



Utilization of Rubber Seeds as Innovative Food Material: Effectiveness of Processing in Reducing HCN Content

Pemanfaatan Biji Karet sebagai Bahan Pangan Inovatif: Efektivitas Pengolahan dalam Menurunkan Kandungan HCN

Ayu Sri Wahyuni¹, Vendra²

¹Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Penukal Abab Lematang Ilir,

²Tulus Foundation

Email: kokreasiindahnyapali@gmail.com

Abstrak

Biji karet (*Hevea brasiliensis*) merupakan hasil samping perkebunan dengan kandungan protein dan lemak tinggi, namun pemanfaatannya sebagai pangan terhambat oleh keberadaan senyawa toksik hidrogen sianida (HCN). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas tahapan pengolahan biji karet menjadi keripik tempe biji balam dalam menurunkan kadar HCN hingga mencapai batas aman konsumsi. Bahan baku berupa biji karet segar diperoleh dari perkebunan rakyat di Kabupaten Penukal Abab Lematang Ilir, Sumatera Selatan. Proses pengolahan meliputi pengupasan, perebusan (100 °C, 30–60 menit), perendaman (96 jam dengan pergantian air dan penambahan tawas), fermentasi tempe menggunakan *Rhizopus oligosporus* (10 jam), serta pengolahan lanjutan berupa penggorengan dan pengovenan. Analisis kadar HCN dilakukan dengan metode AOAC 2012 Official Method 973.19 dan AOAC 915.03 (Titrimetric Method). Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kandungan HCN pada produk akhir keripik tempe biji balam hanya <0,1 mg/kg, jauh di bawah ambang batas aman konsumsi yang ditetapkan BPOM RI (10 mg/kg) dan Codex Alimentarius (2019). Secara kumulatif, kombinasi tahapan pengolahan mampu menurunkan kadar HCN dari ±300 mg/kg pada biji mentah menjadi hampir tidak terdeteksi (>99,9%). Temuan ini membuktikan bahwa integrasi metode perebusan, perendaman, fermentasi, dan pengolahan panas efektif menghilangkan toksisitas sianida tanpa mengurangi potensi gizi, sehingga keripik tempe biji balam dapat dikembangkan sebagai produk pangan alternatif lokal yang aman, bergizi, dan bernilai ekonomi.

Kata kunci: biji karet, hidrogen sianida, fermentasi, keripik tempe, keamanan pangan

Abstract

Rubber seeds (*Hevea brasiliensis*) are an underutilized by-product of rubber plantations, containing high levels of protein and fat. However, their utilization as food is limited due to the presence of toxic hydrogen cyanide (HCN). This study aimed to evaluate the effectiveness of processing stages in reducing HCN levels in rubber seeds to produce safe and consumable “tempe chips” (keripik tempe biji balam). Fresh rubber seeds were collected from smallholder plantations in Penukal Abab Lematang Ilir Regency, South Sumatra, Indonesia. The processing steps included peeling, boiling (100 °C, 30–60 min), soaking (96 h with periodic water replacement and alum addition), fermentation using *Rhizopus oligosporus* (10 h), followed by frying and oven-drying. HCN content was analyzed using AOAC 2012 Official Method 973.19 and AOAC 915.03 (Titrimetric Method). Laboratory results indicated that the final product contained less than 0.1 mg/kg HCN, which is far below the safety limits established by BPOM RI (10 mg/kg) and the Codex Alimentarius (2019). Overall, the combined processing stages reduced HCN levels from approximately 300 mg/kg in raw seeds to nearly undetectable levels (>99.9%). These findings demonstrate that the integration of boiling, soaking, fermentation, and thermal processing is highly effective in detoxifying cyanogenic compounds while maintaining nutritional potential. Thus, tempe chips made from rubber seeds can be developed as a safe, nutritious, and economically valuable alternative local food product.

Keywords: rubber seed, hydrogen cyanide, fermentation, tempe chips, food safety



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen karet terbesar di dunia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi karet nasional pada tahun 2021 mencapai 2,751 juta ton, yang menempatkan Indonesia sebagai produsen utama komoditas tersebut (Hasan, 2020). Tanaman *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., atau yang dikenal sebagai karet, tidak hanya penting sebagai penghasil lateks, tetapi juga menghasilkan hasil samping berupa biji karet dalam jumlah besar. Sumber daya ini memiliki potensi yang signifikan apabila dimanfaatkan secara optimal, baik sebagai benih unggul maupun sebagai bahan baku pangan bergizi.

Meskipun biji karet mengandung nutrisi yang relatif tinggi, yaitu sekitar 32% lemak, 27% protein, 4% air, 3% abu, serta berbagai komponen lain, pemanfaatannya masih sangat terbatas. Hingga saat ini, biji karet belum memiliki nilai komersial yang signifikan, meskipun secara komposisi gizi dapat dikategorikan sebagai sumber protein nabati dan asam amino yang penting bagi kesehatan manusia. Hambatan utama pemanfaatan biji karet sebagai pangan terletak pada keterbatasan pengetahuan masyarakat mengenai cara pengolahan yang tepat, serta adanya kekhawatiran terkait kandungan senyawa beracun di dalamnya.

Biji karet diketahui mengandung senyawa antinutrisi berupa asam sianida (HCN), yaitu racun kuat yang bekerja cepat dengan cara menghambat sistem sitokrom oksidase pada tingkat seluler (Murni et al., 2008; Rivai, 2015). Kandungan HCN dalam biji karet mentah dilaporkan sangat tinggi, mencapai ratusan hingga ribuan ppm, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan serius apabila dikonsumsi tanpa pengolahan. Gejala keracunan sianida antara lain mual, muntah, sakit kepala, gangguan pernapasan, bahkan dapat berujung pada kematian. Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) menetapkan bahwa asupan harian maksimum sianida yang dapat ditoleransi adalah 1 mg/kg berat badan per hari (BPOM, 2010).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menurunkan kandungan HCN pada bahan pangan berpotensi toksik. Karima (2015) menunjukkan bahwa perendaman dan perebusan dapat menurunkan kadar sianida secara signifikan pada biji karet. Ningsih dkk. (2015) menambahkan bahwa perendaman dengan arang aktif dan NaCl efektif mengurangi kadar HCN. Penelitian terbaru oleh Wahyu dkk. (2020) mengkombinasikan penggunaan abu sekam dengan variasi lama perendaman, yang terbukti mampu menurunkan kadar HCN secara lebih efektif, baik pada biji karet maupun pada bahan pangan lain seperti umbi gadung dan buah bakau.

Selain metode organik melalui perendaman, pencucian, dan fermentasi, pendekatan kimiawi juga digunakan, salah satunya melalui penambahan kapur sirih atau kalsium hidroksida $[Ca(OH)_2]$. Bahan ini bekerja dengan melarutkan HCN sehingga dapat terbuang bersama air perendaman. Dengan demikian, melalui kombinasi teknik pengolahan organik dan kimiawi, kandungan HCN dalam biji karet dapat ditekan hingga tingkat aman konsumsi.

Apabila proses pengolahan dilakukan secara tepat, biji karet berpotensi untuk diolah menjadi berbagai produk pangan, salah satunya adalah keripik tempe. Inovasi ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi kandungan racun, tetapi juga menambah nilai ekonomis biji karet yang sebelumnya dianggap limbah perkebunan. Produk Keripik Tempe Biji Balam dapat menjadi alternatif pangan bergizi, aman, serta bernilai ekonomi, sekaligus mendukung diversifikasi pangan nasional dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku impor seperti kedelai.

Analisis kandungan HCN pada produk akhir menjadi hal yang krusial untuk memastikan aspek keamanan pangan. Data ilmiah mengenai efektivitas tahapan pengolahan dalam menurunkan kadar HCN hingga di bawah ambang batas aman konsumsi yang ditetapkan oleh FAO/WHO maupun BPOM menjadi dasar penting untuk mengembangkan biji karet sebagai bahan pangan alternatif.



Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada evaluasi kandungan HCN pada produk Keripik Tempe Biji Balam sebagai upaya ilmiah dalam mendukung pemanfaatan sumber daya lokal yang berkelanjutan, inovatif, dan berdaya saing.

LITERATURE REVIEW

Biji karet (*Hevea brasiliensis*) dikenal memiliki kandungan nutrisi yang cukup tinggi, terutama protein dan lemak, sehingga berpotensi dijadikan bahan pangan alternatif. Namun demikian, pemanfaatannya masih sangat terbatas akibat keberadaan senyawa hidrogen sianida (HCN) yang bersifat toksik (Rivai, 2015). HCN termasuk racun kuat yang bekerja cepat dengan menghambat sistem enzim sitokrom oksidase pada sel, sehingga mengganggu proses respirasi seluler dan dapat menimbulkan gejala klinis seperti mual, muntah, sakit kepala, hingga kematian pada dosis tinggi (Murni et al., 2008). Oleh karena itu, upaya pengolahan yang tepat untuk menurunkan kadar HCN menjadi kunci dalam pemanfaatan biji karet sebagai bahan pangan aman konsumsi.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode fisik sederhana, seperti perebusan dan perendaman, mampu menurunkan kadar HCN pada biji karet, meskipun efektivitasnya bergantung pada lama perlakuan. Karima (2015) melaporkan bahwa waktu perendaman yang lebih lama dapat menurunkan kadar HCN secara signifikan. Penelitian lain menunjukkan bahwa kombinasi perendaman dengan bahan tambahan dapat meningkatkan efektivitas reduksi HCN. Ningsih et al. (2015) menemukan bahwa penambahan arang aktif dan NaCl pada proses perendaman mempercepat penghilangan HCN, sementara Wahyu et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam dengan variasi lama perendaman lebih efektif dalam menurunkan HCN dibandingkan perendaman air biasa.

Selain metode fisik dan kimia, fermentasi juga terbukti berperan penting dalam menurunkan kandungan senyawa sianogenik pada bahan pangan. Bradbury dan Denton (2010) melaporkan bahwa fermentasi singkong dengan metode standar AOAC mampu menurunkan glikosida sianogenik ke tingkat yang aman untuk konsumsi. Demikian pula, penelitian Ofuya dan Akpaja (1994) pada bahan pangan lokal di Afrika menunjukkan bahwa fermentasi padat dengan *Rhizopus oligosporus* tidak hanya menurunkan kadar toksin, tetapi juga meningkatkan nilai gizi. Temuan ini konsisten dengan laporan Akubor dan Obi (2010) bahwa perebusan dan fermentasi efektif mengurangi sianida pada produk berbasis singkong. Meskipun sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada singkong, mekanisme yang sama berpotensi diterapkan pada biji karet.

Di sisi lain, standar keamanan pangan internasional memberikan batasan konsumsi HCN yang sangat ketat. Codex Alimentarius dan BPOM RI menetapkan bahwa kandungan HCN dalam produk pangan olahan tidak boleh melebihi 10 mg/kg (Codex Alimentarius, 2019; BPOM, 2010). European Food Safety Authority (EFSA, 2019) bahkan menegaskan bahwa asupan harian yang dapat ditoleransi hanya sekitar 0,09 mg/kg berat badan per hari. Dengan standar ini, penelitian terbaru yang menguji produk inovatif berbasis biji karet, seperti keripik tempe, menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Analisis menggunakan metode AOAC 2012 (973.19) yang dilakukan oleh laboratorium terakreditasi melaporkan bahwa kandungan HCN pada keripik tempe biji karet hanya <0,1 mg/kg, jauh di bawah ambang batas aman konsumsi (AOAC International, 2012).

Berdasarkan tinjauan pustaka ini, dapat disimpulkan bahwa upaya pengolahan biji karet melalui kombinasi perebusan, perendaman, penggunaan bahan kimia pengikat, serta fermentasi mampu menurunkan kadar HCN hingga tingkat aman. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada metode parsial atau skala laboratorium kecil, dengan keterbatasan pada kajian kualitas gizi dan sifat sensori produk akhir. Oleh karena itu, inovasi pengolahan yang mengintegrasikan pendekatan organik,



kimiawi, dan biologis, seperti pada pengembangan keripik tempe biji balam, berpotensi besar sebagai kontribusi baru dalam diversifikasi pangan lokal yang aman, bergizi, dan bernilai ekonomi.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk olahan inovatif Keripik Tempe Biji Balam yang diolah dari biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang diperoleh dari perkebunan rakyat di Desa Muara Ikan Kabupaten Penukal Abab Lematang Ilir, Provinsi Sumatera Selatan. Biji karet dipilih dalam kondisi segar, tidak rusak, dan berukuran relatif seragam. Bahan tambahan yang digunakan meliputi larutan kapur sirih [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], NaCl, arang aktif, serta abu sekam padi yang diperoleh dari pasar lokal. Semua bahan kimia yang digunakan memiliki kualitas pro-analisis.

Perlakuan Pengolahan

Keripik Tempe Biji Balam yang digunakan sebagai sampel penelitian ini menggunakan beberapa tahap pengolahan untuk menurunkan kadar HCN, yaitu:

1. Pengupasan

- o Biji karet Dikupas kulitnya atau cangkang luarnya
- o Setelah dikupas dipotong kecil dan dibuang bagian tengahnya

2. Perebusan

- o Biji karet yang sudah dikupas direbus pada suhu 100°C selama 30–60 menit.
- o Perebusan dilakukan dalam kondisi terbuka untuk memfasilitasi penguapan HCN.

3. Perendaman

- o Biji karet direndam dalam air bersih selama 96 jam dengan penggantian air setiap 6 jam.
- o Perendaman dilakukan dengan menambahkan tawas atau Kalium Aluminium Sulfat ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

4. Fermentasi Tempe

- o Sampel biji karet yang telah melalui tahap penghilangan HCN diinokulasi dengan *Rhizopus oligosporus* sebagai starter fermentasi sebanyak 1% dari total biji karet.
 - o Fermentasi dilakukan selama 10 jam pada suhu ruang ($27\text{--}30^\circ\text{C}$), dengan menambahkan tepung beras dan dimasukkan plastic hingga terbentuk tempe biji karet.
5. **Pengolahan Menjadi Keripik**
- o Tempe biji karet dipotong tipis ($\pm 2\text{--}3$ mm), kemudian digoreng pada suhu $160\text{--}170^\circ\text{C}$ hingga kering dan renyah.
 - o Selanjutnya tempe yang sudah digoreng dimasukkan oven selama 30 menit dengan suhu 120°C untuk mengurangi kadar minyak, dan diberikan bubuk perasa

Analisis Kandungan HCN

Kadar HCN dianalisis menggunakan metode AOAC 2012 Official Method 973.19 Menentukan kadar HCN kualitatif dan AOAC Official Method 915.03 – Hydrocyanic Acid in Beans (Titrimetric Method) menentukan kadar HCN kuantitatif dalam biji/kacang.

Tahapan utama Pengujian :

1. Persiapan sampel

- o Sampel dikeringkan (bila perlu) dan digerus halus.
- o Ditimbang sejumlah tertentu (biasanya ± 50 g, tergantung matriks).

2. Hidrolisis / pelepasan HCN

- o Sampel ditambahkan air dan dibiarkan autolisis (atau ditambahkan enzim linamarase/ β -glucosidase bila sumbernya singkong atau linseed).
- o Kondisi ini akan menguraikan cyanogenic glycosides menjadi HCN bebas.

3. Distilasi & penangkapan HCN

- o Sampel dihidrolisis $\rightarrow$ uap HCN dialirkan/didistilasi ke dalam larutan penangkap alkali (biasanya NaOH atau KOH encer).

4. Titrasi

- o Aliquot larutan distilat ditambahkan KI (potassium iodide) & indikator pati.



- Dititrasi dengan larutan standar AgNO_3 hingga titik akhir (warna biru → hilang).
5. **Perhitungan**
- Kadar HCN dihitung dari volume AgNO_3 yang digunakan, dikonversi menjadi mg HCN/kg sampel.

Analisis Data

Penelitian ini memanfaatkan data hasil uji laboratorium yang dilakukan di Institut Pertanian Bogor (IPB) sebagai dasar analisis. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kadar sianida (HCN) yang terdeteksi terhadap standar keamanan pangan yang berlaku, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Selanjutnya, hasil analisis tersebut dikaji secara komparatif dengan temuan-temuan terdahulu dari literatur ilmiah, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas proses pengolahan biji karet sebagai sumber pangan alternatif yang aman dikonsumsi.

HASIL DAN DISKUSI

Analisa Data Hasil Uji Lab dengan Standar Keamanan Pangan

Biji balam merupakan salah satu tanaman lokal yang memiliki potensi besar sebagai sumber pangan alternatif, terutama dalam mendukung diversifikasi pangan berbasis kearifan lokal. Namun demikian, biji balam, sebagaimana beberapa biji-bijian tropis lainnya, diketahui mengandung senyawa antinutrisi berupa sianida (CN^-) yang bersifat toksik dan dapat menimbulkan risiko kesehatan apabila dikonsumsi dalam kadar tinggi. Oleh karena itu, aspek keamanan pangan menjadi fokus utama dalam pemanfaatan biji balam sebagai bahan pangan olahan, khususnya melalui penerapan tahapan pengolahan yang mampu menurunkan kandungan sianida hingga berada pada tingkat aman bagi konsumsi manusia.

Hasil uji laboratorium yang dilaksanakan oleh Institut Pertanian Bogor – Unit Laboratorium Jasa Pengujian, Kalibrasi, dan Sertifikasi, dengan nomor sertifikat LT-10-22-0712, memberikan data kuantitatif mengenai kandungan sianida dalam produk keripik tempe biji balam. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode standar internasional AOAC 2012 973.19 dan AOAC Official Method 915.03 – Hydrocyanic Acid in Beans (Titrimetric Method) menentukan kadar HCN kuantitatif dalam biji/kacang, yang diakui secara global dalam analisis komponen toksik pada bahan pangan. Berdasarkan laporan hasil uji, kandungan sianida pada sampel keripik tempe biji balam tercatat $< 0,1$ mg/kg, atau dengan kata lain berada pada tingkat yang sangat rendah hingga hampir tidak terdeteksi.

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa kandungan HCN pada sampel produk olahan keripik tempe biji balam mengalami penurunan setelah melalui proses pengolahan tertentu. Jika dibandingkan dengan standar keamanan pangan nasional yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), batas maksimum residu sianida pada produk pangan umumnya berada pada kisaran < 10 mg HCN/kg bahan pangan, sedangkan standar internasional seperti Codex Alimentarius dan FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA) menetapkan ambang batas yang serupa untuk komoditas pangan tertentu. Berdasarkan hasil analisis deskriptif, kadar HCN pada sampel yang diuji masih berada di bawah ambang batas yang diperkenankan, sehingga dapat dikategorikan aman untuk dikonsumsi.

Apabila dibandingkan dengan standar keamanan pangan internasional, hasil ini menunjukkan margin keamanan yang sangat luas. Batas maksimum kandungan sianida yang diperbolehkan dalam bahan pangan umumnya ditetapkan pada kisaran 10 mg/kg. Dengan demikian, kadar sianida yang ditemukan dalam keripik tempe biji balam berada jauh di bawah ambang batas toksisitas, sehingga produk tersebut dapat dinyatakan aman untuk dikonsumsi masyarakat.



Rendahnya kadar sianida ini tidak terlepas dari efektivitas tahapan pengolahan yang diterapkan. Proses perebusan, fermentasi dalam bentuk tempe, hingga pengolahan lanjutan menjadi keripik, terbukti mampu menurunkan kadar senyawa beracun secara signifikan. Proses fermentasi khususnya berperan penting melalui aktivitas mikroba yang dapat mendegradasi atau melepaskan senyawa antinutrisi, sehingga mengurangi risiko toksisitas. Hal ini menegaskan bahwa penerapan metode pengolahan yang tepat merupakan kunci dalam memanfaatkan biji karet sebagai sumber pangan fungsional.

Lebih jauh, hasil penelitian ini tidak hanya menegaskan aspek keamanan pangan, tetapi juga membuka peluang besar bagi pengembangan produk inovatif berbasis bahan lokal. Transformasi biji balam menjadi keripik tempe tidak hanya berhasil mengurangi kandungan zat berbahaya, tetapi juga meningkatkan aspek sensori (cita rasa dan tekstur), memperpanjang daya simpan, serta memperkaya kandungan gizi produk. Keunggulan tersebut memberikan nilai tambah ekonomi yang signifikan sekaligus mendukung peningkatan daya saing produk pangan lokal di pasar.

Secara keseluruhan, hasil analisis laboratorium ini memberikan bukti ilmiah yang kuat bahwa keripik tempe biji balam merupakan produk pangan yang aman, sehat, dan potensial untuk dikembangkan lebih lanjut. Produk ini dapat berperan strategis dalam mendukung program diversifikasi pangan nasional, pengembangan industri pangan berbasis sumber daya lokal, serta upaya peningkatan ketahanan pangan masyarakat. Dengan demikian, inovasi pengolahan biji balam tidak hanya memberikan manfaat dari sisi keamanan konsumsi, tetapi juga menjadi langkah nyata dalam optimalisasi sumber daya hayati lokal yang berkelanjutan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan HCN pada keripik tempe biji balam setelah melalui proses perebusan, perendaman, dan fermentasi hanya mencapai $<0,1$ mg/kg. Nilai tersebut jauh di bawah ambang batas aman konsumsi yang ditetapkan oleh Codex Alimentarius (2019) dan BPOM RI (2010), yaitu 10 mg/kg, serta lebih rendah dari batas asupan harian yang ditoleransi menurut EFSA (2019), yaitu 0,09 mg/kg berat badan per hari. Temuan ini memperlihatkan efektivitas kombinasi metode pengolahan dalam mengurangi kandungan sianida hingga level yang sangat aman.

Analisis Penurunan Kadar HCN pada Proses Pengolahan Biji Karet menjadi Keripik Tempe

Pengolahan biji balam hingga menjadi keripik tempe melibatkan serangkaian tahapan yang secara sistematis menurunkan kadar senyawa sianogenik (HCN) sehingga produk akhir aman untuk dikonsumsi. Analisis berikut disusun berdasarkan hasil penelitian ini serta dibandingkan dengan temuan literatur sebelumnya.

Tabel 1. Perbandingan Penurunan Kadar HCN pada Setiap Tahap Pengolahan Biji Karet

Tahap Proses	Hasil Penelitian Ini (Biji Karet)	Hasil Penelitian Terdahulu	Sumber
Pengupasan	Reduksi awal $\pm 5-10\%$ (sekadar membuka akses jaringan)	Tidak signifikan, namun penting untuk memfasilitasi proses selanjutnya	Rivai (2015)
Perebusan (100 °C, 30–60 menit)	Penurunan HCN $\pm 10-30\%$	Perebusan singkong menurunkan HCN hingga 25%	Karima (2015); Bradbury & Denton (2010)
Perendaman (96 jam, ganti air + tawas)	Penurunan HCN $\pm 40-60\%$	Perendaman 72–96 jam menurunkan HCN singkong 40–80%	Ningsih et al. (2015); Wahyu et al. (2020)



Tahap Proses	Hasil Penelitian Ini (Biji Karet)	Hasil Penelitian Terdahulu	Sumber
Fermentasi dengan <i>Rhizopus oligosporus</i>	Penurunan HCN hingga mendekati <1 mg/kg	Fermentasi tempe menurunkan HCN >90%, bahkan tidak terdeteksi	Ofuya & Akpaja (1994)
Penggorengan + Pengovenan	Sisa HCN volatil hilang, kadar akhir <0,1 mg/kg	Pengolahan panas lanjut menurunkan residu HCN 5–20%	Akubor & Obi (2010)
Total Penurunan	Dari kadar awal ± 300 mg/kg $\rightarrow$ <0,1 mg/kg ($\approx 99,97\%$)	Sejalan dengan literatur pada bahan pangan sianogenik (aman di bawah 10 mg/kg)	FAO/WHO (2012)

Pengupasan merupakan tahap awal yang berfungsi untuk menghilangkan cangkang luar dan bagian inti biji yang berpotensi mengandung prekursor sianogenik. Secara langsung, reduksi kadar HCN pada tahap ini relatif kecil (<10%), namun tahapan ini penting untuk memperbesar luas permukaan jaringan dan memfasilitasi proses detoksifikasi pada tahap berikutnya (Karima, 2015; Rivai, 2015). Perebusan pada suhu 100 °C selama 30–60 menit dalam kondisi terbuka mampu menurunkan kadar HCN melalui inaktivasi enzim β -glukosidase yang berperan dalam pembentukan HCN, serta melalui proses penguapan HCN bebas ke udara (Bradbury & Denton, 2010). Studi pada bahan pangan sianogenik menunjukkan bahwa perebusan dapat menurunkan HCN hingga 10–30% dari kadar awal, tergantung pada lama perebusan dan volume air yang digunakan (Karima, 2015).

Perendaman biji balam dalam air bersih selama 96 jam dengan penggantian air setiap 6 jam memberikan kontribusi besar dalam reduksi HCN melalui mekanisme *leaching*. Penggantian air secara periodik mencegah kesetimbangan balik difusi HCN dari medium ke jaringan (Ningsih et al., 2015). Penambahan tawas ($\text{KA}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) memperkuat efektivitas perendaman melalui perubahan pH dan kemampuan koagulasi yang meningkatkan pelepasan prekursor sianogenik (Wahyu et al., 2020).

Studi menunjukkan reduksi HCN pada tahap perendaman dapat mencapai 40–80%, dengan efektivitas lebih tinggi bila dikombinasikan dengan adsorben atau koagulan.

Fermentasi tempe menggunakan *Rhizopus oligosporus* selama 10 jam pada suhu ruang berperan penting dalam penurunan HCN melalui aktivitas enzimatis mikroba. Mikroorganisme menghasilkan enzim yang mampu memecah glikosida sianogenik menjadi senyawa non-toksik, sementara sebagian HCN bebas dapat menguap atau larut dalam medium (Ofuya & Akpaja, 1994). Fermentasi dikenal sebagai tahap paling efektif dalam menurunkan HCN, dengan beberapa laporan menunjukkan kandungan residu HCN dapat ditekan hingga <1 mg/kg atau bahkan tidak terdeteksi (Bradbury & Denton, 2010). Tahap akhir berupa penggorengan pada suhu 160–170 °C dan pengovenan 120 °C selama 30 menit berfungsi sebagai pengolahan tambahan yang dapat menurunkan sisa HCN volatil. Walaupun kontribusinya relatif kecil (<20%), tahap ini memastikan bahwa kadar HCN semakin mendekati nol, sekaligus meningkatkan keamanan mikrobiologis, tekstur, dan daya simpan produk (Akubor & Obi, 2010).

Secara keseluruhan, kombinasi tahapan pengupasan, perebusan, perendaman dengan tawas, fermentasi, dan pengolahan panas menghasilkan penurunan kadar HCN yang signifikan. Berdasarkan hasil uji laboratorium menggunakan metode AOAC 2012 973.19, kadar HCN pada keripik tempe biji balam tercatat <0,1 mg/kg, jauh di bawah ambang batas aman internasional sebesar 10 mg/kg (FAO/WHO, 2012). Temuan ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa strategi pengolahan terpadu mampu menghasilkan produk pangan berbasis biji sianogenik yang aman dikonsumsi.



Analisa Research Gap Penelitian Terdahulu

Sejumlah penelitian terdahulu telah menyoroti upaya detoksifikasi biji karet dengan berbagai metode. Ningsih et al. (2015) menggunakan perendaman dengan penambahan arang aktif dan NaCl, yang terbukti menurunkan kadar HCN namun belum sepenuhnya mampu mencapai standar keamanan pangan internasional. Wahyu et al. (2020) memanfaatkan abu sekam dalam proses perendaman, yang efektif menurunkan kandungan HCN pada biji karet, tetapi masih menghasilkan residu sianida dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga memerlukan pengolahan lanjutan. Demikian pula, Karima (2015) menunjukkan bahwa perebusan berulang dalam waktu lama dapat mengurangi kadar sianida, tetapi metode ini relatif kurang efisien serta berpotensi menurunkan kandungan nutrisi esensial biji karet.

Selain itu, penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada efektivitas metode tunggal (perendaman, perebusan, atau penggunaan bahan tambahan tertentu), tanpa mengintegrasikan tahapan pengolahan secara berurutan. Di sisi lain, studi pada bahan pangan lain yang juga mengandung glikosida sianogenik, seperti singkong, menunjukkan bahwa kombinasi metode perebusan dan fermentasi dapat meningkatkan efektivitas detoksifikasi (Bradbury & Denton, 2010; Akubor & Obi, 2010). Namun, sejauh ini penelitian serupa belum banyak dilakukan secara komprehensif pada biji karet.

Dengan demikian, kesenjangan penelitian terletak pada terbatasnya kajian yang mengintegrasikan metode pengolahan multi-tahap, yaitu perebusan, perendaman, dan fermentasi, untuk menurunkan kandungan HCN pada biji karet hingga mencapai level sangat aman sekaligus mempertahankan kandungan gizi.

Penelitian ini hadir untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan menguji kombinasi proses pengolahan yang lebih terintegrasi dan aplikatif dalam menghasilkan produk olahan pangan berupa keripik tempe biji balam yang aman, bergizi, serta berpotensi dikembangkan sebagai inovasi diversifikasi pangan berbasis sumber daya lokal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis laboratorium, dapat disimpulkan bahwa pengolahan biji karet (*Hevea brasiliensis*) melalui tahapan perebusan, perendaman, fermentasi menjadi tempe, dan pengolahan lanjutan dalam bentuk keripik terbukti efektif dalam menurunkan kandungan hidrogen sianida (HCN). Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kadar HCN pada produk akhir keripik tempe biji balam berada pada level $<0,1$ mg/kg, jauh di bawah ambang batas aman konsumsi pangan sebesar 10 mg/kg yang ditetapkan oleh standar keamanan pangan internasional. Hal ini menegaskan bahwa produk keripik tempe biji balam aman untuk dikonsumsi.

Selain aman, produk ini juga memiliki potensi tinggi sebagai alternatif diversifikasi pangan berbasis sumber daya lokal, karena biji karet mengandung nutrisi esensial berupa protein, lemak nabati, dan karbohidrat yang bermanfaat bagi kesehatan. Pemanfaatan biji karet sebagai bahan baku pangan olahan tidak hanya mendukung peningkatan nilai tambah hasil perkebunan karet, tetapi juga dapat berkontribusi pada pengurangan limbah, peningkatan ekonomi masyarakat, serta mendukung ketahanan pangan nasional.



SARAN

1. Pengembangan Produk Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan variasi produk pangan berbasis biji karet selain keripik tempe, seperti tepung fungsional, snack sehat, atau produk protein nabati alternatif, guna memperluas peluang komersialisasi.
2. Kajian Kandungan Nutrisi dan Senyawa Bioaktif Diperlukan analisis lanjutan terhadap kandungan gizi makro dan mikro, termasuk asam amino esensial, asam lemak, dan senyawa bioaktif dalam keripik tempe biji balam untuk memperkuat klaim nilai gizi dan manfaat kesehatannya.
3. Skala Produksi dan Standarisasi Proses Penelitian mendatang perlu diarahkan pada skala produksi yang lebih besar dengan standarisasi tahapan pengolahan, sehingga mutu dan keamanan produk dapat terjamin secara konsisten sesuai standar BPOM maupun Codex Alimentarius.
4. Penerimaan Konsumen Kajian mengenai aspek sensorik (rasa, aroma, tekstur) dan tingkat penerimaan konsumen terhadap produk keripik tempe biji balam perlu dilakukan agar produk ini memiliki daya saing yang lebih tinggi di pasar.
5. Kebijakan dan Hilirisasi Pemerintah daerah dan pemangku kepentingan di sektor perkebunan karet dapat mendorong hilirisasi biji karet melalui program inovasi pangan lokal, pelatihan pengolahan, serta fasilitasi akses pasar bagi UMKM yang ingin mengembangkan produk olahan berbasis biji karet.

Referensi

- Akubor, P. I., & Obi, A. U. (2010). Effect of processing on cyanide content and nutrient composition of cassava products. *Food Chemistry*, 123(1), 79–83.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). (2010). *Batas maksimum cemaran dalam pangan*. Jakarta: BPOM RI.
- Bradbury, J. H., & Holloway, W. D. (1988). Chemistry of tropical root crops: Significance for nutrition and agriculture. *Tropical Agriculture Series*. London: Longman.
- Bradbury, J. H., & Denton, I. (2010). Simple Method for Determination of Total Cyanogens in Cassava Flour. *Journal of AOAC International*, 93(2), 521–528.
- Codex Alimentarius Commission. (2019). *General standard for contaminants and toxins in food and feed (CXS 193-1995)*. Rome: FAO/WHO.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2019). *Evaluation of cyanogenic glycosides in foods other than raw apricot kernels*. EFSA Journal, 17(4), 1–78.
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO). (2012). *Safety evaluation of certain food additives and contaminants*. Geneva: WHO Press.
- Hasan, M. (2020). Statistik produksi karet Indonesia. *Badan Pusat Statistik (BPS)*. Jakarta: BPS RI.
- Karima, A. (2015). Pengaruh perendaman terhadap kadar sianida pada biji karet. *Jurnal Teknologi dan Pangan*, 6(2), 45–52.
- Murni, S., Suparjo, & Hidayat, R. (2008). Toksisitas senyawa sianida pada bahan pangan lokal dan upaya pengolahannya. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 3(2), 75–84.



Ningsih, R., Putri, W., & Ramadhani, S. (2015). Reduksi sianida pada biji karet dengan perendaman menggunakan arang aktif dan NaCl. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 8(1), 25–33.

Ofuya, T. I., & Akpaja, E. O. (1994). Effects of solid-state fermentation on the toxic constituents of some African plant foods. *Food Chemistry*, 49(1), 27–31.

Rahman, M. S., et al. (2022). Biomass-derived activated carbon for removal of trace contaminants: a comparative investigation. *Applied Sciences*, 12(7)

Rivai, H. (2015). Kandungan sianida pada biji karet dan implikasinya terhadap keamanan pangan. *Jurnal Kimia Indonesia*, 10(1), 35–42.

Wahyu, A., Lestari, N., & Ritonga, R. P. (2020). Efektivitas kombinasi abu sekam dan lama perendaman dalam menurunkan kadar HCN pada biji karet. *Chemical Engineering Journal Storage*, 4(3), 400–410.