus pada fungsi dan aplikasinya sebagai minyak makan keluarga yang menyehatkan (Liang *et al.*, 2014).

Protein bekatul

Bekatul mengandung protein dengan kadar berbeda-beda tergantung dari varietas. Penggunaan enzim penghidrolisis karbohidrat dapat menghasilkan konsentrat protein bekatul yang bergizi dan digunakan untuk formulasi produk pangan sehat dan makanan bayi. Bekatul mengandung 7-9% protein yang secara umum diekstrak menggunakan alkali. Kadar protein 90% dapat diperoleh dengan ekstraksi menggunakan NaOH 0,1 N, akan tetapi penggunaan pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan pada protein seperti pengikatan silang dan terbentuknya komponen toksik seperti lisinoalanin. Juga dapat terjadi denaturasi dan degradasi yang menyebabkan penurunan sifat fungsional dan kualitas protein (Shih, 2012).

Bekatul mengandung protein albumin dan globulin yang tinggi. Protein ini dapat diekstrak dari bekatul utuh atau bekatul yang sudah dihilangkan lemaknya dengan ekstraksi alkali dan asam atau presipitasi panas. Metode ekstraksi mempengaruhi kadar protein dalam konsentrat protein yang dihasilkan dengan kisaran 19,4-76,1% dari bekatul utuh dan 17,5-85,0% dari bekatul tanpa lemak. Kualitas protein yang ditunjukkan dengan PER untuk bekatul berkisar 1,59-2,04, untuk konsentrat protein bekatul berkisar 1,99-2,19. Ketersediaan lisin dari konsentrat protein bekatul berkisar 54-58,8% dengan asam amino pembatas adalah treonin dan isoleusin. Sifat fungsional

konsentrat protein bekatul dipengaruhi oleh metode pengeringan dan stabilisasi bekatul. Konsentrat protein bekatul dapat digunakan untuk roti, minuman, permen, dan makanan bayi (Prakash dan Ramaswamy, 1996). Konsentrat protein beras dibuat dengan ekstraksi alkali dengan ekstraksi optimum pada pH 11 selama 45 menit yang menghasilkan kadar protein 69,16% dan rendemen 8,06% (Jiamyangyuen *et al.*, 2005).

Serat bekatul

Komponen terbesar serat bekatul adalah serat tidak larut (Xie *et al.*, 2019). Bekatul mengandung hampir 27% serta pangan yang mempunyai efek terhadap kesehatan seperti bersifat laksatif dan menurunkan kolesterol. Serat dari bekatul mempunyai kemampuan mengikat air setara dengan serat komersial FIBREX, tetapi kemampuan mengikat lemak dan emulsifikasi lebih tinggi. Penambahan serat bekatul pada roti menurunkan volume roti tetapi meningkatkan kekokohan roti (Hamid dan Luan, 2000). Penambahan serat pada produk pangan dapat memperbaiki sifat fisik, kemampuan pengikatan air, kapasitas pengikatan minyak, viskositas, tekstur dan umur simpan produk (Rahbaran *et al.*, 2019).

PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL MENGANDUNG BEKATUL BERAS

Pangan fungsional merupakan pangan yang mempunyai efek positif terhadap kesehatan karena berperan dalam memodulasi metabolisme yang menyebabkan penurunan risiko atau pencegahan penyakit. Senyawa bioaktif dalam pangan fungsional yang berperan memberikan dampak menguntungkan bagi kesehatan melebihi peran pangan untuk pemenuhan kebutuhan nutrisi dasar. Oleh karena itu, pengembangan pangan fungsional dapat dilakukan melalui dua cara yaitu penambahan atau fortifikasi senyawa bioaktif atau ekstraknya ke dalam pangan dan penggunaan bahan pangan yang mengandung senyawa bioaktif. Masing-masing metode mempunyai kelemahan dan

kelebihan. Fortifikasi mempunyai keunggulan konsentrasi senyawa bioaktif bisa dikontrol, tetapi mempunyai kelemahan biaya ekstraksi yang mahal. Penggunaan bahan pangan mengandung senyawa bioaktif mempunyai kelebihan lebih murah serta tidak perlu ada tambahan proses dalam pengolahan, akan tetapi keberadaan senyawa bioaktif dan konsentrasinya bisa beragam.

Penggunaan bekatul beras sebagai bahan pangan untuk diformulasikan ke dalam produk pangan akan menghasilkan produk pangan yang mengandung senyawa bioaktif yang berasal dari bekatul. Hanya saja, penggunaan bekatul beras sebagai ingredien pangan fungsional terkendala aspek sensoris dan perubahan karakteristik produk. Bekatul beras mengandung kadar serat tidak larut yang tinggi yang menyebabkan produk pangan menjadi sulit ditelan. Komposisi tinggi serat ini juga yang dapat menyebabkan produk pangan berubah sifat seperti kekohesifan dan kekompakan menurun, lebih rapuh, daya ikat air menurun, sulit di potong (penurunan *cut resistance*), kurang mengembang seperti pada roti, dan kurang elastis dan kompak pada mie.

Tingkat penambahan bekatul beras dalam formulasi produk pangan tergantung dari jenis produk dan proses pengolahannya. Hal lain yang penting diperhatikan adalah resistensi senyawa bioaktif selama proses pengolahan. Beberapa senyawa bioaktif dalam bekatul seperti asam linoleat dan linolenat sensitif terhadap proses termal yang banyak dilakukan pada pengolahan pangan. Paparan terhadap oksigen selama pengolahan seperti *hot air drying* menyebabkan beberapa senyawa bioaktif dapat teroksidasi seperti antosianin dan fitosterol.

Penelitian Mishra dan Chandra (2012) menunjukkan bahwa suplementasi tepung kedelai dan bekatul beras sampai 15% menghasilkan biskuit yang lebih bernutrisi tanpa menyebabkan perubahan parameter sensoris. Hasil penelitian Sharif *et al.* (2009) menunjukkan suplementasi bekatul beras tanpa lemak sampai 20% dapat dilakukan pada *cookies* tanpa menyebabkan perubahan sifat sensoris. Penambahan bekatul pada

produk fermentasi sereal dari Turki yaitu tarhana menyebabkan peningkatan populasi *Lactobacillus* (Aktas dan Akin, 2020). Tingkat penambahan bekatul beras pada berbagai produk pangan dapat berbeda-beda tergantung jenis produk. Faktor yang membatasi tingkat penambahan ini adalah perubahan palatabilitas dan karakteristik produk yang tidak diinginkan. Oleh karena itu perlu adanya uji coba tingkat penambahan bekatul beras yang masih dapat diterima konsumen dalam pengembangan pangan fungsional mengandung bekatul beras.

Menurut Alauddin *et al.* (2014), banyak permintaan untuk pengayaan produk pangan dengan senyawa bioaktif bekatul, untuk mitigasi perubahan gaya hidup melalui pendekatan pangan. Para pengusaha perlu diberi dorongan untuk mengembangkan bekatul sebagai sumber komponen bioaktif yang potensial untuk pengembangan pangan fungsional dan pangan super (*superfood*).

KESIMPULAN

Bekatul selain mengandung komponen makro berupa protein, minyak, pati, dan serat juga mengandung senyawa bioaktif berupa fenol, flavonoid, fitosterol, gamma oryzanol, tokotrienol, dan tokoferol, skualen, dan polikosanol. Komponen makro yang ada dalam bekatul merupakan ingredien yang sangat berharga bagi industri pangan untuk pengembangan pangan fungsional. Faktor pembatas dalam menformulasikan bekatul beras pada produk pangan adalah perubahan palatabilitas dan karakteristik produk. Pangan fungsional mengandung bekatul beras ini merupakan *superfood* yang mengandung senyawa bioaktif multikomponen yang dapat bersinergi memodulasi efek positif terhadap kesehatan. Penggunaan bekatul beras sebagai bahan pangan untuk diformulasikan ke dalam produk pangan akan menghasilkan produk pangan yang mengandung senyawa bioaktif yang berasal dari bekatul. Pembatas tingkat penambahan bekatul beras sebagai ingredien pangan fungsional adalah perubahan sensoris dan karakteristik produk. Tingkat penambahan bekatul beras pada berbagai

produk pangan dapat berbeda-beda tergantung jenis produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya yang telah mendanai penulisan artikel *review* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aktaş, K., Akin, N. (2020). Influence of rice bran and corn bran addition on the selected properties of tarhana, a fermented cereal based food product. *LWT - Food Science and Technology* 129: 109574. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109574>
- Alauddin, M., Islam, J., Shirakaw, H., Koseki, T., Ardiansyah, Komai, M. (2016). Rice bran as a functional food: an overview of the conversion of rice bran into a superfood/functional food. Waisundara, V., and Shiomi, N. (eds). *Superfood and Functional Food: An Overview of Their Processing and Utilization*. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/66298>
- Bodie, A.R., Micciche, AC, Atungulu GG, Rothrock MJ, Ricke SC. (2019). Current trends of rice milling byproducts for agricultural applications and alternative food production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3(47). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00047>
- Chen, X.Q., Tomio, N.N., Irifune, I.K. (2012). Anti-oxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. *Food Chemistry* 135(4), 2783-2788. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.098>
- Cho, Y.H., Jones, O.G. (2019). Chapter Two - Assembled protein nanoparticles in food or nutrition applications. *Advances in Food and Nutrition*

- Research* 88, 47-84. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.01.002>
- Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Kim, H.W., Lee, J.W., Chung, H.J., Kim, C.J. (2010). Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems. *Meat Science* 84(1), 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.048>
- Cicero, A.F.G., Parini, A., Rosticci, M. (2015). Nutraceuticals and cholesterol-lowering action. *IJC Metabolic & Endocrine* 6, 1–4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcme.2014.10.009>
- Fabian, C., Ayucitra, A., Ismadji, S., Ju, Y.H. (2011). Isolation and characterization of starch from defatted rice bran. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 42(1), 86-91.
- Fabian, C., Ju, Y.H. (2011). A Review on rice bran protein: its properties and extraction methods. *Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(9), 816-827. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.482678>
- Faria, S.A.S.C., Bassinello, P.Z., Penteadó, M.V.C. (2012). Nutritional composition of rice bran submitted to different stabilization procedures. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 48(4), 651-657
- Forster, G.M., Raina, K., Kumar, A., Kumar, S., Agarwal, R., Chen, M.H., Bauer, J.E., McClung, A.M., Ryan, E.P. (2013). Rice varietal differences in bioactive bran components for inhibition of colorectal cancer cell growth. *Food Chemistry* 141(2), 1545–1552. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.020>
- Garba, U., Singanusong, R., Jiamyangyuen, S., Thongsook, T. (2017). Extraction and utilization of rice bran oil: A review. The 4th International Conference on Rice Bran Oil 2017 (ICRBO 2017) Rice Bran Oil Application: Pharma-Cosmetics, Nutraceuticals and Foods. 24-25 August.
- Ghaedi, E., Foshati, S., Ziaei, R., Beigrezaei, S., Kord-Varkaneh, H., Ghavami, A., Miraghajani, M. (2020). Effects of phytosterols supplementation on blood pressure: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition* 39, 2702-2710. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.12.020>
- Ghasemzadeh, A., Karbalaii, M.T., Jaafar, H.Z.E., Rahmat, A. (2018). Phytochemical constituents, antioxidant activity, and antiproliferative properties of black, red, and brown rice bran. *Chemistry Central Journal* 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0382-9>
- Gul, K., Yousuf, B., Singh, A.K., Singh, P., Wani, A.A. (2015). Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food—A review. Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food—A review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 6(1), 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2015.06.002>
- Hamid, A.A., Luan, Y.S. (2000). Functional properties of dietary fiber from defatted rice bra. *Food Chemistry* 68(1),15-19. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00145-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00145-4).
- Han, S.W., Chee, K.M., Cho, S. (2015). Nutritional quality of rice bran protein in comparison to animal and vegetable protein. *Food Chemistry* 172, 766-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.127>
- Heiniö, R.L., Noort, M.W.J., Katina, K., Alam, S.A., Sozer, N., de Kock, H.L., Hersleth, M., Poutanen, K. (2016). Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – A review. *Trends in Food Science & Technology* 47, 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.002>

- Huang, Y.P., Lai, H.M. (2016). Bioactive compounds and antioxidative activity of colored rice bran. *Journal of Food and Drug Analysis* 24(3), 564–574. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.01.004>
- Ibrahim, N.I., Fairus, S., Zulfarina, M.S., Mohamed, I.N. (2020). The efficacy of squalene in cardiovascular disease risk—a systematic review. *Nutrients* 12: 414. <https://doi.org/10.3390/nu12020414>
- Ilha, A.O.G., Nunes V.S., Afonso, M.S., Nakandakare, E.R., Ferreira, G.S., Bombo, R.P.A., Giorgi, R.R., Machado, R.M., Quintão, E.C.R., Lottenberg, A.M. (2020). Phytosterols supplementation reduces endothelin-1 plasma concentration in moderately hypercholesterolemic individuals independently of their cholesterol-lowering properties. *Nutrients* 12, 1507. <https://doi.org/10.3390/nu12051507>
- Indonesia-FAO. n.a. <http://www.fao.org/3/Y4347E/y4347e0x.htm>.
- Jiamyangyuen, S.I., Srijedaruk, V., Harper, W.J. (2005). Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 27(1), 55-64.
- Kalpanadevi, C, Singh, V., Subramanian, R. (2018). Influence of milling on the nutritional composition of bran from different rice varieties. *Journal of Food Science and Technology* 55(6),2259–2269. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3143-9>
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H.P.S., Dar, B.N. (2012). Functional properties of pasta enriched with variable cereal brans. *Journal of Food Science and Technology* 49(4), 467–474. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0294-3>
- Khair, R., Pan, Z. (2019). Rice. In Pan, Z., Zhang, R., Zicari, S. (ed), *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Elsevier Inc., London.
- Kim, H.Y., Lee, E.J., Lim, S.T., Han, J.A. (2015). Self-enhancement of GABA in rice bran using various stress treatments. *Food Chemistry* 172, 657–662. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.107>
- Kim, S.M., Chung, H.J., Lim, S.T. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of Cereal Science* 60, 243-248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.001>
- Liang, Y., Gao, Y., Lin, Q., Luo, F., Wu, W., Lu, Q., Liu, Y. (2014). A review of the research progress on the bioactive ingredients and physiological activities of rice bran oil. *European Food Research and Technology* 238,169–176. <https://doi.org/10.1007/s00217-013-2149-9>
- Mishra, N., Chandra, R. 2012. Development of functional biscuit from soy flour & rice bran. *International Journal of Agricultural and Food Science* 2(1), 14-20.
- Moreau, R.A., Nyström, L., Whitaker, B.D., Winkler-Moser, J.K., Baer, D.J., Gebauer, D.K., Hicks, K.B. (2018). Phytosterols and their derivatives: Structural diversity, distribution, metabolism, analysis, and health-promoting uses. *Progress in Lipid Research* 70, 35–61. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.001>
- Nagendra, P.M.N., Sanjay, K.R., Shravya, K.M., Vismaya, M.N., Nanjunda, S.S. (2011). Health benefits of rice bran - A review. *Journal of Nutrition and Food Science* 1(3). <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000108>
- Paiva, F.F., Vanier, N.L., Berrios, J.D.J., Pinto, V.Z., Wood, D., Williams, T., Pan, J., Elias, M.C. (2016). Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. *Food Chemistry* 191, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.047>

- Pokkanta, P., Sookwong, P., Tanang, M., Setchaiyan, S., Boontakham, P., Mahatheeranont, S. (2019). Simultaneous determination of tocopherols, γ -oryzanol, phytosterols, squalene, cholecalciferol and phylloquinone in rice bran and vegetable oil samples. *Food Chemistry* 271, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.225>
- Priya, T.S.R., Nelson, A.R.L.E., Ravichandran, K., Antony, U. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review. *Journal of Ethnic Foods* 6(1). <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0017-3>
- Qureshi, A.A., Sami, S.A., Khan, F.A.. 2002. Effects of stabilized rice bran, its soluble and fiber fractions on blood glucose levels and serum lipid parameters in humans with diabetes mellitus Types I and II. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 13(3), 175-187. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(01\)00211-X](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(01)00211-X)
- Rahbaran, S., Aarabi, A., Pourabedin, M. (2019). Optimized extraction of dietary fiber from defatted rice bran and evaluation of the fiber-fortified drink yogurt. *Journal of Food Engineering and Technology* 8(2), 55-64. <https://doi.org/10.32732/jfet.2019.8.2.55>
- Research and Market. (2019). Global Rice Bran Oil Markets, 2011-2018 & 2019-2024. <https://www.globenewswire.com>
- Ryan, E.P. (2011). Bioactive food components and health properties of rice bran. *JAVMA* 238(5), 593-600.
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J., Beta, T. (2014). Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science* 59(2), 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.004>
- Sharif, M.K., Butt, M.S., Anjum, F.M., Khan, S.H. (2014). Rice bran: a novel functional ingredient. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54(6), 807-816. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608586>
- Sharif, M.K., Butt, M.S., Anjum, F.M., Nawaz, H. (2009). Preparation of fiber and mineral enriched defatted rice bran supplemented cookies. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(5), 571-577.
- Shih, F.F. (2012). An update on the use of co-products from the milling of rice in value-added food products. *Journal of The American Oil Chemists Society* 89,1-8. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1941-6>
- Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D.J., Decker, E.A.. 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.). *LWT - Food Science and Technology* 48, 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.018>
- The Rice Association. <http://www.riceassociation.org.uk/content/1/18/types-of-rice.html>.
- Timorria, I. F. (2019). *Produksi beras sampai september diperkirakan 26,91 juta ton*. ekonomi.bisnis.com. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20190812/99/1135658/produksi-beras-sampai-september-diperkirakan-2691-juta-ton>. Tanggal akses 9 Oktober 2020.
- Verma, D.K., Srivastav, P.P. (2020). Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. *Trends in Food Science & Technology* 97, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.007>
- Wongwaiwech, D., Weerawatanakorn, M., Tharatha, S., Ho, C.T. (2019). Comparative study on the amount of nutraceuticals in by-products from solvent and cold pressing methods of

- rice bran oil processing. *Journal of Food and Drug Analysis* 27, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.06.006>
- Xie, F., Zhao, T., Wan, H., Li, M., Sun, L., Wang, Z., Zhang, S. (2019). Structural and Physicochemical Characteristics of rice bran dietary fiber by cellulase and high-pressure homogenization. *Applied Science* 9, 1270. <https://doi.org/10.3390/app9071270>
- Yu, C., Hu, Q., Wang, H., Deng, Z. (2020)a Comparison of 11 rice bran stabilization methods by analyzing lipase activities. *Journal of Food Processing and Preservation* 44(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14370>