

Pengaruh Proses Pengolahan terhadap Senyawa Bioaktif Sorgum dan Potensinya terhadap Kesehatan

The Effect of Food Processing on Bioactive Compounds in Shorgum and Its Health Potential

Riski Ayu Anggreini ^{1)*} dan Nurul Azizah Choiriyah ²⁾

^{1)*} Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, *Email: riskiyua.tp@upnjatim.ac.id

²⁾ Program Studi Seni Kuliner, Akademi Kuliner dan Patiseri OTTIMMO Internasional, Surabaya, Jawa Timur, Email: nurul@ottimo.ac.id

ABSTRAK

Sorgum sebagai salah satu bahan pangan dari golongan serealia, sangat potensial digunakan sebagai pangan fungsional yang nantinya digunakan untuk pencegahan penyakit kronis. beberapa penelitian menyampaikan bahwa sorgum memiliki senyawa bioaktif diantaranya adalah senyawa fenolik yang terdiri dari asam fenolik, flavonoid dan tanin. Kandungan senyawa bioaktif tersebut diduga berpotensi terhadap Kesehatan, namun demikian jumlahnya dapat mengalami perubahan akibat proses pengolahan. Review ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait manfaat sorgum khususnya pada kandungan senyawa bioaktifnya, pengaruh proses pengolahan terhadap kandungan senyawa bioaktif dan pengaruhnya terhadap kesehatan. Perendaman, pengukusan, perebusan, pemanasan kering, menggunakan microwave dan perkecambahan secara signifikan dapat menurunkan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan sorgum. Sementara proses fermentasi dan iradiasi sinar gamma dosis 2,0 kGy mampu meningkatkan kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan sampel sorgum. Senyawa fenolik merupakan senyawa yang berkontribusi untuk kesehatan tubuh manusia diantaranya untuk mencegah stress oksidatif, anti-diabetes, anti-obesitas dan memiliki efek positif terhadap mikrobiota usus.

Kata kunci: senyawa bioaktif; fenolik; flavonoid; sorgum

ABSTRACT

Sorghum as cereal group has potential to be used as a functional food that can be used for the prevention of chronic diseases. Several studies shown that sorghum has bioactive compounds including phenolic consisting of phenolic acids, flavonoids, and tannins. The content of these bioactive is suspected having the health potential, however, the amount can change due to the processing process. This review aims to provide information regarding to the benefits of sorghum, especially on the content of its bioactive compounds, the effect of processing on its bioactive compounds, and their effects on health. Soaking, steaming, boiling, dry heating, using a microwave and germination can significantly reduce the phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum. Meanwhile, the

Article Submitted June 6th 2022

Article Revised June 28th 2022

Article Accepted July 15th 2022

fermentation process and gamma-ray irradiation at a dose of 2.0 kGy were able to increase the levels of phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum samples. Phenolic compounds are compounds that contribute to the health of the human body including preventing oxidative stress, anti-diabetes, and anti-obesity, and have a positive effect on the gut microbiota.

Keywords: *bioactive compounds; phenolic acid; flavonoids; sorghum*

PENDAHULUAN

Sorghum merupakan tanaman golongan sereal yang mudah tumbuh pada daerah dengan iklim sedang dan panas, termasuk Indonesia. Paterson *et al.*, (2009), menyampaikan bahwa sorgum tahan ditumbuhkan pada daerah semi kering seperti Asia, Afrika, Australia serta Amerika Timur dan selatan. Sorgum sendiri merupakan tanaman sereal dan produksinya cukup tinggi di Indonesia, setelah tanaman padi dan jagung (Suarni, 2016). Sorgum sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat kandungan gizinya cukup baik, diantaranya karbohidrat dan protein, selain itu kondisi di Indonesia juga cocok digunakan untuk budidaya. Budidaya sorgum di Indonesia masih terbatas di beberapa daerah diantaranya Nusa Tenggara Timur, Jawa Barat dan Jawa Tengah, hal ini linear dengan aplikasinya pada olahan pangan dan industri yang juga masih sangat terbatas. Kondisi ini semakin didukung dengan terjangkaunya harga beras sebagai pangan pokok, karenanya pemerintah Indonesia dalam beberapa tahun terakhir berusaha untuk meningkatkan pemanfaatan sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Sorghum selain mengandung beberapa kandungan gizi seperti yang telah disebutkan di atas, juga kaya senyawa bioaktif sehingga berpotensi memberikan pengaruh positif terhadap kesehatan, dan hal ini potensial diaplikasikan pada produk pangan fungsional. Awika *et al.*, (2018) menyampaikan bahwa komponen bioaktif yang jumlahnya dominan dalam sorgum adalah dari golongan polifenol khususnya flavonoid. Namun demikian, sorgum juga memiliki komponen antigizi yang dapat mempengaruhi penyerapan zat gizi dan hal ini dapat diperbaiki dengan

adanya proses pengolahan. Review ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait manfaat sorgum khususnya pada kandungan senyawa bioaktifnya, pengaruh proses pengolahan terhadap kandungan senyawa bioaktif dan pengaruhnya terhadap kesehatan.

1. Senyawa bioaktif pada sorgum

Sorgum memiliki kandungan bioaktif yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan golongan sereal lain. Komponen bioaktif yang paling banyak terdapat pada grain sereal secara umum adalah hasil metabolit sekunder, yang tersusun dari polifenol atau lemak. Polifenol terdiri dari asam fenolik, derivat flavonoid dan tanin sementara itu komponen utama lemak terdiri dari ester fitosterol/stanol dan polikosanol, walau terkadang bran lemak diketahui teresterifikasi dengan komponen fenolik khususnya asam fenolik (Awika and Rooney, 2004). Senyawa bioaktif pada sorgum biasanya terdapat pada bagian sekam yaitu pada jaringan perikarp, testa dan aleuron. Tingginya senyawa bioaktif pada bagian ini, menyebabkan mudah turunnya komponen bioaktif akibat proses pengolahan diantaranya penyosohan. Senyawa bioaktif yang paling dominan pada sorgum adalah polifenol yang mana terdiri dari asam fenolat, flavonoid dan tanin. Adapun penjelasan lebih lanjutnya adalah sebagai berikut:

A. Asam fenolik.

Asam fenolik merupakan komponen fenolik mayor yang biasanya terdapat pada sereal gandum. Asam fenolik membentuk komponen yang dominan dalam struktur dinding sel dari sereal dan umumnya paling banyak teresterifikasi menjadi hemiselulosa. Asam fenolik yang terkandung di dalam sorgum, umumnya berikatan secara kovalen dengan dinding sel polisakarida, dan jumlahnya berkisar antara 70-95% (Awika *et al.*, (2018); Chiremba *et al.*, (2012)) dan biasanya disebut dengan istilah "*bound*". Sementara itu, komponen fenolik yang tidak berikatan secara kovalen

dengan dinding sel polisakarida biasanya terdiri dari konjugat monomer karbohidrat khususnya gliserol (Svensson *et al.*, 2010; Yang *et al.* 2012).

Tabel 1. Komponen fenolik pada sorgum

Komponen fenolik		Jumlah (µg/g)		Referensi
Asam fenolik	Ekstraksi komponen fenolik pada sorgum	15-1650	Mayoritas terdiri dari caffeoyl glycerides; some feruloyl dan coumaroyl esters	Awika and Rooney, (2004); Chiremba <i>et al.</i> , (2012)
	Asam fenolik (bound)	430-1200	Mayoritas terdiri dari turunan asam ferulat	(Awika and Rooney, 2004; Chiremba <i>et al.</i> , 2012)
flavonoid	(3-deoxy) antosianin	200-4500	3-deoksiantosianin	(Awika <i>et al.</i> , 2004)
	Flavones	20-390	Apigenin, luteolin, dan glukosida	Dykes <i>et al.</i> , 2011; Yang <i>et al.</i> , 2015)
	Flavonones	0-2000	Naringenin, eriodictyol, dan O-glikosidanya pada varietas putih, merah dan lemon-yellow	Dykes <i>et al.</i> , 2009, 2011; Yang <i>et al.</i> , 2015)
	Flavan-3-ols	0-33	Ada pada beberapa varietas sorgum, khususnya ikatan tipe B, terpolimerisasi (mDP 20)	(Awika <i>et al.</i> , 2003; Girard <i>et al.</i> , 2018)

b. Flavonoid

Secara umum, flavonoid merupakan komponen antioksidan terbesar pada tanaman, namun tidak demikian pada golongan sereal yang mana

kandungannya relatif kecil (Zamora-Ros *et al.*, 2016). Namun demikian, golongan flavonoid merupakan senyawa bioaktif dominan yang ada pada sereal, dan hal ini berhubungan dengan aktifitas anti inflamasi dan kemoprotektif (Lim *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2014; Agah *et al.*, 2017), sehingga aplikasinya pada produk pangan dianggap dapat memberikan nilai tambah terhadap kemanfaatan. Flavonoid juga dapat mempengaruhi karakteristik sensoris dari produk pangan, misalkan pengaruhnya terhadap warna, flavor dan astringency. Namun demikian, flavonoid juga dapat mempengaruhi bioavailabilitas dari senyawa gizi khususnya zat gizi makro (Amoako and Awika, 2016; Pan *et al.*, 2018; Mitaru *et al.*, 1984). Adapun beberapa komponen fenolik yang terdapat pada sorgum dapat dilihat pada Tabel 1, sementara itu untuk struktur komponen fenolik dan flavonoid yang dominan pada sorgum dapat dilihat pada Gambar 1.

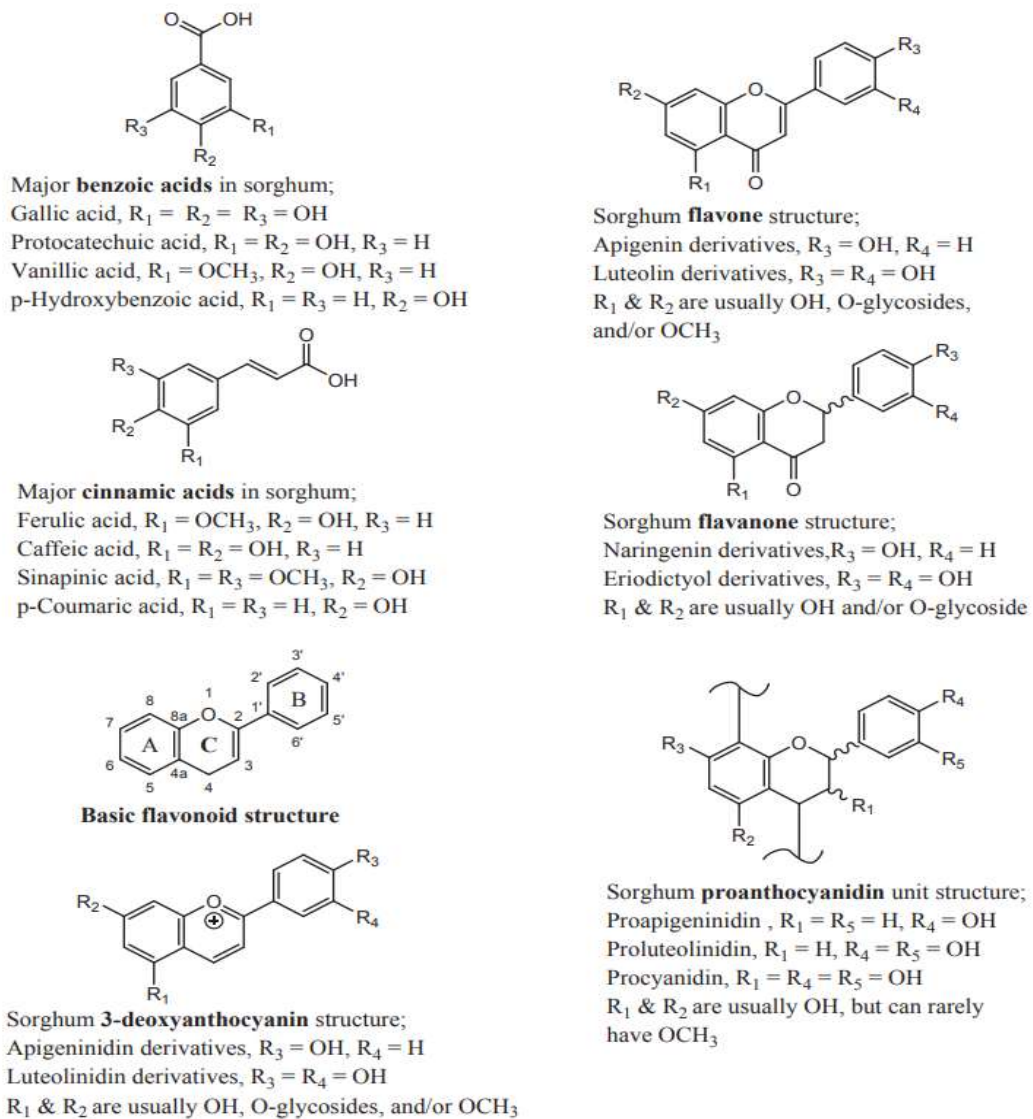
c. Tanin

Tanin yang ditemukan di sorgum yaitu oligomer atau polimer dari senyawa fenolik yang tersusun dari flavan-3-ol dan flavan 3,4-diol dan memiliki kapasitas untuk berinteraksi dengan protein, karbohidrat, lipid dan logam. Tanin ditemukan dalam sorgum dengan testa berpigmen merah (pastel), merah kecoklatan pastel atau hitam pastel dalam konsentrasi antara 10 dan 68 mg/g (Awika & Rooney, 2004)

2. Pengaruh proses pengolahan pada kandungan bioaktif sorgum

Sorgum dapat dikonsumsi atau menjadi *palatable* setelah melalui proses pengolahan. Selama bertahun-tahun, sorgum diolah dengan cara penepungan, perendaman, perebusan, pengukusan, pemasakan dengan tekanan tinggi, penyangraian, pemanggangan, ekstrusi, perkecambahan, fermentasi, dan perlakuan enzimatik. Bagian sorgum terdiri dari perikarp, testa, endosperma dan kecambah. Bagian perikarp dan testa merupakan bagian yang kaya akan senyawa bioaktif karotenoid, antosianin, asam fenolik, flavonoid dan tannin. Pada waktu pengolahan, bagian perikarp dan

testa biasanya dihilangkan untuk meningkatkan cita rasa. Hal tersebut menyebabkan penurunan kadar senyawa bioaktif pada sorgum (Cardoso *et al.*, 2014). Namun ternyata, beberapa teknologi pengolahan pangan seperti fermentasi, perkecambahan, perlakuan enzimatik justru dapat meningkatkan kadar senyawa bioaktif atau bahkan mensintesis senyawa bioaktif yang baru (Khoddami *et al.*, 2017). Efek pengolahan terhadap senyawa bioaktif sorgum ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 1. Struktur komponen fenolik dan flavonoid pada sorgum (Girard and Awika, 2018)

Tabel 2. Efek proses pengolahan terhadap senyawa bioaktif sorgum

Sampel	Teknologi proses	Kadar Total fenolik (mg ekuivalen asam galat/g)	Aktivitas antioksidan	Referensi
Sorgum merah mentah	-	8,92	Penghambatan DPPH= 40,46 %	Wu <i>et al.</i> , (2013)
Sorgum merah yang direndam	Perendaman sorgum pada air (1:8 w/v) selama 1 jam kemudian ditiriskan dan dikeringkan pada suhu 50°C	5,46	Penghambatan DPPH= 32,05 %	
Sorgum merah kukus	Sorgum yang telah direndam pada air (1:8 w/v) selama 1 jam kemudian dikukus pada suhu 200-220oC selama 20 menit kemudian dikeringkan pada suhu 50°C	4,33	Penghambatan DPPH= 21,96 %	
Sorgum mentah		71,47	Penghambatan DPPH= 81,56 %	Bianco-Gomes <i>et al.</i> , (2022)
Sorgum yang diolah dengan panas kering	Sorgum dipanaskan secara kering menggunakan alat microwave hingga meletup (<i>bursting</i>)	61,35	Penghambatan DPPH= 64,42 %	
Sorgum yang dimasak dengan metode basah	Biji sorgum dimasak menggunakan media air (20 g sorgum ditambah air 500 ml) pada suhu 100oC selama 50 menit	6,00	Penghambatan DPPH= 25,52 %	
Sorgum (Giza Cultivar) kontrol	-	1,78	IC ₅₀ (metode DPPH)= 22,15 %	Sorour <i>et al.</i> , (2017)

Kecambah Sorgum (Giza Cultivar)	Biji sorgum (50 g) direndam dalam air selama 20 jam dengan dua kali pergantian air pada siang hari. Sorgum basah ditempatkan di dalam cawan Petri dengan kapas jenuh yang telah direndam air selama 12 jam.	1,36	IC ₅₀ (metode DPPH)= 26,79 %	
Sorgum (Giza Cultivar) yang difermentasi	Tepung sorgum dicampur air (45% w/v) kemudian dibentuk adonan dan difermentasi menggunakan <i>Saccharomyce scerevisiae</i> . Inkubasi selama 40°C for 12h. Adonan yang telah difermentasi kemudian dikeringkan dan digiling menjadi tepung	2,35	IC ₅₀ (metode DPPH)= 11,75	
Tepung Sorgum kultivar Tabat	-	8,9	Penghambatan DPPH= 56 %	Mohamed et al., (2022)
Tepung Sorgum kultivar Tabat iradiasi	Biji sorgum diiradiasi menggunakan sinar gamma dosis 2 kGy pada suhu 25oC selanjutnya digiling dan diayak	9,4	Penghambatan DPPH =74%	

Lebih rendahnya senyawa fenolik akibat proses perendaman dibandingkan sorgum mentah, dapat diakibatkan oleh senyawa fenolik larut air yang terlarut ke dalam air rendaman (*leaching*) yang kemudian diikuti dengan adanya pemecahan dan oksidasi senyawa fenolik (Ghaderi-Ghahfarrokhi *et al.*, 2017).

Penurunan total fenolik pada sorgum yang diolah menggunakan metode basah lebih tinggi daripada yang diolah menggunakan metode microwave. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode air memungkinkan sampel sorgum mengalami peningkatan kadar air sehingga kadar total fenolik menjadi rendah. Pemasakan metode basah juga menyebabkan adanya total fenolik yang terlarut pada air atau terjadinya proses *leaching* senyawa fenolik (Bianco-Gomes *et al.*, 2022).

Penelitian oleh Cardoso *et al.*, (2015) juga menyebutkan bahwa terjadi retensi senyawa proantosianidin derajat polimerisasi rendah (mono hingga trimer), 3-deoxiantosianidin (luteolinidin, apigeninidin, 5-methoxy-luteolinidin, dan 7-methoxy-apigeninidin pada sampel sorgum yang dipanas kering menggunakan oven suhu 121 °C selama 25 menit.

Sorgum kultivar Giza yang dikecambahkan mengalami penurunan kadar total fenolik sebesar dibandingkan dengan kontrol. Penurunan ini diakibatkan karena fenolik yang terdapat pada pericarp dan testa hilang selama perendaman air, yang terjadi pada prosedur awal perkecambahan, atau bisa juga disebabkan karena terbentuknya kompleks tidak terlarut antara senyawa hidroksil yang reaktif dari fenolik dengan protein. Kompleks tersebut membuat penurunan gugus hidroksil. Sorour *et al.*, (2017) menyampaikan bahwa proses fermentasi sorgum kultivar Giza selama 12 hari mampu meningkatkan kandungan fenolik sebesar 31.8%. Peningkatan total fenolik setelah fermentasi dihasilkan oleh aktivitas metabolik mikroba selama proses fermentasi dapat mengubah senyawa aktif, atau dapat memecah struktur dinding sel sorgum yang dapat membentuk atau mensintesis beberapa senyawa bioaktif.

Perlakuan iradiasi dosis 2,0 kGy pada tepung sorgum secara signifikan mampu meningkatkan total fenolik. Hal ini dapat dihubungkan dengan senyawa fenolik yang dikeluarkan dari komponen glikosidik dan degradasi senyawa fenolik berukuran besar menjadi lebih kecil (Mohamed *et al.*, 2022). Selanjutnya radiasi sinar gamma mampu memecah ikatan kimia polifenol menghasilkan reaksi oksidasi destruktif yang menyebabkan polifenol larut air menjadi *release*, khususnya yang memiliki berat molekul rendah (Adamo *et al.*, 2004). Iradiasi sinar gamma juga mampu meningkatkan kadar fenolik bebas pada kacang kedelai (Variyar *et al.*, 2004).

Berdasarkan Wu *et al.*, (2013), sorgum mentah memiliki aktivitas antioksidan tertinggi diikuti dengan sorgum yang direndam dan dikukus. Aktivitas antioksidan sorgum mentah dan sorgum yang telah diolah dihubungkan dengan kemampuan senyawa fenolik dalam mendonorkan atom hidrogen dari gugus hidroksil aromatik kepada radikal bebas.

Penurunan aktivitas antioksidan juga terjadi pada sorgum kultivar Giza yang dikecambahkan. Penurunan aktivitas antioksidan setelah perkecambahan disebabkan aktivasi beberapa enzim dan proses metabolik lainnya yang merusak senyawa antioksidan, yang menyebabkan hilangnya aktivitas antioksidan dalam biji sorgum. Sementara itu, sorgum varietas Giza yang diberikan perlakuan Fermentasi ternyata dapat meningkatkan aktivitas antioksidan DPPH. Perlakuan fermentasi pada penelitian yang dilakukan oleh Sorour *et al.*, (2017), dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* mampu memberikan pengaruh positif terhadap penghambatan radikal DPPH. Hal ini karena total fenolik sampel sorgum yang difermentasi juga meningkat. Fermentasi menggunakan yeast juga dapat membentuk senyawa lain seperti asam askorbat, karotenoid dan tokoferol (Đorđević *et al.*, 2010). Proses iradiasi sinar gamma dosis 2,0 kGy tepung sorgum juga mampu meningkatkan aktivitas antioksidan DPPH yang dihubungkan dengan peningkatan total fenolik karena hidrolisis senyawa fenolik glikosidik dan senyawa aglikon yang *release* (Mohamed *et al.*, 2022)

Peranan komponen bioaktif sorgum terhadap kesehatan

a. Pencegah stress oksidatif

Sorgum memiliki peranan dalam upaya pencegahan penyakit kronis, utamanya dilihat dari kandungan polifenolnya. Pada beberapa penelitian, disebutkan bahwa sorgum mampu menurunkan stress oksidatif dan inflamasi kronis, sehingga kemudian mampu mencegah kanker, memperbaiki metabolisme glukosa, memperbaiki metabolisme lemak, menekan peningkatan akumulasi lemak, meningkatkan pertumbuhan mikrobia usus (Girard and Awika, 2018).

Sorgum dapat meningkatkan aktivitas NADH: quinone oksireduktase (NQO) karena kandungan 3-deoksiantosianidin. Sorgum hitam memiliki peran yang lebih tinggi dalam meningkatkan NQO karena memiliki profil dan kandungan 3-deoksiantosianidin yang lebih banyak (Awika *et al.*, 2009).

Berdasarkan penelitian *in vivo*, tikus normolipidemik yang diberi pakan bekatul sorgum hitam terjadi peningkatan aktivitas superoksida dismutase (SOD). Hal ini juga dikaitkan dengan kandungan 3-deoksiantosianidin pada bekatul sorgum. Selanjutnya sorgum putih (kaya akan asam fenolik), sorgum coklat (kaya akan tanin) atau sorgum hitam (kaya akan 3-deoksiantosianidin) mampu menekan aktivitas glutathion peroksidase (GPx) (Lewis, 2008).

Di samping itu, tikus normolipidemik yang diberi pakan sorgum merah utuh memiliki konsentrasi *thiobarbituric acid reactive substances* (TBARS) yang lebih rendah pada livernya. Penurunan ini diakibatkan sorgum utuh menghambat reactive electrophilic species (RES) dan menurunkan stress oksidatif melalui peningkatan enzim antioksidan (katalase, GPx dan SOD) dan kapasitas antioksidan total (Moraes *et al.*, 2012)

b. Anti-diabetes

Chung *et al.*, (2011) menyampaikan bahwa sorgum dapat memodulasi metabolisme glukosa pada hewan percobaan dan hal ini dikarenakan adanya senyawa fenolik. Ekstrak fenolik sorgum mampu

meningkatkan produksi insulin dan menurunkan glukosa darah dan hasilnya sama dengan kelompok kontrol yang diberikan glibenklamid.

Senyawa fenolik sorgum mampu meningkatkan konsentrasi insulin dan sensitivitas insulin pada tikus diabetes. Hal tersebut juga mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan fungsi sel β yang memiliki pengaruh positif pada penyakit diabetes tipe 2 (Chung *et al.*, 2011). Selanjutnya, ekstrak fenolik sorgum mampu menurunkan kadar glukosa darah dengan mencegah glukoneogenesis hepatic karena adanya penurunan ekspresi gen PEPCK dan p38 serta overekspresi gen AMPK (Kim and Park, 2012)

c. Peran positif pada mikrobiota usus

Senyawa fenolik yang tidak diserap oleh tubuh diperkirakan mampu memodulasi mikrobiota usus dengan menstimulasi pertumbuhan bakteri yang baik untuk pencernaan dan melawan bakteri patogen, seperti efek prebiotik. Tanin yang kandungannya melimpah dalam sorgum merupakan bahan yang tidak dimetabolisme di usus besar namun dimetabolisme oleh mikrobia kolon (Cardona *et al.*, 2012). Selain itu, sorgum juga memiliki pati resisten dan serat pangan yang dapat memodifikasi mikrobia usus (Martinez *et al.*, 2010).

Beberapa penelitian telah melaporkan efek senyawa fenolik seperti tanin dan antosianin dari makanan dapat meningkatkan populasi *Bifidobacterium spp* dan *Lactobacillus spp* serta menurunkan *Bacteroides spp*, *Clostridium spp*, *Propionibacterium spp*, *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus mutans*, dan *Escherichia coli* (Hidalgo *et al.*, 2012). Efek sorgum (termasuk beberapa varietasnya yang kaya akan tanin dan 3-deoksiantosianidin), terhadap mikrobiota usus masih perlu dieksplorasi.

d. Anti-obesitas

Tanin dalam sorgum dapat berinteraksi dengan amilosa membentuk kompleks (pati resisten) yang tidak dapat dicerna oleh usus halus manusia dan lolos ke usus besar dan dimetabolisme oleh mikrobia (Barros *et al.*, 2013). Tanin sorgum juga dapat mencegah pencernaan pati dengan

menghambat enzim sakarase dan amilase (Mkandawire et al., 2013). Tanin juga dapat berinteraksi dengan protein membentuk kompleks yang dapat menghambat enzim pencernaan tripsin, kimotripsin, dan lipase (Barros et al., 2013).

Obesitas memegang peran penting dalam terjadinya proses inflamasi. Ekstrak sorgum yang kaya akan 3-deoksiantosianidin mencegah sekresi interleukin-1b (IL-1b), tumor nekrosis faktor- α (TNF- α) dan nitrat oksida oleh sel mononuclear manusia yang diaktifasi dengan bakteri lipopolisakarida (Burdette et al., 2010). Ekstrak tanin sorgum juga efektif dalam menghambat enzim hyaluronidase yang merupakan enzim pemicu inflamasi. Tanin dapat mengikat sisi aktif enzim hyaluronidase (Bralley et al., 2008).

KESIMPULAN

Potensi sorgum diaplikasikan pada pangan fungsional cukup besar mengingat memiliki kandungan senyawa bioaktif (khususnya senyawa fenolik) yang cukup tinggi. Perendaman, pengukusan, perebusan, pemanasan kering, menggunakan microwave dan perkecambahan secara signifikan dapat menurunkan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan sorgum. Namun demikian, proses fermentasi dan iradiasi sinar gamma dosis 2,0 kGy ternyata mampu meningkatkan kadar senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan sampel sorgum. Senyawa fenolik merupakan senyawa yang berkontribusi untuk kesehatan tubuh manusia diantaranya untuk mencegah stress oksidatif, anti diabetes, anti-obesitas dan memiliki efek positif terhadap microbiota usus.

DAFTAR PUSTAKA

Adamo, M., Capitani, D., Mannina, L., Cristinzio, M., Ragni, P., Tata, A., Coppola, R., 2004. Truffles decontamination treatment by ionizing radiation. *Rad. Phys. Chem.* 71, 167–170.

- Amoako, D.B., Awika, J.M., 2016. Polymeric tannins significantly alter properties and in vitro digestibility of partially gelatinized intact starch granule. *Food Chem.* 208, 10–17.
- Awika, J.M., Dykes, L., Gu, L.W., Rooney, L.W., Prior, R.L., 2003. Processing of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products alters procyanidin oligomer and polymer distribution and content. *J. Agric. Food Chem.* 51, 5516–5521
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Waniska, R.D., 2004. Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *J. Agr. Food Chem.* 52, 4388–4394
- Awika, J.M., Rooney, L.W., 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.
- Awika, J.M., Yang, L., Browning, J.D., Faraj, A., 2009. Comparative anti oxidant, antiproliferative and phase II enzyme inducing potential of sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties. *LWT - Food Sci. Technol.* 42, 1041–1046.
- Awika, J.M., Rose, D.J., Simsek, S., 2018. Complementary effects of cereal and pulse polyphenols and dietary fiber on chronic inflammation and gut health. *Food & function*, 9, 1389–1409
- Barros, F., Awika, J., Rooney, L.W., 2013. Effect of molecular weight profile of sorghum proanthocyanidins on resistant starch formation. *J. Sci. Food Agr.*, 60(1): 172-179.
- Bianco-Gomes, A.C., Nogueira, L.S., Bono-Lopes, N.V.M., Gouvêa-Souza, C.P., Boldrini-França, J., Gomes, V.M., Cherene, M.B., Alves, N.E.G., Vasconcelos, C.M., 2022.
- Dry heat and pressure favor bioactive compounds preservation and peptides formation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Current Research in Food Science*, 5, 117-124.
- Bralley, E., Greenspan, P., Hargrove, J.L., Hartle, D.K., 2008. Inhibition of hyaluronidase activity by select sorghum brans. *J. Med. Med. Food*, 11, 307–312.
- Burdette, A., Garner, P.L., Mayer, E.P., Hargrove, J.L., Hartle, D.K., Greenspan, P., 2010. Anti-inflammatory activity of select sorghum (*Sorghum bicolor*) brans. *J. Med. Food*, 13, 1–9.
- Cardoso, M., Montini, T.A., Pinheiro, S.S., Queiroz, V.A., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., Martino, H.S., Moreira, A.V., 2014. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152, 210–217.
- Cardoso, L.M., Pinheiro, S.S., Carvalho, C.W.P., Queiroz, V.A.V., Chiremba, C., Taylor, J.R.N., Rooney, L.W., Beta, T., 2012. Phenolic acid content of sorghum and maize cultivars varying in hardness. *Food Chem.*, 134, 81–88.
- Chung, I.M., Kim, E.H., Yeo, M.A., Kim, S.J., Seo, M.C., Moon, H. I., 2011. Antidiabetic effects of three Korean sorghum phenolic extracts in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *Food Res. Int.*, 44, 127–132.
- Cardona, F., Andres-Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F.J., Queipo-Ortuno, M.I., 2013. Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *J. Nutr. Biochem.*, 24, 1415–1422.

- Lewis, J.B., 2008. Effects of Bran from Sorghum Grains Containing Different Classes and Levels of Bioactive Compounds in Colon Carcinogenesis. USA: Texas A&M University
- Menezes, C.B., Moreira, A.V.B., Barros, F.A.R., Awika, J.M., Martino, H.S.D., Pinheiro-Sant'Ana, H.M., 2015. Phenolic compounds profile in sorghum processed by extrusion cooking and dry heat in a conventional oven. *Journal of Cereal Science*, 65, 220-226.
- Martinez, I., Kim, J., Duffy, P.R., Schlegel, V.L., Walter, J., 2010. Resistant starches types 2 and 4 have differential effects on the composition of the fecal microbiota in human subjects. *PLoS ONE*, 5, 1–11.
- Moraes, E.A., Natal, D.I.G., Queiroz, V.A.V., Schaffert, R.E., Cecon, P. R., de Paula, S.O., Benjamim, L.d.A., Ribeiro, S.M.R., Martino, H.S.D., 2012. Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Res. Int.*, 49, 553–559
- Dorđević, T.M., Šiler-Marinković, S.S., Dimitrijević-Branković, S.I., 2010. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, 119(3), 957-963.
- Dykes, L., Peterson, G.C., Rooney, W.L., Rooney, L.W., 2011. Flavonoid composition of lemon-yellow sorghum genotypes. *Food Chem.*, 128, 173–179.
- Ghaderi-Ghahfarrokhi, M., Sadeghi-Mahoonak, A.R., Alami, M., Khanegah, A.M., 2017. Effect of processing treatments on polyphenol removal from kernel of two Iranian acorns varieties. *International Food Research Journal*, 4(1), 86-93.
- Girard, A.L., Bean, S.R., Tilley, M., Adrianos, S.L., Awika, J.M., 2018. Interaction mechanisms of condensed tannins (proanthocyanidins) with wheat gluten proteins. *Food Chem.*, 245, 1154–1162
- Hidalgo, M., Oruna-Concha, M.J., Kolida, S., Walton, G.E., Kallithraka, S., Spencer, J.P.E., Gibson, G.R., de Pascual-Teresa, S., 2012. Metabolism of anthocyanins by human gut microflora and their influence on gut bacterial growth. *J. Agric. Food Chem.*, 60, 3882–3890.
- Kim, J. and Park, Y., 2012. Anti-diabetic effect of sorghum extract on hepatic gluconeogenesis of streptozotocin-induced diabetic rats. *Nutr. Metabol.*, 9, 1–7.
- Khoddami, A., Mohammadrezaei, M., Roberts, T.H., 2017. Effects of sorghum malting on colour, major classes of phenolics and individual anthocyanins. *Molecules*, 22, 1713-1720.
- Lee, K.Y., Yao, H., Bae, I.Y., Lee, H.G., 2012., Effect of Hydrocolloids on the Pasting and Rheological Characteristics of Resistant Starch (Type 4). *Food Sci. Biotechnol.*, 21(3): 769-774. DOI 10.1007/s10068-012-0100-7.
- Mitaru, B.N., Reichert, R.D., Blair, R., 1984. The binding of dietary protein by sorghum tannins in the digestive tract of pigs. *J. Nutr.*, 114, 1787–1796
- Mkandawire, N.L., Kaufman, R.C., Bean, S.R., Weller, C.L., Jackson, D.S., Rose, D.J., 2013. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tannins on α -amylase activity and in vitro digestibility of starch in raw and processed flours. *J. Agric. Food Chem.*, 61, 4448–4454.
- Mohamed, L.K., Sulieman, M.A., Yagoub, A.E.A., Mohammed, M.A., Alhuthayli, H.F., Mohamed Ahmed, I.A., Almaiman, S.A., Alfawaz, M.A., Osman, M.A., Hassan, A.B., 2022. Changes in Phytochemical

- Compounds and Antioxidant Activity of Two Irradiated Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Monech) Cultivars during the Fermentation and Cooking of Traditional Sudanese Asida. *Fermentation*, 8, 60-70.
- Pan, L., Ma, X., Hu, J., Liu, L., Yuan, M., Liu, L., Li, D., Piao, X., 2018. Low-tannin white sorghum contains more digestible and metabolisable energy than high-tannin red sorghum if fed to growing pigs. *Anim. Prod. Sci.*
- Park, J.H., Lee, S.H., Chung, I.M., Park, Y. 2012. Sorghum extract exerts an anti-diabetic effect by improving insulin sensitivity via PPAR-g in mice fed a high-fat diet. *Nutr. Res. Pract.*, 6, 322–327.
- Paterson, A., Bowers, J., Bruggmann, R., Dubchak, I., Grimwood, J., Gundlach, H., Haberer, G., Hellsten, U., Mitros, T., Poliakov, A., 2009. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses. *Nature*, 457, 551–556
- Suarni. 2016. Peranan sifat fisikokimia sorgum dalam diversifikasi pangan dan industry serta prospek pengembangannya. *Jurnal Litbang Pertanian*, 35(3), 99-110.
- Sorour, M.A., Mehanni, A.E., Taha, E.M., Rashwan, A.K., 2017. Changes of Total Phenolics, Tannins, Phytate and Antioxidant Activity of Two Sorghum Cultivars as Affected by Processing. *Journal of Food and Dairy Science*, 8(7), 267 - 274
- Svensson, L., Sekwati-Monang, B., Lutz, D.L., Schieber, A., Gänzle, M.G., 2010. Phenolic acids and flavonoids in nonfermented and fermented red sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *J. Agric. Food Chem.*, 58, 9214–9220 Yang 2012
- Yang, L.Y., Browning, J.D., Awika, J.M., 2009. Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 1797–1804.
- Yang, L., Allred, K., Dykes, L., Allred, C., Awika, J., 2015. Enhanced action of apigenin and naringenin combination on estrogen receptor activation in non-malignant colonocytes: implications on sorghum-derived phytoestrogens. *Food & Function*, 6, 749–755
- Variyar, P.S., Limaye, A., Sharma, A., 2004. Radiation-induced enhancement of antioxidant contents of soybean (*Glycine max* Merrill). *J. Agric. Food Chem.*, 52, 3385–3388
- Wu, L., Huang, Z., Qin, P., Ren, G., 2013. Effects of processing on phytochemical profiles and biological activities for production of sorghum tea. *Food Research International*, 53, 678-685.