

Karakterisasi Fisiko-Kimia Biji dan Kulit Ari Kacang Bogor Asal Jampang-Sukabumi Jawa Barat

[Physico-Chemical Characterization of Bambara Groundnut Seed and Coat from
Jampang-Sukabumi West Java]

Rizki Maryam Astuti^{1,2)}, Nurheni Sri Palupi^{1,3)*}, Maggy Thenawidjaja Suhartono¹⁾, Hanifah Nuryani Lioe¹⁾, Ani Kusumaningtyas⁴⁾, dan Laras Cempaka²⁾

¹⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

²⁾ Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jakarta, Indonesia

³⁾ South-East Asia Food & Agricultural Science and Technology (SEAFST) Center, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴⁾ Pusat Riset Veteriner, Organisasi Riset Kesehatan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bogor, Indonesia

Diterima 24 Agustus 2022 / Disetujui 12 Desember 2022

ABSTRACT

The traditional cultivation and limited use of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) seed and coat have encouraged the development of this commodity. The aim of this research was to characterize the seed and coat of bambara groundnut from Jampang, Kab. Sukabumi, West Java. Analysis on bambara groundnut seed including proximate analysis, *in vitro* protein digestibility, starch content, and dietary fiber, as well as analysis on its coat including anthocyanin, total phenolic, antioxidant activity, phytic acid and tannin, were examined in this study. The results showed that bambara groundnut seed from Jampang-Sukabumi contained 16.53% proteins, 3.04% ash, 7.83% fats and 55.22% carbohydrates in dry basis (db). The carbohydrates consisted of starch 52.71% and dietary fiber 7.47% (db). The protein had an *in vitro* protein digestibility of 41.65% db. The purple seed coat contained of 1.51% anthocyanin, 25.85 mg/g total phenolic content (as gallic acid equivalent), antioxidant activity at 82.75% inhibition of free radical DPPH, 6.37 mg/g phytic acid, and 96.79 mg/g tannin (as tannic acid equivalent) in dry basis. The relatively high content of tannin and antioxidant activity but very low phytic acid content, make the bambara seed coat a potential source for tannin, meanwhile the bambara groundnut is potential as a nutrition source.

Keywords: antioxidant, bambara groundnut, food nutrition, proximate composition

ABSTRAK

Pemanfaatan kacang bogor (*Vigna subterranea*) baik biji maupun kulit arinya yang masih terbatas, dan budidayanya yang masih bersifat tradisional mendorong pengembangan komoditas ini. Tujuan penelitian ini adalah mengkarakterisasi biji dan kulit ari kacang bogor asal Jampang, Kab. Sukabumi, Jawa Barat. Kadar proksimat, daya cerna protein, kadar pati, dan serat pangan biji kacang bogor, serta total antosianin, total fenolik, aktivitas antioksidan, kadar asam fitat, dan tanin kulit ari kacang bogor diuji dalam penelitian ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa kacang bogor asal Jampang-Sukabumi mengandung protein sebesar 16,53%; abu 3,04%; lemak 7,83%; karbohidrat 55,22% dalam basis kering (bk). Karbohidrat ini terdiri dari pati 52,71% dan serat pangan 7,47% (bk). Protein kacang bogor mempunyai daya cerna protein sebesar 41,65% bk. Kulit ari kacang bogor yang berwarna ungu mengandung antosianin sebesar 1,51%, total fenolik 25,85 mg/g (sebagai asam galat ekivalen), aktivitas antioksidan 82,75% penghambatan terhadap radikal bebas DPPH, asam fitat 6,37 mg/g, dan tanin 96,79 mg/g (sebagai asam tanat ekivalen) dalam basis kering. Tingginya kandungan tanin, serta aktivitas antioksidan ini, sementara kadar asam fitat yang relatif rendah, memungkinkan kulit ari biji kacang bogor sangat berpotensi untuk digunakan sebagai sumber tanin, sedangkan kacang bogor digunakan sebagai sumber gizi.

Kata kunci: antioksidan, kacang bogor, zat gizi, komposisi proksimat

*Penulis Korespondensi: E-mail: hnpalupi@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Kacang bogor (*Vigna subterranea*) masih tergolong komoditas yang belum termanfaatkan secara optimal (*underutilized crops*), karena belum dipasarkan secara global, produksinya rendah, serta masih dalam tahap pengembangan melalui berbagai penelitian (Stamp *et al.*, 2012). Padahal, kacang bogor cukup tahan terhadap cuaca kering, bahkan dapat ditanam pada tanah yang tidak subur (Mabhaudhi *et al.*, 2013). Adhi dan Wahyudi (2018) melaporkan bahwa kacang bogor yang berasal dari Lembang dan ditanam di Kalimantan Selatan dapat menghasilkan 11,524 ton/ha polong basah atau setara dengan 2,881 ton/ha biji kering.

Di Indonesia, budi daya kacang bogor banyak dilakukan di Bogor, Sukabumi, Banten dan Gresik (Kuswanto *et al.*, 2012). Namun budidaya yang dilakukan masih bersifat tradisional dan belum diproduksi dalam skala besar. Saat ini, biji kacang bogor hanya diolah dengan cara digoreng untuk dikonsumsi sebagai makanan ringan. Pada dasarnya, penelitian kacang bogor telah banyak dilakukan, salah satunya adalah karakterisasi kimiawi yang menunjukkan bahwa kacang bogor yang ditanam di berbagai negara mengandung protein berkisar 13,57-24,49% bk, termasuk kacang bogor yang ditanam di Gresik-Indonesia mengandung protein sebesar 23,29% bk (Hlanga *et al.*, 2021). Kandungan proteinnya yang cukup tinggi, membuat kacang bogor berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber protein. Dalam pengembangan komoditas sumber protein, analisis daya cerna protein penting dilakukan, untuk melihat kemampuan tubuh dalam mencerna protein dalam suatu bahan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi biji kacang bogor yang meliputi analisis proksimat, daya cerna protein, kandungan pati dan serat pangan.

Karakteristik kimia kacang bogor dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan tempat tumbuh (Mubaiwa *et al.*, 2018; Oyeyinka *et al.*, 2018; Hlanga *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2021; Mbuma *et al.*, 2022; Donkor *et al.*, 2022). Kuswanto *et al.* (2012) telah melaporkan bahwa terdapat 50 galur kacang bogor Indonesia yang berasal dari Jawa Barat dan Jawa Timur. Salah satu sentra budidaya kacang bogor di Jawa Barat adalah kecamatan Jampang, Kabupaten Sukabumi. Kacang bogor asal daerah ini merupakan salah satu galur kacang bogor yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Jawa Barat. Karakterisasi kimia kacang bogor asal daerah ini perlu dilakukan sehingga pengembangan produk pangan berbasis kacang bogor asal daerah ini bisa dilakukan dengan tepat.

Pada penelitian ini, biji kacang bogor diolah menjadi tepung, sebagai bentuk intermediet yang dapat dijadikan berbagai produk pangan. Kulit ari biji kacang bogor yang tebal dan ungu dibuang untuk

mendapatkan tepung yang berwarna cerah. Kulit ari yang berwarna ungu ini diduga mengandung senyawa antosianin dan fenolik yang tinggi, dan dapat dijadikan sebagai sumber senyawa antioksidan. Melihat potensi ini diperlukan karakterisasi kimiawi dan potensi antioksidan. Tujuan kedua penelitian ini adalah memperoleh gambaran karakterisasi kimiawi kulit ari biji kacang bogor yang meliputi total antosianin, total fenolik, aktivitas antioksidan, kadar asam fitat serta kadar tanin.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Kacang bogor segar diperoleh langsung dari petani di Kecamatan Jampang, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.

Preparasi sampel

Kacang bogor segar dibersihkan dari tanah yang menempel lalu dikupas. Polong dan biji segar diukur panjang dan lebarnya menggunakan mikrometer sekrup (Toki $\pm 0,01$ mm). Biji kacang bogor dipilih dengan kriteria kulit biji berwarna ungu kehitaman, utuh, dengan panjang biji $\pm 1-2$ cm. Sebelum dikeringkan, biji segar kacang bogor diuji proksimat dan tingkat kekerasan. Kemudian, biji maupun kulit ari kacang bogor dikeringkan di bawah sinar matahari selama ± 17 jam sampai kadar air $9,59 \pm 0,47\%$ bb (untuk biji kacang bogor) dan $11,8 \pm 0,15\%$ bb (untuk kulit ari biji kacang bogor). Penjemuran dilakukan di ketinggian 1 m dari tanah menggunakan triplek dengan ketebalan 5 mm yang dilapisi dengan seng. Rendemen biji kering yang diperoleh dihitung terhadap polong segar. Biji dan kulit ari kacang bogor kering disimpan dalam plastik kedap udara.

Pengujian tingkat kekerasan polong dan biji kacang bogor

Tingkat kekerasan polong dan biji kacang bogor segar maupun kering diuji menggunakan texture analyzer (Brookfield Engineering Labs, USA) dengan parameter pengujian sebagai berikut: kecepatan 0,5 mm/detik, jenis pengujian kompresi, cylinder probe (TA4/1000 panjang 25,99 mm), *load cell* 4500 g.

Pembuatan tepung biji dan kulit kacang bogor

Biji maupun kulit kacang bogor kering digiling secara terpisah, lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 80 mesh. Tepung dikemas dalam plastik dan disimpan vakum (suhu 4°C). Tepung biji kacang bogor diuji proksimat (kadar protein, lemak, air, abu, karbohidrat), total pati, serat pangan, kadar asam fitat dan tanin. Tepung kulit biji kacang bogor diuji kandungan total antosianin, fenolik, aktivitas antioksidan, asam fitat, dan tanin.

Pengujian warna

Tepung biji dan kulit ari kacang bogor diuji warnanya dengan menggunakan *chromameter* (Minolta CR-300, USA). Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *triplo*.

Pembuatan isolat protein kacang bogor untuk uji daya cerna protein

Tepung yang digunakan untuk isolasi protein adalah tepung bebas lemak. Penghilangan lemak tepung kacang bogor dilakukan berdasarkan metode Adebowale *et al.* (2011). Tepung diekstraksi dengan pelarut heksan menggunakan alat Soxhlet (Gerhardt, Indonesia) selama 9 jam (1:10 b/v). Tepung bebas lemak dikeringanginkan pada suhu kamar, kemudian disimpan dalam kemasan plastik pada suhu 4°C sebelum digunakan.

Isolasi protein kacang bogor juga dilakukan berdasarkan metode yang dilaporkan oleh Adebowale *et al.* (2011). Tepung bebas lemak disuspensikan dalam air dengan rasio 1:20 (b/v), diatur pH nya hingga mencapai pH 8,0 menggunakan NaOH 1M, lalu diaduk selama 2 jam. Suspensi disentrifugasi (Allegra® X-15R, USA) pada kecepatan 4500 rpm (15 menit, suhu 4°C). Protein yang terlarut pada supernatan diendapkan pada pH 5. Endapan protein disentrifugasi pada kecepatan 4500 rpm (15 menit, suhu 4°C). Isolat protein dikeringkan menggunakan *freeze dryer* (Buchi Lyovapor L-200, USA). Bubuk isolat protein dikemas vakum dan disimpan di refrigerator (suhu 4°C). Isolat protein ini selanjutnya diuji kadar proteinnya, daya cerna protein, kadar asam fitat serta kadar tanin. Pada pengujian daya cerna protein, isolat protein kedelai komersial *food grade* (CV. Gara Prima Dramaga, Bogor) digunakan sebagai pembanding.

Pengujian proksimat

Pengujian proksimat dilakukan terhadap tepung biji kacang bogor. Pengujian proksimat (AOAC, 2012) yang dilakukan meliputi kadar lemak (metode Soxhlet), kadar air (metode oven), kadar abu (metode tanur), kadar protein (metode Kjeldahl dengan faktor konversi N sebesar 6,25), dan kadar karbohidrat (metode *by difference*). Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*. Tepung kedelai komersial *food grade* (CV. Gara Prima Dramaga, Bogor) digunakan sebagai pembanding. Bahan kimia yang dipakai seperti heksana, HCl, NaOH, HBrO₃, H₂SO₄, Na₂S₂O₃, diperoleh dari Merck (Jerman) dengan *analytical grade*.

Pengujian kadar pati

Kadar pati tepung kacang bogor diuji dengan mengacu pada AOAC (2012). Sebanyak 1 g sampel tepung ditambah 100 mL HCl 3%, kemudian direfluks pada suhu 200-250°C selama 3 jam. Larutan ditambah NaOH 20% sampai pH 6,0. Larutan dimasukkan

ke labu ukur dan ditera menggunakan akuades sampai volume 250 mL, kemudian disaring. Sebanyak 10 mL filtrat ditambah 25 mL larutan *Luff Schoorl* dan 15 mL akuades, lalu direfluks (10 menit). Setelah dingin, larutan ditambah 10 mL larutan KI 20% dan 25 mL H₂SO₄ 25%, kemudian dititrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,1 M menggunakan indikator kanji 0,5%. Blanko dititrasi dengan cara yang sama dengan menggunakan akuades sebagai pengganti sampel. Total gula pereduksi diketahui dari ekuivalen Na₂S₂O₃ yang diperlukan untuk titrasi, dengan memperhitungkan faktor pengenceran (25) dan faktor koreksi (0,9). Kadar pati (%) dihitung dari total gula pereduksi dibagi dengan berat sampel. Pengujian dilakukan 2 kali ulangan, masing-masing *duplo*.

Pengujian kadar serat pangan

Kadar serat pangan diuji dengan metode enzimatis (AOAC, 2012). Lemak dalam sampel dihilangkan terlebih dahulu dengan ekstraksi Soxhlet (6 jam) menggunakan pelarut heksana. Sebanyak 0,5 g sampel bebas lemak ditambah 25 mL bufer fosfat 0,08 M pH 6,0 dan 0,05 mL enzim α -amilase (Novozyme, Denmark). Larutan diinkubasi pada suhu 95°C sambil digoyang selama 30 menit. Setelah dingin, larutan ditambah 5 mL enzim protease lalu diinkubasi pada suhu 60°C sambil digoyang selama 30 menit. Setelah dingin, larutan ditambah 5 mL HCl 0,325 M, lalu 0,15 mL enzim amiloglukosidase, kemudian diinkubasi pada suhu 60°C sambil digoyang selama 30 menit. Kemudian, larutan ditambah 140 mL etanol 95% suhu 60°C dan didiamkan selama 60 menit. Larutan disaring vakum menggunakan kertas saring Whatman No. 62. Residu dicuci sebanyak 3 kali dengan 20 mL etanol 78%, lalu 2 kali dengan 10 mL etanol 95%, dan 2 kali dengan 10 mL aseton. Residu beserta kertas saring disimpan dalam cawan aluminium dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam. Residu didinginkan menggunakan desikator, lalu ditimbang. Pengujian dilakukan 2 kali ulangan, masing-masing *duplo*.

Pengujian daya cerna protein (*in vitro*)

Daya cerna isolat protein kacang bogor diuji dengan mengacu pada Tanaka *et al.* (1978). Sebanyak 200 mg sampel dilarutkan dalam bufer Walpole (HCl.NaOAc) 0,2 N, kemudian ditambah larutan enzim pepsin (Sigma-Aldrich, Amerika Serikat) 2%. Larutan diinkubasi menggunakan *waterbath* (Kenlab Towson & Mercer, UK) suhu 37°C sambil digoyang selama 1,5 jam. Larutan disentrifugasi pada kecepatan 3000 rpm (20 menit). Sebanyak 5 mL supernatan diambil dan ditambah 5 mL larutan trikloroasetat 20%, lalu diinkubasi pada suhu 25°C selama 1,5 jam. Larutan disaring menggunakan kertas Whatman No. 41. Total nitrogen filtrat maupun sampel diukur dengan metode Kjeldahl. Daya cerna sampel

(%) diperoleh dengan membagi N total filtrat dengan N total sampel, lalu dikalikan 100%. Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*.

Pengujian total antosianin

Total antosianin diuji dengan mengacu pada Benvenuti *et al.* (2016). Sebanyak 100 g sampel ditambah dengan 100 mL campuran 95% etanol dan HCl 1,5 M (85:15 v/v), dan diaduk selama 2 menit. Campuran dipindahkan secara kuantitatif ke dalam gelas kimia 400 mL, ditutup dengan parafilm, kemudian dimaserasi selama semalam pada suhu 4°C. Larutan didekantasi, sampel dicuci dengan larutan etanol-HCl, kemudian ditepatkan sampai volume 500 mL. Sebanyak 2 mL ekstrak dilarutkan dengan etanol-HCl 1,5 M (85:15) sampai 100 mL, sehingga diperoleh faktor pengenceran 25.000. Larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer (Thermo Scientific Genesys 150, USA) pada λ 535 nm. Absorbansi sampel dikalikan dengan faktor pengenceran, kemudian dibagi dengan 98,2. Faktor 98,2 merupakan nilai koefisien ekstingsi molar (ϵ) antosianin dalam larutan asam-etanol yang diukur pada ketebalan kuvet 1 cm, λ = 535 nm dan konsentrasi 1% (b/v). Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*.

Pengujian total fenolik

Total fenolik diuji dengan mengacu penelitian Huang *et al.* (2015). Sebanyak 5 deret konsentrasi larutan standar asam galat (Merck, Jerman) 50, 100, 200, 300, dan 400 $\mu\text{g/mL}$ dalam etanol disiapkan. Sebanyak 50 μL dari masing-masing larutan standar atau ekstrak sampel diambil, ditambah dengan 200 μL pereaksi Folin-Ciocalteu (Merck, Jerman), dihomogenkan dengan menggunakan vortex, dan didiamkan dalam ruang gelap selama 5 menit. Setelah ditambah 1 mL larutan NaCO_3 (7.5%), larutan direaksikan (30 menit, suhu 25°C). Kemudian larutan diukur dengan spektrofotometer pada λ = 750 nm. Total fenolik sampel dihitung dengan menggunakan kurva standar dan dinyatakan sebagai mg asam galat ekuivalen per g sampel basis basah. Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*.

Pengujian aktivitas antioksidan

Kapasitas antioksidan diuji dengan mengacu pada Ayour *et al.* (2022). Sebanyak 200 mg sampel ditambah dengan 5 mL metanol, kemudian sampel diekstrak selama 1 jam, dan disentrifuse. Sebanyak 200 μL supernatan diambil, dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambah 5 mL metanol dan 1 mL larutan DPPH 0,1 mM. Larutan direaksikan dalam keadaan tertutup, dan divortex. Larutan diinkubasi di ruang gelap pada suhu 25°C selama 30 menit. Larutan diukur dengan spektrofotometer pada λ = 517 nm. Aktivitas antioksidan (%) dihitung dengan cara mengurangi absorbansi kontrol dengan absorbansi

sampel, lalu hasilnya dibagi absorbansi kontrol, lalu dikalikan 100%. Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*. Bahan kimia yang digunakan diperoleh dari Merck (Jerman) dengan *analytical grade*.

Pengujian kadar asam fitat

Kadar asam fitat diuji dengan mengacu pada Wu *et al.* (2018). Sebanyak 0,2-1 mL larutan standar Na-fitat (0,2 mM) dilarutkan dengan akuades sampai volume 1,4 mL, kemudian ditambahkan 1 mL feri amonium sulfat yang mengandung 50 μg Fe. Setelah diaduk, larutan dipanaskan dalam air mendidih selama 20 menit. Ketika larutan didinginkan sampai suhu kamar, 5 mL amil-alkohol dan 0,1 mL amonium tiosianat (100 g/L) ditambahkan. Larutan diaduk, lalu disentrifuse pada kecepatan rendah selama beberapa saat. Intensitas warna pada lapisan amil-alkohol diukur dengan spektrofotometer pada λ = 465 nm. Sebanyak 0,5 g sampel dihaluskan, kemudian diekstraksi dengan 20 mL HNO_3 0,5 M selama 3-4 jam sambil diaduk. Larutan disaring, dan 0,2-0,5 mL ekstrak dianalisis menggunakan langkah yang sama dengan larutan standar. Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*. Bahan kimia yang digunakan diperoleh dari Merck (Jerman) dengan *analytical grade*.

Pengujian kadar tanin

Kadar tanin diuji dengan mengacu pada Gonzalez *et al.* (2022). Sebanyak 5 g sampel ditambah 400 mL akuades, kemudian dididihkan selama 5 menit. Setelah dingin, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditera, kemudian larutan disaring. Sebanyak 10 mL larutan sampel, atau larutan standar asam tanat ditambah 75 mL akuades dan dimasukkan dalam labu ukur 100 mL (faktor pengenceran = 10x). Kemudian, sebanyak 5 mL pelarut Follin Dennish dan 10 mL larutan Na_2CO_3 ditambahkan, dan ditera dengan akuades. Setelah diaduk dan didiamkan selama 30 menit, larutan diukur dengan spektrofotometer pada λ = 760 nm. Kadar asam tanat (mg) sampel dihitung menggunakan kurva standar. Kadar asam tanat (%) sampel dihitung terhadap berat sampel awal yang diambil, dengan memperhitungkan faktor pengenceran. Pengujian dilakukan 3 kali ulangan, masing-masing *duplo*. Bahan kimia yang digunakan diperoleh dari Merck (Jerman) dengan *analytical grade* atau *standard grade*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik kacang bogor

Polong segar kacang bogor berwarna krem dengan bercak-bercak yang berwarna coklat kemerahan. Polong tersebut dapat berisi satu atau dua biji

yang dibungkus dengan kulit ari yang berwarna krem, ungu muda, sampai ungu kehitaman seperti ditunjukkan pada Gambar 1A. Perbedaan warna kulit ini tergantung dari umur biji kacang bogor. Semakin tua umur kacang bogor, warna kulit ari kacang bogor semakin ungu pekat. Biji kacang bogor yang dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini adalah biji dengan kulit ari berwarna ungu kehitaman dan panjang biji ±1-2 cm (Gambar 1B). Setelah kulit arinya dikupas, biji kacang bogor dikeringkan sehingga diperoleh biji kering berwarna krem (Gambar 1C). Biji kering ini kemudian digiling menjadi tepung (Gambar 1E), demikian pula kulit ari kacang bogor (Gambar 1D) yang kemudian digiling menjadi tepung (Gambar 1F). Adapun karakteristik fisik dari kacang bogor asal Jampang-Sukabumi ini dirangkum dalam Tabel 1.



Keterangan: Polong segar dalam cangkangnya (A); Biji segar dengan kulit ari (B); Biji kering tanpa kulit ari (C); Kulit ari kering (D); Tepung biji kering tanpa kulit ari (E); Tepung kulit ari kering (F)
 Note: Fresh seeds in their shells (A), fresh seeds in their coat (B), dried seeds without their coat (C), dried seed's coat (D), dried seed's flour without their coat (E), dried seed coat's flour (F)

Gambar 1. Kacang bogor
 Figure 1. Bambara groundnut

Berdasarkan Tabel 1, polong segar kacang bogor asal Jampang-Sukabumi dengan isi 1 biji memiliki panjang rata-rata sebesar 25,19±0,74 mm dan lebar 17,31±0,16 mm, sedangkan polong segar

dengan isi 2 biji memiliki panjang rata-rata 32,33±2,52 mm dan lebar 18,66±0,67 mm. Ukuran ini sama dengan kacang bogor aksesori Cancarakaki dari Nigeria yang diteliti oleh Khan *et al.* (2021). Namun demikian, ukuran biji segar kacang bogor asal Jampang-Sukabumi hampir sama dengan kacang bogor aksesori Giiwa-Nigeria (Khan *et al.*, 2021), dengan panjang dan lebar masing-masing sebesar 19,40±0,10 mm dan 12,96±1,03 mm (Tabel 1). Rata-rata tingkat kekerasan polong segar dan biji segar kacang bogor masing-masing sebesar 346,12±10,77 gf dan 278,83±32,03 gf. Setelah biji dan kulit ari kering diolah menjadi tepung, tingkat kecerahan (L) masing-masing tepung sebesar 88,68±0,33 dan 45,39±0,25. Kedua tepung cenderung memiliki warna yang mengarah ke merah dan kuning, yang ditunjukkan oleh nilai a dan b yang bernilai positif (Tabel 1). Tepung biji kacang bogor memiliki nilai Hue° sebesar 60,84±1,89 yang menunjukkan warna tepung ini cenderung kuning kemerahan, sedangkan nilai Hue° tepung kulit ari kacang bogor sebesar 36,94±1,43 menunjukkan warna tepung cenderung merah keunguan.

Rendemen dan hasil uji proksimat

Kacang bogor segar mengandung kadar air yang tinggi, yaitu 51,39±0,13% dalam basis basah (bb). Hal ini menyebabkan rendemen kacang bogor mengalami penyusutan yang cukup besar setelah dikeringkan. Persentase bobot biji segar tanpa polong dan biji kering terhadap bobot polong segar, masing-masing sebesar 58,93±3,9% dan 28,30±0,89% (Tabel 2). Setelah dikeringkan, kandungan air biji kacang bogor dapat menyusut menjadi 9,59±0,47% bb. Adapun kandungan protein, lemak, abu, serta karbohidrat biji segar, tepung dari biji kering kacang bogor dirangkum dalam Tabel 2. Dalam penelitian ini, tepung kedelai komersial (*food grade*) juga dianalisis sebagai pembandingan.

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa tepung kacang bogor mengandung 16,53% bk protein, lebih rendah hampir separuhnya dibanding tepung kedelai. Kacang bogor asal Jampang-Sukabumi mengandung protein yang lebih rendah dibanding kacang bogor asal Gresik yang mengandung protein sebesar 23,29% bk (Hlanga *et al.*, 2021), dan kacang bogor yang ditanam di 25 daerah di Ghana-Afrika dengan protein sebesar 19,70-30,10% (Donkor *et al.*, 2022). Namun demikian, kadar protein kacang bogor asal Jampang-Sukabumi masih berada dalam rentang yang dilaporkan oleh Murevanhema dan Jideani (2013), Nwadi *et al.* (2020), dan Mbuma *et al.* (2022). Khan *et al.* (2021) melaporkan bahwa kadar protein kacang bogor berada pada rentang 9,6-40% (rata-rata 23,6%), dengan Vicilin (7S) dan Legumin (11S) sebagai komposisi utama yang terkandung didalamnya.

Tabel 1. Karakteristik fisik polong, biji, dan kulit ari kacang bogor
 Table 1. Physical characteristics of pods, seeds, and coat of bambara groundnuts

Parameter	Polong Segar (Fresh Pods)	Biji Segar dengan Kulit Ari (Fresh Seeds with Coats)	Biji Kering tanpa Kulit Ari (Dried Seeds without Coats)	Tepung Biji Kacang Bogor Kering tanpa Kulit Ari (Dried Seeds Flour without Coats)	Tepung Kulit Ari Kering (Dried Coats Flour)
Panjang (mm) (Length (mm))	25.19±0.74 (isi 1 biji) 32.33±2.52 (isi 2 biji)	19.40±0.10	1.54±0.11	TD (NE)	TD (NE)
Lebar (mm) (Width (mm))	17.31±0.16 (isi 1 biji) 18.66±0.67 (isi 2 biji)	12.96±1.03	8.26±0.27	TD (NE)	TD (NE)
Kekerasan (gf) ((Hardness) (gram force))	346.67±10.77	278.83±32.03	2712.33±104.93	TD (NE)	TD (NE)
Warna (Color):					
L (Kecerahan) (Lightness)	52.97±0.78	41.38±1.32	73.69±1.83	88.68±0.33	45.39±0.25
a+ (Kemerahan) (Redness)	7.16±1.90	9.08±1.45	1.89±0.42	3.03±0.23	8.25±0.13
b+ (Kekuningan) (Yellowness)	12.74±3.73	13.90±1.32	14.43±0.53	5.42±0.01	6.21±0.23
C (Saturation)	16.02±4.36	14.63±2.58	14.56±0.47	6.23±0.12	10.33±0.06
Hue°	66.15±0.12	51.57±0.74	82.50±1.91	60.84±1.89	36.94±1.43

Keterangan: TD= Tidak diuji. Data disajikan sebagai rata-rata ± SD dari 3 ulangan, masing-masing triplo
 Note: NE= Not examined. The results were expressed as mean ± standard deviation of triplicate analysis from 3 independent experiments

Tabel 2. Rendemen dan hasil uji proksimat biji segar dan biji kering kacang bogor tanpa kulit ari, serta tepung kedelai komersial

Table 2. Percentage of the weight and the result of proximate analysis of fresh seeds, dried seed without their coat, and commercial soybean flour

Parameter	Kacang Bogor (Bambara Groundnut)		Kedelai** (Soy**)
	Biji Segar (Fresh Seeds)	Biji Kering (Dried Seeds)	
Rendemen* (Yield*)	58.93±3,9	28.30±0.89	
Abu (% bk) (Ash (% db))	0.92±0.01	3.04±0.06	5.69±0.02
Protein (% bk) (Protein (% db))	4.18±0.11	16.53±0.05	29.34±0.21
Lemak (% bk) (Fat (% db))	0.98±0.002	7.83±0.15	25.82±1.49
Karbohidrat (% bk) (Carbohydrate (% db))	17.45±0.24	55.22±0.76	28.57±1.61

Keterangan: *Persentase bobot biji segar tanpa polong dan biji kering terhadap bobot polong segar; **Tepung kedelai komersial (food grade, disuplai oleh CV. Gara Prima Dramaga, Bogor). Data disajikan sebagai rata-rata ± SD dari 3 ulangan, masing-masing duplo, bk = basis kering

Notes: *Percentage of the yield of fresh seeds and dried seeds against fresh pods; **Commercial soy flour (food grade, supplied by CV. Gara Prima Dramaga, Bogor). The results were expressed as mean ± standard deviation of duplicate analysis from 3 independent experiments, db = dry basis

Kacang bogor pun mengandung lemak yang rendah (7,83±0,15%), sekitar sepertiga kadar lemak tepung kedelai (25,82±1,49%). Kadar lemak kacang bogor asal Jampang-Sukabumi masih berada dalam rentang kadar lemak yang dilaporkan oleh Mohale *et al.* (2013) maupun Khan *et al.* (2021), yaitu 1,4-12%. Kandungan lemak yang rendah memungkinkan kacang bogor untuk dikembangkan menjadi produk pangan rendah lemak.

Daya cerna protein kacang bogor

Isolat protein kacang bogor yang dihasilkan dengan penghilangan lemak terlebih dahulu, me-

ngandung protein sebesar 83,39±0,05% bk. Kemurnian isolat protein kacang bogor yang dapat dicapai berkisar antara 81,4-92,8% (Khan *et al.*, 2021).

Isolat protein kacang bogor memiliki daya cerna protein sebesar 41,65±0,81% bk. Daya cerna protein yang relatif rendah ini diduga disebabkan metode analisis yang hanya menggunakan satu jenis enzim saja, yaitu enzim pepsin. Daya cerna isolat protein kacang bogor ini dapat menyamai isolat protein kedelai (41,77±0,91% bk). Penggunaan isolat protein dalam analisis daya cerna ini bertujuan untuk meminimalisir pengaruh matriks pangan (terutama karbohidrat dan lemak) maupun senyawa antinutrisi,

sehingga dapat diketahui nilai daya cerna protein yang sebenarnya. Saat ini, penggunaan isolat protein pada produk pangan sangat luas (Astuti *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2018; Vandenplas *et al.*, 2021; Utama dan Anjani, 2016; Herz *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2022; Rachman *et al.*, 2023). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat protein kacang bogor sangat berpotensi untuk digunakan dalam produk pangan seperti halnya isolat protein kedelai. Parameter daya cerna ini sangat penting untuk diketahui, karena merupakan salah satu parameter mutu protein dan dapat menunjukkan apakah protein yang terkandung dalam suatu bahan pangan dapat dihidrolisis dengan baik oleh enzim dalam sistem pencernaan atau tidak.

Kandungan pati dan serat pangan tepung kacang bogor

Kacang bogor asal Jampang-Sukabumi mengandung pati sebesar 52,71±1,01% bk dari total karbohidrat. Nilai ini lebih tinggi dari kadar total pati maksimum yang dianalisis dari 19 galur kacang bogor yang berasal dari berbagai negara, termasuk kacang bogor yang ditanam di Gresik, Indonesia yang mengandung total pati 35,02% bk (Hlanga *et al.*, 2021). Kadar pati kacang bogor yang telah dilaporkan selama ini sangat bervariasi (22-49,5% bk), yang disebabkan oleh faktor genetik, lingkungan serta umur pada saat panen (Oyeyinka *et al.*, 2018). Selain sebagai sumber protein, tingginya kandungan pati ini memungkinkan kacang bogor untuk dikembangkan menjadi produk sumber karbohidrat.

Pada tepung kacang bogor, serat pangan yang terkandung sebesar 7,47±0,21% bk. Nilai ini lebih tinggi dari total serat kacang bogor yang ditanam di 25 daerah di Ghana-Afrika (Donkor *et al.*, 2022), namun masih dalam rentang yang dilaporkan oleh Khan *et al.* (2021), yaitu 1,4-10,3%.

Kandungan senyawa metabolit sekunder ulit ari biji kacang bogor

Kulit ari kacang bogor yang berwarna ungu kehitaman (Gambar 1D) diduga mengandung antosianin yang tinggi. Pada penelitian ini uji total antosianin, total fenolik, kapasitas antioksidan, kandungan asam fitat dan tanin dilakukan, dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 3.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa walaupun kulit ari kacang bogor memiliki kandungan antosianin sebesar 1,51±0,01% bk, namun aktivitas antioksidannya mencapai 82,75±0,30% bk, yang diduga berasal dari total senyawa fenolik, termasuk antosianin, asam fitat, dan tanin yang terkandung dalam kulit ari kacang bogor. Jika dibandingkan, total fenolik kulit ari kacang bogor hanya setengah dari total fenolik kulit kacang hijau yang mencapai 52,88±2,48 mg/g bk (sebagai asam galat ekuivalen) (Supasatyankul *et al.*, 2022), dan sepertiga dari total fenolik kulit kacang kedelai hitam (66,17±1,82 mg GAE/g bk; Xu dan Chang, 2008). Namun demikian, aktivitas antioksidan kulit kacang bogor hampir menyamai aktivitas kulit kedelai hitam (92,89% bk; Xu dan Chang, 2008). Hal ini kemungkinan disebabkan kandungan antosianin serta kandungan senyawa antioksidan lainnya seperti tanin yang terdapat dalam kulit kacang bogor.

Asam fitat, selain dalam kulit ari, kandungannya dalam tepung juga cukup tinggi, yaitu sebesar 7,97±0,06 mg/g bk. Hal ini disebabkan akumulasi asam fitat sebagian besar terdapat dalam biji yang terbentuk selama proses pematangan (Kumar *et al.*, 2020). Tan *et al.* (2020) melaporkan bahwa biji kacang bogor dapat mengandung asam fitat sebesar 1,10-15,11 mg/g. Hal ini juga menyebabkan asam fitat ikut terekstrak pada saat proses isolasi protein, sehingga isolat protein kacang bogor masih mengandung asam fitat cukup tinggi.

Tabel 3. Karakteristik kimia kulit ari, tepung dari biji kacang bogor dan isolat protein dari tepung kacang bogor
 Table 3. The chemical characteristics of bambara groundnut seed coats, seed flour without their coats, and its protein isolate

Parameter	Kulit Ari (Seed Coats)	Tepung dari Biji Kacang Bogor (Bambara Groundnut Seeds Flour)	Isolat Protein dari Tepung Biji Kacang Bogor (Protein Isolate from Bambara Groundnut Seeds Flour)
Total antosianin (%) (Total anthocyanin (%))	1.51±0.01	TD (NE)	TD (NE)
Total fenolik (mg/g sebagai asam galat) (Total phenolic (mg/g as gallic acid))	25.85±1.87	TD (NE)	TD (NE)
Aktivitas antioksidan (%) (Antioxidant activity (%))	82.75±0.30	TD (NE)	TD (NE)
Asam fitat (mg/g) (Phytic acid (mg/g))	6.37±0.22	7.97±0.06	29.72±0.87
Tanin (mg/g sebagai asam tanat) (Tannin (mg/g as thanic acid))	96.79±1.73	4.51±0.09	0.29±0.01

Keterangan: Data disajikan sebagai rata-rata ± SD dari 3 ulangan (dalam basis kering), masing-masing duplo. TD: tidak diuji

Note: The results were expressed as mean ± standard deviation of duplicate analysis from 3 independent experiments (in dry basis). NE: not examined

Asam fitat yang terikat pada protein ini diduga menyebabkan daya cerna protein kacang bogor hanya mencapai 41,65% bk. Namun demikian, di samping sifatnya sebagai antinutrisi (Wu *et al.*, 2018), beberapa penelitian melaporkan manfaat asam fitat. Asam fitat bersifat sebagai antioksidan melalui mekanisme pengikatan radikal bebas dan pencegahan peroksidasi lipid yang disebabkan oleh Fe³⁺ (Zajdel *et al.*, 2013). Asam fitat dapat menghambat aktivitas enzim α -amilase, sehingga pati dapat terus masuk ke dalam kolon dan memberikan manfaat baik, terutama bagi penderita diabetes (Omoruyi *et al.*, 2013; Foster *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2020). Di beberapa negara, asam fitat sudah direkomendasikan untuk dikonsumsi (*recommended daily intake*, RDI), seperti di Inggris dan Amerika 631-746 mg/hari, Finlandia 370 mg/hari, Itali 219 mg/hari, dan Swedia 180 mg/hari (Nissar *et al.*, 2017).

Kandungan tanin dalam kulit ari kacang bogor sebesar 96,79±1,73 mg/g bk (sebagai asam tanat), memungkinkan kulit biji kacang bogor ini menjadi sumber tanin yang sangat potensial. Xu dan Chang (2008) telah melaporkan kadar tanin dalam kulit kedelai hitam sebesar 45,39±1,07 mg CAE/g bk, namun hasilnya tidak bisa dibandingkan karena dihitung sebagai ekivalen +(-) katekin. Meskipun demikian kadar tanin sebesar ini mampu menyumbang aktivitas antioksidan yang relatif tinggi (di atas 80% penghambatan). Selain terkonsentrasi dalam kulit arinya, tanin juga terdapat dalam biji kacang bogor sebesar 4,51±0,09 mg/g bk. Kadar tanin yang terdapat dalam biji kacang bogor berkisar antara 0,0011-18,61 mg/g (Khan *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa tanin yang diekstrak dari berbagai sumber memiliki manfaat baik untuk kesehatan, maupun digunakan sebagai ingredien dalam industri pangan. da Silva *et al.* (2014) melaporkan bahwa ekstrak tanin dari kulit pohon pinus paran (*Araucaria angustifolia*) dapat menghambat aktivitas enzim α -amilase, sehingga berpotensi untuk digunakan untuk mencegah maupun mengobati penyakit diabetes dan obesitas. Selain itu potensinya sebagai penurun kolesterol serta penyakit metabolisme lainnya juga telah dilaporkan (de Queiroz Siqueira *et al.*, 2012; Ge *et al.*, 2016; Zeng *et al.*, 2020). Proses pengeringan (*hot air drying* dan *freeze drying*) dapat meningkatkan kadar tanin larut air. Tanin larut air ini dapat diserap oleh usus halus (Gonzalez *et al.*, 2022), sedangkan tanin tidak larut air akan terbawa ke dalam kolon dan memiliki akti-vitas prebiotik yang tinggi, dilihat dari jumlah asam lemak rantai pendek yang dihasilkan (Molino *et al.*, 2018).

Di industri pangan, tanin yang diekstrak dari apel dan anggur dapat digunakan sebagai pengemulsi dan memiliki kapasitas antioksidan (Figueroa-Espinoza *et al.*, 2015), emulsi tanin dan asam lemak dapat digunakan sebagai *functional fat replacer*

(Freire *et al.*, 2018), meningkatkan viskositas dan sifat fungsional lain dari adonan tepung barley, gandum hitam dan terigu (Wang *et al.*, 2015; Girard dan Awika, 2021). Penambahan tanin pada *cellulose film* dapat meningkatkan aktivitas antioksidan, *UV-blocking*, dan parameter mekanis lainnya sehingga dapat digunakan sebagai *active food packaging* (Huang *et al.*, 2022). Selain itu, tanin juga menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap *methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (Liu *et al.*, 2020) dan aktivitas antioksidan (Molino *et al.*, 2018), meningkatkan sifat fungsional gel pektin (Mamet *et al.*, 2017), meningkatkan umur simpan pada produk ikan (Saez *et al.*, 2020), mencegah reaksi pencokelatan enzimatis (Zhou *et al.*, 2022), serta berkontribusi terhadap profil sensori (Medel-Marabolí *et al.*, 2017). Tanin yang terkandung dalam kulit ari biji kacang bogor dengan kadar tersebut berpotensi dapat diekstrak dan dimanfaatkan sebagai senyawa bioaktif. Namun demikian, pengaruh tanin yang diekstrak dari kulit ari kacang bogor terhadap sifat fungsional pangan perlu penelitian lebih lanjut.

KESIMPULAN

Tepung kacang bogor mengandung karbohidrat yang terdiri dari pati 52,71% dan serat pangan 7,47% bk, dan protein 16,53% bk dengan daya cerna sebesar 41,65%, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber zat gizi karbohidrat dan protein. Kulit ari biji kacang bogor mengandung total fenolik yang lebih rendah dibandingkan kulit kacang hijau maupun kedelai, namun memiliki aktivitas antioksidan yang dapat menyamai aktivitas antioksidan kulit kedelai hitam, karena kandungan tanin, antosianin maupun asam fitat dalam kulit ari biji kacang bogor yang turut menyumbang aktivitas ini. Senyawa fenolik maupun tanin dalam kulit ari biji kacang bogor ini berpotensi untuk dimanfaatkan dalam bentuk ekstraknya. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peluang pengembangan biji maupun kulit ari kacang bogor sebagai produk pangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terimakasih kepada Universitas Bakrie atas pendanaan hibah penelitian internal tahun 2021 dengan nomor kontrak 077/SPK/LPP-UB/III/2021.

DAFTAR PUSTAKA

Adebowale YA, Schwarzenbolz U, Henle T. 2011. Protein isolates from bambara groundnut (*Voandzeia subterranean* L.): Chemical characteriza-

- tion and functional properties. *Int J Food Prop* 14: 758-775. <https://doi.org/10.1080/10942910903420743>
- Adhi RK, Wahyudi S. 2018. Pertumbuhan dan hasil kacang bogor (*Vigna subterranea* (L.) verdc.) varietas lokal lembang di Kalimantan Selatan. *Ziraa'ah* 43: 192-197.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2012. *Official Methods of Analytical of the Association of Official Analytical Chemist*. Washington, DC: AOAC
- Astuti RT, Darmanto YS, Wijayanti I. 2014. Pengaruh penambahan isolat protein kedelai terhadap karakteristik bakso dari surimi ikan swangi (*Priacanthus tayenus*). *J Pengolahan Bioteknol Hasil Perikanan* 3: 47-54.
- Ayoub J, Audergon J, Renard CMGC, Benichou M, Le Bourvellec C. 2022. Phenolic profiling in ten apricot clones using an efficient method (Thioacidolysis-UFLC) and determination of their antioxidant potential. *Food Biosci* 49: 101880. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.101880>
- Benvenuti S, Bortolotti E, Maggini R. 2016. Antioxidant power, anthocyanin content and organoleptic performance of edible flowers. *Sci Hortic* 199: 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.052>
- da Silva SM, Koehnlein EA, Bracht A, Castoldi R, de Morais GR, Baesso ML, Peralta RA, de Souza CGM, de Sá-Nakanishi AB, Peralta RM. 2014. Inhibition of salivary and pancreatic α -amylases by a pinhão coat (*Araucaria angustifolia*) extract rich in condensed tannin. *Food Res Int* 56: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.004>
- de Queiroz Siqueira CF, Cabral DLV, da Silva Peixoto Sobrinho TJ, de Amorim ELC, de Melo JG, Araújo TAS, de Albuquerque UP. 2012. Levels of tannins and flavonoids in medicinal plants: Evaluating bioprospecting strategies. *Evid Based Complement Alternat Med* 2012: 1-7. <https://doi.org/10.1155/2012/434782>
- Donkor EF, Adjei RR, Amadu B, Boateng AS. 2022. Genetic variability, heritability and association among yield components and proximate composition of neglected and underutilized Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc] accessions for varietal development in Ghana. *Heliyon* 8: e09691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09691>
- Figueroa-Espinoza MC, Zafimahova A, Alvarado PGM, Dubreucq E, Poncet-Legrand C. 2015. Grape seed and apple tannins: Emulsifying and antioxidant properties. *Food Chem* 178: 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.056>
- Foster SR, Omoruyi FO, Bustamante J, Lindo RLA, Dilworth LL. 2016. The effect of combined inositol hexakisphosphate and inositol supplement in streptozotocin-induced type 2 diabetic rats. *Int J Exp Pathol* 97: 397-407. <https://doi.org/10.1111/ieip.12210>
- Freire M, Cofrades S, Pérez-Jiménez J, Gómez-Estaca J, Jiménez-Colmenero F, Bou R. 2018. Emulsion gels containing n-3 fatty acids and condensed tannins designed as functional fat replacers. *Food Res Int* 113: 465-473. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.041>
- Ge Z, Zhu W, Peng J, Deng X, Li C. 2016. Persimmon tannin regulates the expression of genes critical for cholesterol absorption and cholesterol efflux by LXR α independent pathway. *J Funct Food* 23: 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.033>
- Girard AL, Awika JM. 2021. Impact of condensed tannin interactions with grain proteins and non-starch polysaccharides on batter system properties. *Food Chem* 359: 129969. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129969>
- González CM, Llorca E, Quiles A, Hernando I, Moraga G. 2022. An *in vitro* digestion study of tannins and antioxidant activity affected by drying "Rojo Brillante" persimmon. *LWT-Food Sci Technol* 155: 112961. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112961>
- Halimi RA, Barkla BJ, Mayes S, King GJ. 2019. The potential of the underutilized pulse bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) for nutritional food security. *J Food Compos Anal* 77: 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.12.008>
- Herz E, Herz L, Dreher J, Gibis M, Ray J, Pibarot P, Schmitt C, Weiss J. 2021. Influencing factors on the ability to assemble a complex meat analogue using a soy-protein-binder. *Innov Food Sci Emerg Technol* 73: 102806. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102806>
- Hlanga NC, Modi AT, Mathew I. 2021. Evaluating nutritional content among Bambara groundnut lines. *J Food Compos Anal* 102: 104053. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104053>
- Huang RT, Lu YF, Inbaraj BS, Chen BH. 2015. Determination of phenolic acids and flavonoids in *Rhinacanthus nasutus* (L.) kurz by high-performance-liquid-chromatography with photodiode-array detection and tandem mass spectrometry. *J Funct Foods* 12: 498-508. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.002>
- Huang X, Ji Y, Guo L, Xu Q, Jin L, Fu Y, Wang Y. 2022. Incorporating tannin onto regenerated cellulose film towards sustainable active pack-

- aging. *Ind Crops Prod* 180: 114710. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114710>
- Khan MMH, Rafii MY, Ramlee SI, Jusoh M, Al-Mamun M. 2021. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc): A Crop for the New Millennium, its genetic diversity, and improvements to mitigate future food and nutritional challenges. *Sustainability* 13: 5530. <https://doi.org/10.3390/su13105530>
- Kumar A, Sahu C, Panda PA, Biswal M, Sah RP, Lal MK, Baig MJ, Swain P, Behera L, Chattopadhyay K, Sharma, S. 2020. Phytic acid content may affect starch digestibility and glycemic index value of rice (*Oryza sativa* L.). *J Sci Food Agric* 100: 1598-1607. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10168>
- Kuswanto, Waluyo B, Pramantasari RA, Canda S. 2012. Koleksi dan Evaluasi Galur-Galur Lokal Kacang Bogor (*Vigna subterranea*). Seminar Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia; 2012 Nov 6; Bogor, Indonesia.
- Lee J-S, Choi I, Han J. 2022. Construction of rice protein-based meat analogues by extruding process: Effect of substitution of soy protein with rice protein on dynamic energy, appearance, physicochemical, and textural properties of meat analogues. *Food Res Int* 161: 111840. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111840>
- Li H, Jia Y, Peng W, Zhu K, Zhou H, Guo X. 2018. High hydrostatic pressure reducing allergenicity of soy protein isolate for infant formula evaluated by ELISA and proteomics via Chinese soy-allergic children's sera. *Food Chem* 269: 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.001>
- Liu M, Feng M, Yang K, Cao Y, Zhang J, Xu J, Hernandez SH, Wei X, Fan M. 2020. Transcriptomic and metabolomic analyses reveal antibacterial mechanism of astringent persimmon tannin against Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolated from pork. *Food Chem* 309: 125692. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125692>
- Mabhaudhi T, Modi AT, Beletse YG. 2013. Growth, phenological and yield responses of a bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) landrace to imposed water stress: II. Rain shelter conditions. *Water SA* 39: 191-198. <https://doi.org/10.4314/wsa.v39i2.2>
- Mamet T, Yao F, Li K-K, Li C-M. 2017. Persimmon tannins enhance the gel properties of high and low methoxyl pectin. *LWT-Food Sci Technol* 86: 594-602. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.050>
- Mbuma NW, Labuschagne M, Siwale J, Hugo A. 2022. Diversity in seed protein content, selected minerals, oil content and fatty acid composition of the Southern African Bambara groundnut germplasm collection. *J Food Compos Anal* 109: 104477. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104477>
- Medel-Marabolí M, Romero JL, Obrique-Slier E, Contreras A, Peña-Neira A. 2017. Effect of a commercial tannin on the sensorial temporality of astringency. *Food Res Int* 102: 341-347. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.099>
- Mohale KC, Belane AK, Dakora FD. 2013. Symbiotic N nutrition, C assimilation, and plant water use efficiency in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) grown in farmers' fields in South Africa, measured using ¹⁵N and ¹³C natural abundance. *Biol Fertil Soils* 50: 307-319. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0841-3>
- Molino S, Fernández-Miyakawa M, Giovando S, Rufián-Henares JA. 2018. Study of antioxidant capacity and metabolization of quebracho and chestnut tannins through *in vitro* gastrointestinal digestion-fermentation. *J Funct Foods* 49: 188-195. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.056>
- Mubaiwa J, Fogliano V, Chidewe C, Linnemann AR. 2018. Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) flour: a functional ingredient to favour the use of an unexploited sustainable protein source. *PLoS ONE* 13: e0205776. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0205776>
- Murevanhema YY, Jideani V. 2013. Potential of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc) milk as a probiotic beverage-A review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 53: 954-967. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.574803>
- Nissar J, Ahad T, Naik HR, Hussain SZ. 2017. A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical. *J Pharmacogn Phytochem* 6: 1554-1560.
- Nwadi OMM, Uchegbu N, Oyeyinka SA. 2020. Enrichment of food blends with bambara groundnut flour: past, present, and future trends. *Legum Sci* 2: e25. <http://doi.org/10.1002/leg3.25>
- Omoruyi FO, Budi Aman A, Eng Y, Olumese FE, Hoesel JL, Ejilemele A, Okorodudu AO. 2013. The potential benefits and adverse effects of phytic acid supplement in streptozotocin-induced diabetic rats. *Adv Pharmacol Sci* 2013: 172494. <https://doi.org/10.1155/2013/172494>
- Oyeyinka SA, Oyeyinka AT. 2018. A review on isolation, composition, physicochemical properties and modification of Bambara groundnut starch. *Food Hydrocoll* 75: 62-71. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.012>
- Rachman A, Brennan MA, Morton J, Torricco D, Brennan CS. 2023. *In-vitro* digestibility, protein digestibility corrected amino acid, and sensory

- properties of banana-cassava gluten-free pasta with soy protein isolate and egg white protein addition. *Food Sci Hum Wellness* 12: 520-527. <http://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.054>
- Saez MI, Suarez MD, Martinez TF. 2020. Effects of alginate coating enriched with tannins on shelf life of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT-Food Sci Technol* 118: 108767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108767>
- Stamp P, Messmer R, Walter A. 2012. Competitive underutilized crops will depend on the state funding of breeding programmes: An opinion on the example of Europe. *Plant Breed* 131: 461-464. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2012.01990.x>
- Supasatyankul B, Saisriyoot M, Klinkesom U, Rattanaporn K, Sae-Tan S. 2022. Extraction of phenolic and flavonoid compounds from mung bean (*Vigna radiata* L.) seed coat by pressurized liquid extraction. *Molecules* 27: 1-14. <https://doi.org/10.3390/molecules27072085>
- Tan XL, Azam-Ali S, Goh EV, Mustafa M, Chai HH, Ho WK, Mayes S, Mabhaudhi T, Azam-Ali S, Massawe F. 2020. Bambara groundnut: An underutilized leguminous crop for global food security and nutrition. *Front Nutr* 7: 601496. <http://doi.org/10.3389/fnut.2020.601496>
- Tanaka Y, Resurreccion AP, Juliano BO, Bechtel DB. 1978. Properties of whole and undigested fraction of protein bodies of milled rice. *Agric Biol Chem* 42: 2015-2023. <https://doi.org/10.1271/bb1961.42.2015>
- Utama AN, Anjani G. 2016. Substitusi isolat protein kedelai pada daging analog kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Nutr College* 5: 402-411.
- Vandenplas Y, Hegar B, Munasir Z, Astawan M, Juffrie M, Bardosono S, Sekartini R, Basrowi RW, Wasito E. 2021. The role of soy plant-based formula supplemented with dietary fiber to support children's growth and development: An expert opinion. *Nutr* 90: 111-278. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111278>
- Wang Q, Li Y, Sun F, Li X, Wang P, Sun J, Zeng J, Wang C, Hu W, Chang J, Chen M, Wang Y, Li K, Yang G, He G. 2015. Tannins improve dough mixing properties through affecting physicochemical and structural properties of wheat gluten proteins. *Food Res Int* 69: 64-71. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.012>
- Wu G, Ashton J, Simic A, Fang Z, Johnson SK. 2018. Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals. *Food Res Int* 103: 509-514. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.050>
- Xu B, Chang SKC. 2008. Antioxidant capacity of seed coat, dehulled bean, and whole black soybeans in relation to their distributions of total phenolics, phenolic acids, anthocyanins, and isoflavones. *J Agric Food Chem* 56: 8365-8373. <https://doi.org/10.1021/jf801196d>
- Xu Y, Yu J, Xue Y, Xue C. 2023. Enhancing gel performance of surimi gels via emulsion co-stabilized with soy protein isolate and κ-carrageenan. *Food Hydrocoll* 135: 108-217. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108217>
- Zajdel A, Wilczok A, Węglarz L, Dzierżewicz Z. 2013. Phytic acid inhibits lipid peroxidation *in vitro*. *BioMed Res Int* 2013: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108217>
- Zeng X, Du Z, Ding X, Jiang W. 2020. Characterization of the direct interaction between apple condensed tannins and cholesterol *in vitro*. *Food Chem* 309: 125762. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125762>
- Zhang T, Dou W, Zhang X, Zhao Y, Zhang Y, Jiang L, Sui X. 2021. The development history and recent updates on soy protein-based meat alternatives. *Trends Food Sci Technol* 109: 702-710. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.060>
- Zhou M, Chen J, Bi J, Li X, Xin G. 2022. The roles of soluble poly and insoluble tannin in the enzymatic browning during storage of dried persimmon. *Food Chem* 366: 130632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130632>
- Zhu Z, Wang C, Mei L, Xue W, Sun C, Wang Y, Du X. 2022. Effects of soy protein isolate hydrolysate on physicochemical properties and *in vitro* digestibility of corn starch with various amylose contents. *LWT-Food Sci Tech* 169: 114043. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114043>