



Review Artikel: Perkembangan Biosensor Dalam Mendeteksi Kandungan Babi (*Sus scrofa*) pada Produk Pangan untuk Verifikasi Kehalalan

Article of Review: Development of Biosensors to Detect Pork (*Sus scrofa*) Content in Food Products for Halal Testing

Silfa Zakiah^{1*}, Siti Fatimah Azzahra¹

¹ Departemen Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung

*Corresponding author: Jalan Soekarno-Hatta No. 752 Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40614, Indonesia.

E-mail addresses: silfazakiah23@gmail.com

2024 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

Food processing in Indonesia and countries around the world is becoming increasingly complex. Food management must meet quality requirements, including nutritional fulfillment, safety and halal food products. Various analytical methods have been developed to test various products, both physically, chemically and biologically. Therefore, laboratory testing is needed to detect the presence of contaminants and non-halal ingredients in food products. This research discusses the detection of pork content in food products to support halal authentication. PCR and Biosensor methods are efficient and sensitive ways to ensure that food products are free from pork contamination. The Polymerase Chain Reaction (PCR) method allows the amplification of specific DNA from pigs, detecting even traces of DNA with high accuracy. Meanwhile, biosensors, which use antibodies or other biomolecular components, are able to detect pork proteins with high sensitivity through specific interactions with the target analyte. The method used is a literature review, conducting studies from various sources with the help of databases such as Connected Papers, ResearchGate, and Google Scholar with keywords such as "Detection of pork in food", "Regulation of halal food products", and "Biosensor for detecting pork content in food". This literature study used 40 journals selected based on the information needed.

Article info

Article history:

Received : 7 August 2024

Revised : 18 December 2024

Accepted : 31 December 2024

Available online : 31 December 2024

Keywords:

Biosensor

Food

Halal

pork

1. PENDAHULUAN

Proses pengolahan pangan di Indonesia dan negara-negara lain semakin rumit. Berbagai jenis produk pangan, termasuk hasil pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan, dan perairan, diproses untuk memenuhi kebutuhan konsumsi manusia. Pengelolaan pangan harus memenuhi standar kualitas yang mencakup kecukupan gizi dan nutrisi, serta keamanan dan kehalalan produk

pangan. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak menimbulkan bahaya atau ancaman bagi kesehatan konsumen [1]

Peraturan Pemerintah No. 69 Tahun 1999 tentang Label dan Iklan Pangan, pangan halal adalah pangan yang bebas dari unsur atau bahan haram atau yang dilarang dalam Islam, mencakup bahan baku pangan seperti pangan segar, bahan tambahan pangan, serta bahan bantu lainnya, termasuk yang diolah melalui rekayasa genetika dan iradiasi, asalkan dikelola sesuai dengan hukum Islam [2]. Sementara itu, keamanan pangan menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2012 tentang Pangan mencakup upaya dan kondisi yang diperlukan untuk mencegah kontaminasi biologis, kimia, dan benda asing yang bisa membahayakan kesehatan manusia, serta memastikan bahwa pangan tersebut sesuai dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat, sehingga aman untuk dikonsumsi [3]

Saat ini, konsumsi makanan olahan terus meningkat. Untuk menjamin keamanan dan kualitas pangan, serta memastikan status halal produk yang dipasarkan, diperlukan langkah-langkah pengawasan. Analisis laboratorium menjadi kunci dalam mengembangkan dan memantau pelaksanaan kebijakan pangan. Berbagai metode pengujian fisik, kimia, dan biologi telah dikembangkan untuk mengevaluasi beragam produk [4]. Meningkatnya permintaan produk halal telah memicu persaingan di antara produsen, yang terkadang mengarah pada pemalsuan produk demi menghemat biaya atau meningkatkan keuntungan. Akibatnya, pengujian laboratorium menjadi penting untuk mendeteksi adanya kontaminan dan bahan non-halal dalam produk makanan [5].

Berbagai metode deteksi kontaminan telah dikembangkan. Metode *Enzyme Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) [38], *Polymerase Chain Reaction* (PCR) konvensional (*singleplex* atau *multiplex*) [31], *Restriction Fragment Length Polymorphism-Polymerase Chain Reaction* (PCR-RFLP) [22], *Random Amplification of Polymorphic DNA* (RAPD) [12] seringkali kurang praktis karena membutuhkan waktu yang lama, memerlukan instrumentasi alat yang mahal dan harus dilakukan di laboratorium. Metode pengujian yang diharapkan dapat mengatasi keterbatasan tersebut dengan sederhana, cepat, murah, dapat diandalkan dan akurat untuk mendukung pemeriksaan produk yang beredar di pasar. Pengembangan alat portabel seperti kit tes dan metode deteksi cepat berbasis sensor menjadi penting. Alat-alat ini dapat membantu dalam mendeteksi keamanan makanan, baik dari aspek kesehatan maupun kehalalan, dengan lebih efisien dan praktis [7].

Artikel ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai deteksi kandungan babi dalam pengujian makanan untuk mendukung autentikasi halal dengan metode Biosensor DNA Elektrokimia untuk deteksi makanan mengandung babi menggunakan Screen Printed Carbon termodifikasi Emas, Biosensor ELISA deteksi kandungan babi dalam makanan berbasis Antibodi, dan Biosensor Optik dalam deteksi makanan mengandung babi berbasis DNA, PCR deteksi kandungan babi dalam makanan berbasis DNA menggunakan *Singleplex-multiplex* PCR, dan *Random amplified polymorphic DNA* (PCR-RAPD) dan *restriction fragment length polymorphism* (PCR-RFLP).

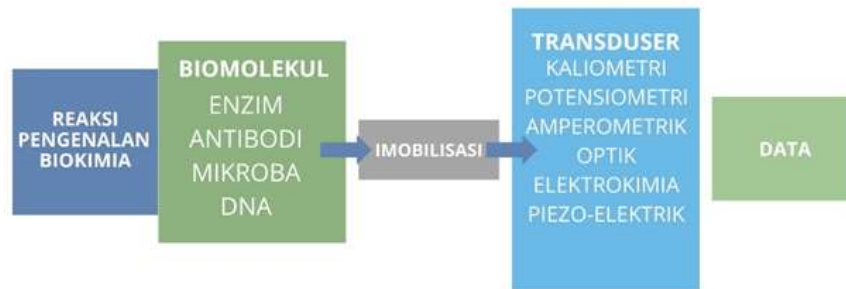
2. METODE

Metode yang dilakukan adalah literatur review yaitu melakukan kajian dari berbagai sumber dengan bantuan database seperti *Connected pappers*, *ResearchGate*, *Google Scholar*, *Sci-hub* dengan kata kunci “Deteksi babi dalam makanan”, “Peraturan produk pangan halal”, “Biosensor Mendeteksi Kandungan Babi pada Makanan” “*Detection pork in food*”. Studi literatur ini menggunakan jurnal sebanyak 40 yang dipilih sesuai dengan informasi yang dibutuhkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Metode Biosensor dalam deteksi kandungan Babi dalam makanan

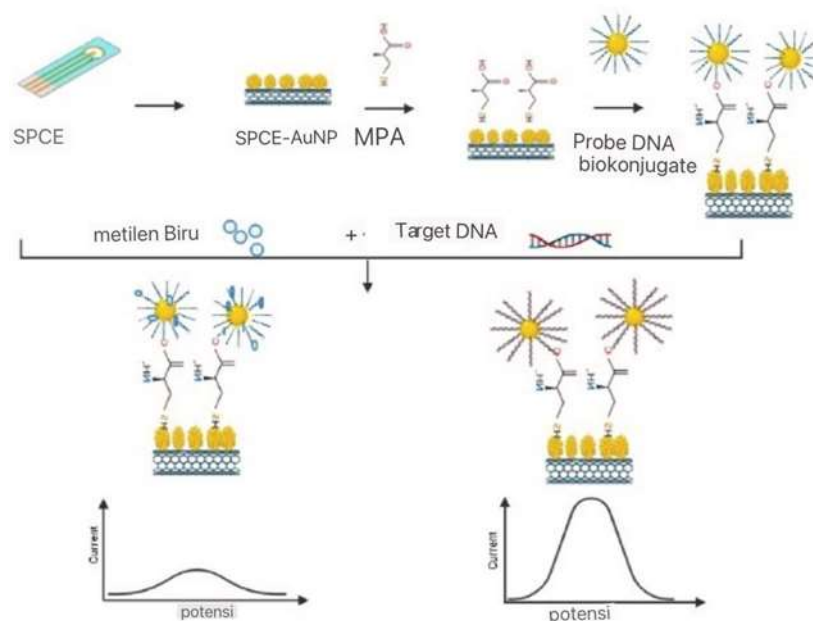
Komponen dasar dari biosensor dapat berupa enzim, DNA, protein, sel utuh, antibodi, dan lain lain. Transduser mengubah satu jenis energi menjadi energi lain seperti energi kimia menjadi sinyal listrik. Selanjutnya, sirkuit elektronik memproses sinyal tersebut, untuk mendapatkan sinyal dalam bentuk yang dapat digunakan [33]. Prinsip kerja biosensor terdiri dari beberapa tahapan utama yang melibatkan interaksi antara komponen biologis dan target analit, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal yang dapat diukur [34]. Biosensor berperan penting dalam mengidentifikasi keberadaan senyawa turunan babi sebagai kontaminan non-halal pada produk makanan, berbagai metode telah di kembangkan seperti analisis fisika-kimia, spektroskopi, kromatografi, DSC, PCR, ELISA, dan *electronic nose* [6].



Gambar 1. Komponen dan Prinsip kerja Biosensor

3.1.1. Biosensor DNA Elektrokimia untuk deteksi makanan mengandung babi menggunakan Screen Printed Carbon termodifikasi Emas

Biosensor menggunakan elektrokimia *Screen Printed Carbon Elektoda* (SPCE) yang di modifikasi dengan Emas (Au) bertujuan memungkinkan imobilisasi DNA *probe*-DNA komplemen dengan sensitivitas yang lebih baik. Keunggulan dalam mengidentifikasi adanya campuran komponen babi dalam produk makanan seperti akurasi dan spesifitas yang tinggi sehingga dapat membedakan dengan jelas antara berbagai jenis komponen dan campuran juga memiliki metode analisis cepat dan mudah sehingga cocok untuk aplikasi di bidang identifikasi komponen dalam produk pangan, memiliki biaya yang relative lebih terjangkau dibandingkan dengan metode lai Elektroda karbon cetak layar yang dimodifikasi dengan emas (SPCE-Au) dianalisis menggunakan dua teknik yang digabungkan: mikroskop elektron pindai (SEM) dan voltametri pulsa diferensial (DPV). Probe-DNA yang khusus untuk DNA mitokondria babi dilekatkan ke permukaan SPCE-Au melalui ikatan dengan gugus tiol. Proses penggabungan antara probe DNA dan DNA komplementernya dievaluasi menggunakan DPV, dengan mengamati sinyal oksidasi dari guanin. Untuk mengoptimalkan kondisi eksperimen, digunakan metode desain eksperimen Box-Behnken. Hasil menunjukkan bahwa biosensor DNA ini mampu mendeteksi adanya kandungan daging babi sampai 1% dengan batas deteksi 0,31 $\mu\text{g/mL}$. [10].



Gambar 2. Skema SPCE-Au

3.1.2. Biosensor ELISA deteksi kandungan babi dalam makanan berbasis Antibodi

Biosensor menggunakan antibodi ini bertujuan untuk mendeteksi kontaminasi daging babi dalam produk makanan. Antibodi poliklonal yang telah dikembangkan dengan menyuntikkan protein babi ke hewan percobaan untuk merangsang produksi antibodi spesifik [38]. Biosensor ini dirancang menggunakan teknik immobilisasi antibodi pada permukaan transduser yang dimana ketika sampel yang mengandung protein babi diaplikasikan, antibodi pada permukaan biosensor akan berikatan dengan protein tersebut. Biosensor ini memiliki beberapa keuntungan seperti sensitivitas yang tinggi [39].

Biosensor ini memiliki batas deteksi minimum yang sangat rendah sehingga memungkinkan deteksi kontaminasi pada level trace [37]. Biosensor memiliki spesifisitas tinggi terhadap protein babi, dengan sedikit atau tidak ada reaksi silang dengan protein dari sumber lain. Biosensor ini dapat diuji pada berbagai produk makanan komersial, termasuk produk daging olahan dan makanan siap saji [11]. Hasil deteksi menggunakan ELISA menunjukkan bahwa daging babi terdeteksi pada sampel duplikat dengan konsentrasi 10,0%, sementara daging sapi terdeteksi pada 1,00% dalam campuran biner. Ketika menggabungkan hasil dari sampel referensi dan sampel komersial, tingkat kesepakatan antara sampel duplikat tercatat sebesar 95,6%. Kit ELISA dapat lebih menguntungkan dalam kondisi tertentu, mengingat kemudahan penggunaannya [9].

3.1.3. Biosensor Optik dalam deteksi makanan mengandung babi berbasis DNA

Pada sensor optik, pengukuran langsung dilakukan melalui proses pengenalan warna atau menyebabkan perubahan sifat optik (misalnya, pembentukan kompleks antibodi-antigen), sinyal optik (fluoresensi, kemiluminesensi, warna), dan lingkungan. Sinyal optik yang dihasilkan dapat diamati secara langsung atau diukur dengan fotodetektor, yang dapat mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik terukur. Sinyal diklasifikasikan berdasarkan termal (yaitu, termopil) atau detektor foton (yaitu, fotodiode atau pengganda foto) [23]. Terdapat peningkatan penggunaan metode optik untuk sensor sekali pakai, khususnya dalam penggabungan dengan *smartphone*. Selain itu, prinsip deteksi optik seperti *surface plasmon resonance* (SPR) [24] atau *localized SPR* [25], dan *surface-enhanced Raman spectroscopy* (SERS) [26] juga memberikan label bebas dari penginderaan metode kimiawi dan biologis [27].

SPR adalah teknik penginderaan di mana cahaya yang datang menstimulasi osilasi resonansi elektron pada permukaan antar muka antara material positif dan negatif [24]. Penginderaan SERS yang bergantung pada panjang gelombang disorot dalam penelitian saat ini dengan morfologi sensor yang dikembangkan [26]. Deteksi ini melibatkan pengamatan visual (fluoresensi) dari pergeseran warna larutan koloid karena agregasi nanopartikel yang diinduksi oleh garam, yang dapat dicegah dengan adanya DNA untai tunggal (hanya *probe*) [28]. Bahan fungsional yang paling penting untuk penginderaan optik adalah pewarna, perak, emas, nanopartikel graphene, titik-titik kuantum, dan kristal fotonik. Beberapa penelitian metode optik telah dilakukan untuk mendeteksi kualitas daging yang mengandung daging babi [29]. Mengembangkan spektroskopi Raman yang disempurnakan permukaan (SERS) menggunakan nanopartikel perak (AgNPs) pada matriks Si untuk mengidentifikasi DNA babi dengan cara yang cepat dan sensitif terhadap deteksi molaritas sangat rendah [30]. Spektroskopi Raman yang ditingkatkan permukaan (SERS) juga memberikan metode penginderaan yang tidak bergantung pada teknik kimia atau biologis [36]. SERS menarik perhatian karena sifatnya yang cepat, sangat sensitif, dan tidak merusak sampel. Metode ini menggunakan pola sidik jari molekul untuk menganalisis bahan, dan telah banyak diterapkan sebagai alat baru untuk deteksi dan identifikasi [35]. Penambahan nanopartikel perak (AgNPs) dirancang untuk memastikan fungsinya dalam aspek optik berjalan dengan baik. AgNPs menarik perhatian karena memiliki sifat-sifat unik, seperti ukuran dan bentuk yang mempengaruhi sifat optik, listrik, dan magnetik. Sifat-sifat ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan biosensor, dan harganya yang lebih terjangkau menjadi keunggulan tambahan. Dalam penelitian [32]

Metode biosensor optik memungkinkan deteksi dan kuantifikasi target potensial dalam sampel yang telah mengalami degradasi yang cukup besar atau tingkat pemrosesan yang tinggi, sehingga cocok untuk deteksi langsung. Pendekatan biosensor optik dapat digunakan sebagai biosensor portabel untuk pemantauan di tempat karena merupakan metode isothermal yang tidak memerlukan proses siklus termal. Pendekatan biosensor optik untuk mendeteksi DNA babi memiliki beberapa kekurangan, termasuk kebutuhan akan proses autoklaf yang panjang dan hasil yang tidak akurat dengan 100% daging babi saat digunakan dalam jumlah besar, yang mencerminkan kejenuhan. Dengan daging non-target, primer spesifik hanya menghasilkan untaian DNA pendek; dalam uji pewarnaan, untaian pendek ini tidak berkumpul membentuk

bercak gelap di atas kertas. Kekuatan sinyal ECL akan berkurang dari aslinya karena adanya DNA [27].

3.2. Metode PCR dalam deteksi kandungan babi dalam makanan

PCR adalah metode yang paling sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan bahan spesifik spesies dalam produk makanan karena sensitivitas dan spesifisitasnya yang tinggi. Metode ini menjadi teknik yang berguna untuk mendeteksi produk turunan hewan dalam makanan. Beberapa metode berbasis PCR telah diusulkan untuk mengidentifikasi bahan spesifik spesies dalam makanan, termasuk PCR konvensional (*singleplex* atau *multiplex*), *Random amplified polymorphic DNA* (PCR-RAPD) dan *restriction fragment length polymorphism* (PCR-RFLP) [31]

3.2.1. PCR deteksi kandungan babi dalam makanan berbasis DNA menggunakan *Singleplex-multiplex* PCR

Singleplex-multiplex adalah teknik biologi molekuler, teknik PCR memungkinkan amplifikasi berbagai urutan gen secara simultan. *Singleplex* PCR digunakan untuk mendeteksi sekuens target tunggal dan tidak memerlukan probe khusus. Oleh karena itu, *Singleplex* PCR lebih sederhana dalam desain, implementasi, dan pengoptimalannya. Hal ini dapat dilakukan dengan cepat dan mudah dengan persyaratan minimal untuk pengoptimalan. Beberapa penelitian menggunakan penanda spesifik spesies terhadap *D-loop* mt DNA untuk identifikasi daging babi; dengan demikian, memvariasikan panjang ampikon dari 712 pasangan basa [12]. Sistem identifikasi PCR berdasarkan kesamaan genetik juga menemukan tingkat kesalahan pelabelan yang tinggi di antara produk daging [13]. Dalam *multiplex* assay, lebih dari satu sekuens target dapat diamplifikasi dengan menggunakan beberapa pasangan primer dalam campuran reaksi. Metode PCR *multiplex* dapat mengamplifikasi dua atau lebih sekuens target (*multi-target*) secara bersamaan dengan satu kali reaksi PCR sehingga dapat menghemat alat, biaya, waktu penrosesan, dan reagen. PCR *multiplex* banyak digunakan untuk berbagai tujuan, yang paling umum adalah untuk mendeteksi kandungan daging babi dalam sampel makanan. Untuk identifikasi spesies daging secara sultan dan cepat, setidaknya untuk mendeteksi kontaminasi pada produk daging yang kompleks, diperlukan pengembangan *multiplex* PCR [14].

Beberapa peneliti mengusulkan metode analisis yang akurat untuk deteksi pemalsuan daging menggunakan analisis PCR *multiplex* konvensional dan gen sitokrom b dan mtDNA hewan [12]. Metode ini diterapkan untuk mengidentifikasi dan melacak pemalsuan daging dan membedakan spesies yang ada dalam campuran daging. Metode ini juga dapat digunakan untuk kontrol kualitas dan pemantauan di laboratorium, verifikasi eksperimental industri produk daging, seperti otentikasi halal dan asal bahan baku tersertifikat. Selain itu, untuk identifikasi yang akurat, ada penelitian yang menyelidiki metode uji *multiplex* PCR untuk menentukan lima jenis spesies daging, seperti kucing, anjing, babi, monyet, dan tikus yang dilarang dalam makanan Islam dalam satu platform pengujian [15]. Penelitian pada cangkang kapsul untuk menentukan kandungan gelatin babi juga dilakukan oleh Shabani [16]. Deteksi langsung makanan yang dicurigai mengandung babi juga telah berhasil dilakukan dengan teknik PCR ini deteksi roti untuk mengetahui keberadaan DNA babi juga dapat dilakukan dengan teknik PCR [17].

PCR *Multiplex* menunjukkan beberapa keunggulan dalam mendeteksi keberadaan DNA babi karena penggunaan primer yang unik dan beberapa set dalam campuran PCR tunggal memungkinkan produksi fragmen dengan ukuran berbeda yang spesifik untuk berbagai sekuens DNA, mengidentifikasi spesies daging olahan dan daging mentah, teknik analisis yang akurat untuk mendeteksi pemalsuan daging, dan dapat menentukan DNA babi dalam makanan. Namun, masih ada kekurangan dari penggunaan PCR *Multiplex* dalam deteksi DNA babi, termasuk menargetkan beberapa gen sekaligus melalui satu kali uji coba yang membutuhkan penggunaan reagen yang memakan waktu. Selain itu, ketika menguji spesifisitas lintas spesies menggunakan sistem PCR *multiplex* yang dioptimalkan, hanya target spesifik yang diamplifikasi [18]

3.2.2. *Random amplified polymorphic DNA* (PCR-RAPD) dan *restriction fragment length polymorphism* (PCR-RFLP)

Polymerase Chain Reaction (PCR) adalah teknik *in vitro* yang mengamplifikasi DNA, menghasilkan beberapa juta salinan segmen DNA tertentu dari sejumlah kecil bahan prekursor [19]. Spesifisitas tergantung pada hibridisasi urutan primer, dan sensitivitas tergantung pada amplifikasi berdasarkan enzim polimerase. PCR biasanya terdiri dari serangkaian siklus suhu yang diulang sebanyak 20 hingga 40 kali. Setiap siklus meliputi denaturasi dupleks DNA, hibridisasi dua oligonukleotida DNA (primer) yang mengikat sekuens target dan pemanjangan primer dengan DNA *Random Amplified Polymorphic DNA* (PCR-RAPD) [12] dan *restriction fragment length*

polymorphism (PCR-RFLP) [21].

Perkembangan metode biologi molekuler untuk mendapatkan variasi genetik berdasarkan karakteristik tertentu berkembang begitu cepat. Meskipun banyak metode yang masih baru, namun dalam beberapa kasus, RAPD dan RFLP saat ini digunakan dalam beberapa analisis molekuler dan masih banyak diminati. RAPD merupakan metode yang amplifikasinya dilakukan secara acak dengan menggunakan primer tunggal, sehingga hasil potongan DNA dari proses amplifikasi juga berjalan secara acak sesuai dengan kecocokan basa nukleotidanya dengan template DNA. Primer yang digunakan biasanya sekitar 9-12 bp saja. Template DNA yang ada akan diduplikasi hingga menghasilkan jutaan salinan, dan hasil analisis pita yang teramati berkisar antara 100 bp 3000 bp. Pita yang muncul juga menunjukkan ketebalan yang berbeda-beda [20].

RAPD telah berhasil digunakan untuk identifikasi spesies daging. Mekanisme yang mendasari teknik RAPD didasarkan pada amplifikasi fragmen DNA menggunakan primer oligonukleotida pendek, yang ditempelkan pada beberapa lokasi pada DNA genom. Secara berurutan, fragmen-fragmen yang telah diamplifikasi akan dipisahkan berdasarkan ukurannya dengan menggunakan elektroforesis gel. Identifikasi sampel dilakukan melalui perbandingan pita DNA pada gel. Dengan cara seperti itu, amplifikasi fragmen DNA menggunakan primer yang berubah-ubah pada berbagai spesies; dengan demikian, pola yang jelas dan berbeda dengan tingkat polimorfisme yang tinggi dapat diidentifikasi sesuai dengan spesies yang berbeda [12]. Metode RFLP adalah penanda DNA yang pendeteksiannya didasarkan pada hibridisasi DNA-DNA. Beberapa penelitian yang menargetkan PCR-RFLP telah menggunakan gen mt 12s, 18s, dan 26s rRNA untuk mengkaraktirisasi dan melacak asal daging untuk otentikasi produk halal menggunakan PCR RFLP untuk deteksi pemalsuan daging babi pada daging mentah dengan menargetkan gen sitokrom & mitokondria [21].

Sebuah PCR-RFLP dengan ampikon nukleotida pendek (109 bp) yang digunakan untuk melacak dan mengidentifikasi DNA babi dalam produk daging halal telah dikembangkan. Metode PCR-RFLP berbasis mtDNA dengan menggunakan enzim restriksi BseDI untuk membedakan spesies daging [21]. Metode ini menentukan keberadaan daging babi dalam bakso, yang dapat mendeteksi kadar daging babi sebesar 0,1%. Kelebihan penggunaan *Random Amplified Polymorphic DNA* (PCR-RAPD) dan *Restriction Fragment Length Polymorphism* (PCR-RFLP) dalam deteksi DNA daging babi adalah dapat membedakan beberapa jenis daging yang beredar di masyarakat, khususnya daging babi dari identitas DNA yang spesifik, mampu membedakan keberadaan daging babi pada bakso. Sedangkan kekurangan penggunaan PCR-RAPD dan PCR-RFLP dalam mendeteksi DNA babi adalah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dua langkah analisis yang penting, yaitu pemrosesan PCR dan pemotongan DNA hasil PCR dengan enzim restriksi [22].

4. KESIMPULAN

Halal adalah konsep penting dalam Islam yang memastikan makanan yang dikonsumsi tidak mengandung bahan haram seperti daging babi. Deteksi daging babi dalam produk pangan menjadi penting dengan perkembangan industri pangan global. Metode PCR dan Biosensor menjadi cara yang efisien dan sensitif untuk memastikan bahwa produk makanan bebas dari kontaminasi babi. Metode PCR memungkinkan amplifikasi DNA spesifik dari babi, mendeteksi bahkan jejak DNA dengan akurasi tinggi. Sementara itu, biosensor, yang menggunakan antibodi atau komponen biomolekul lainnya, mampu mendeteksi protein babi dengan sensitivitas tinggi melalui interaksi spesifik dengan target analit.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Program Studi Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung.

6. DAFTAR REFERENSI

- [1] N. Maliati. 2023. Stunting dan kebijakan pangan dan gizi di Indonesia. *Jurnal Transparansi Publik (JTP)*. vol. 3, no. 1, pp. 33-42.
- [2] T. P. Anggriawan. 2020. Perlindungan Konsumen Pangan Pada Negara Mayoritas Muslim Ditinjau dari Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 1999 Tentang Label Dan Iklan Pangan. *Widya Pranata Hukum: Jurnal Kajian dan Penelitian Hukum*, vol. 2, no. 2, pp 48-60.
- [3] A. R. Diyo. 2022. Keamanan Pangan Sebagai Usaha Perlindungan Kesehatan Masyarakat Dan Sebagai Hak Konsumen. *Jisos: Jurnal Ilmu Sosial*, vol. 1, no. 7, pp. 703-712
- [4] B. Hermanu. 2016. Studi implementasi izin edar produk pangan industri rumah tangga (pirt)

- dalam mewujudkan keamanan pangan yang optimal di kota semarang. Jurnal ilmiah hukum dan dinamika masyarakat. vol.11, no. 2
- [5] L. H. Salsabila. 2019. Analisis penerapan sistem Hazard Analysis And Critical Control Point (HACCP) pada produk kecap manis PT. X (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta).
 - [6] A. Rohman. 2018. Analisis Derivat Babi. UGM PRESS.
 - [7] S. H. Abida. 2021. Perkembangan Teknik Deteksi Molekuler Berbasis DNA Menggunakan Metode Loop-Mediated Isothermal Amplification untuk Autentikasi Pangan Berbasis Daging.
 - [8] M. Ali. 2016. Konsep makanan halal dalam tinjauan syariah dan tanggung jawab produk atas produsen industri halal. AHKAM: Jurnal Ilmu Syariah, vol. 16, no. 2, pp. 291-306.
 - [9] Perestam, A. T., Fujisaki, K. K., Nava, O., & Hellberg, R. S. (2017). Comparison of real-time PCR and ELISA-based methods for the detection of beef and pork in processed meat products. Food Control, 71, 346-352. doi:10.1016/j.foodcont.2016.07.017
 - [10] S. Ghaffar, A. I. Naviardianti, S. Wyantuti, and Y. W. Hartati. 2022. Biosensor DNA Elektrokimia untuk Deteksi Makanan Mengandung Babi (Sus scrofa) Menggunakan Screen Printed Carbon Electrode Termodifikasi Emas. ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia. vol. 18, no. 1, pp. 37-47.
 - [11] N. Omar, Z. M. Hassan, and S. Tumin. 2018. Antibody-based biosensor for the detection of pork contamination in food products. Journal of Halal Studies. Vol. 3, no. 2, pp. 58-67.
 - [12] N. S. Karabasanavar, S. P. Singh, D. Kumar, S.N. Shebannavar. 2014. Detection of pork adulteration by highly-specific PCR assay of mitochondrial D-loop, Food Chem. no. 145, pp. 530-534
 - [13] A. Di Pinto. 2105. Occurrence of mislabeling in meat products using DNA-based assay, J. Food Sci. Technol. vol. 52, no. 4, pp. 2479-2484
 - [14] A. Hamzah. 2014. Porcine DNA detection in finished meat products using different mitochondrial DNA (mt-DNA) on polymerase chain reaction, J. Nutr. Food Sci. vol. 4, no.6, pp. 2-5
 - [15] M.E. Ali. 2022. Multiplex PCR assay for the detection of five meat species forbidden in Islamic foods, Food Chem. vol. 177, pp. 214-224
 - [16] H. Shabani. 2015. Halal authenticity of gelatin using species-specific PCR, Food Chem. vol. 184, pp. 203-206.
 - [17] M. De Cicco. 2019. Multianalytical detection of pig-derived ingredients in bread, Food Anal. Methods. vol. 12, no.3, pp. 780-790
 - [18] M. Indriati, and E. Yuniarsih. 2019. Multiplex PCR method of detecting pork to guarantee halal status in meat processed products, J. Ilmu Produksi dan Teknol. Has. Peternak. vol.7, no.3, pp. 96-101
 - [19] J. Kusnadi, and L. E. Arumingtyas. 2020. Polymerase chain reaction (PCR): teknik dan fungsi. Universitas Brawijaya Press.
 - [20] M. Jannah. 2021. Metode Biologi Molekuler, Widina Bhakti Persada, Bandung.
 - [21] H. Wijaya, S. Darmawati, and A. I. Kartika. 2018. Deteksi Daging Babi pada Tiga Merk Kernet Sapi Berdasarkan Gen Cytochrome b dengan Metode PCR. In Prosiding seminar nasional mahasiswa unimus. vol. 1a
 - [22] Y. Erwanto, M.Z. Abidin, E.Y.P. Muslim, S. Sugiyono, and A. Rohman. 2014. Identification of pork contamination in meatballs of Indonesia local market using polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) analysis, AJAS (Asian-Australas. J. Anim. Sci.). vol. 27, no. 10, pp. 1487-1492
 - [23] G. Zanchetta, R. Lanfranco, F. Giavazzi, T. Bellini, and M. Buscaglia. 2017. Emerging applications of label-free optical biosensors, Nanophotonics. vol. 6, no. 4, pp. 627-645
 - [24] H. Guner. 2017. A smartphone based surface plasmon resonance imaging (SPRi) platform for on-site biodetection, Sensor. Actuator. B Chem. vol. 239, pp. 571-577
 - [25] P. Chen. 2015. Multiplex serum cytokine immunoassay using nanoplasmonic biosensor microarrays, ACS Nano. vol. 9, no. 4, pp. 4173-4181
 - [26] X. Fu, Z. Cheng, J. Yu, P. Choo, L. Chen, and J. Choo. 2016. A SERS-based lateral flow assay biosensor for highly sensitive detection of HIV-1 DNA, Biosens. Bioelectron. vol. 78, pp. 530-537
 - [27] G.A. Lopez, M.C. Estevez, M. Soler, and L.M. Lechuga. 2017. Recent advances in nanoplasmonic biosensors: applications and lab-on-a-chip integration, Nanophotonicsvol. 6, no. 1, pp. 123-136
 - [28] J.M.R. Flauzino, L.M. Alves, V.R. Rodovalho, J.M. Madurro, and A.G. Brito Madurro. 2022. Application of biosensors for detection of meat species: a short review, Food Control vol. 142.

- [29] E. Torelli, M. Manzano, and R.S. Marks. 2017. Chemiluminescent optical fibre genosensor for porcine meat detection, *Sensor. Actuator. B Chem.* vol. 247, pp. 868-874
- [30] K. Ramachandran, K. Daoudi, H.H. Kacem, S. Columbus, H. Benaoum, and M. Gaidi. 2022. Rapid and ultra-sensitive detection of pork DNA with surface enhanced Raman spectroscopy for onsite food quality inspection, *Sens. Bio-Sensing Res.* vol. 38.
- [31] J. Kusnadi, E. L. Arumingtyas, and H. M. Hakiki. 2022. Aplikasi Teknik PCR untuk Autentikasi Halal. Universitas Brawijaya Press.
- [32] Silfadani, L. H., Fakhri, T. M., & Wisnuwardhani, H. A. 2022, August. Desain Biosensor Berbasis Nanopartikel Perak untuk Deteksi Protein Hemoglobin pada Babi secara In Silico. In *Bandung Conference Series: Pharmacy* (Vol. 2, No. 2, pp. 947-956)
- [33] M. Asal, Ö. Özen, M. Şahinler, & İ. Polatoğlu. 2018. Recent developments in enzyme, DNA and immuno-based biosensors. *Sensors.* vol. 18, no. 6, pp. 1924.
- [34] B. Katey, I. Voiculescu, A. N. Penkova, & A. Untaroiu. 2023. A Review of Biosensors and Their Applications. *ASME Open Journal of Engineering.* vol. 2.
- [35] Palash Mondal, Chengchen Guo, Jeffery L. Yarger, Water soluble gold-polyaniline nanocomposite: a substrate for surface enhanced Raman scattering and catalyst for dye degradation, *Arab. J. Chem.* 13 (2) (2020) 4009-4018
- [36] Lopez GA, Estevez MC, Soler M., Lechuga LM Kemajuan terbaru dalam biosensor nanoplasmonik: aplikasi dan integrasi lab-on-a-chip. *Nanophotonics.* 2017;6(1):123-136. doi: 10.1515/nanoph-2016-0101
- [37] J. Das, & H. N. Mishra. 2022. Recent advances in sensors for detecting food pathogens, contaminants, and toxins: A review. *European Food Research and Technology.* vol. 248, no. 4, pp. 1125-1148.
- [38] A. K. Trilling, J. Beekwilder, & H. Zuilhof. 2013. Antibody orientation on biosensor surfaces: a minireview. *Analyst.* vol. 138, no. 6, pp. 1619-1627.
- [39] M. Patel, M. Agrawal, & A. Srivastava. 2022. Signal amplification strategies in electrochemical biosensors via antibody immobilization and nanomaterial-based transducers. *Materials Advances.* vol. 3, no. 24, pp. 8864-8885.
- [40] Hayat, M., Mapiliandari, I., Djanis, R. L., Asrorudin, U., & Putra, A. P. (2021). Perkembangan dan Aplikasi Biosensor untuk Mendeteksi Aflatoksin. *WARTA AKAB*, 45(2).