

กรอบแนวคิดการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพฮาลาลจากของ
เสียโรงเชือดสัตว์ปีกภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน^{*}
HALAL BIO PACKAGING DEVELOPMENT CONCEPT FRAMEWORK
WASTE OF POULTRY SLAUGHTERHOUSES UNDER
THE CONCEPT OF CIRCULAR ECONOMY

สุริยะ ชันธชัย^{*}, อนันต์ สะเล็ม, วลีต อีซอ

Suriya Khanthachai^{*}, Anan Salem, Waleed Esor

คณะบริหารธุรกิจอิสลาม วิทยาลัยนานาชาติอิสลามกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเกริก กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

Faculty of Islamic Business Administration International Islamic College Bangkok Krirk University, Bangkok, Thailand

^{*}Corresponding author E-mail: suriya.khanthachai786@gmail.com

^{*}Tel: 087-115-7714

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกจากปิโตรเลียมและของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกเป็นประเด็นสำคัญด้านความยั่งยืน บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากวัสดุชีวภาพหมุนเวียนจึงได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและระบบอาหารที่ยั่งยืน โดยของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีก เช่น ขน ผิวน้ำ คอลลาเจน และเคราติน มีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ย่อยสลายได้ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านความยั่งยืนฮาลาล เศรษฐกิจชีวภาพหมุนเวียน การเพิ่มมูลค่าของเสีย และบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ เพื่อพัฒนา Halal Bioplastic Packaging Framework การศึกษานี้ใช้การทบทวนวรรณกรรมเชิงบรรยายและเชิงแนวคิด (Narrative and Conceptual Literature Review) โดยสืบค้นจากฐานข้อมูล Scopus, Web of Science, ScienceDirect และ Google Scholar ในช่วง ค.ศ. 2015 - 2026 ด้วยคำค้นที่เกี่ยวข้องกับ halal packaging, poultry slaughterhouse waste, keratin, collagen, bioplastic, biodegradable packaging, circular economy และ sustainable food system จากนั้นคัดเลือกเอกสารที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสังเคราะห์ด้วย Thematic Content Synthesis ผลการทบทวนพบ 5 ประเด็นสำคัญ ได้แก่ 1) ขน เคราติน ผิวน้ำ และคอลลาเจนมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบชีวภาพมูลค่าเพิ่ม 2) การแปรรูปของเสียเป็นบรรจุภัณฑ์สนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียน 3) วัสดุชีวภาพมีศักยภาพลดการพึ่งพาพลาสติกจากฟอสซิลและผลกระทบสิ่งแวดล้อม 4) บรรจุภัณฑ์ฮาลาลต้องควบคุมความสอดคล้องตามหลักฮาลาลตลอดห่วงโซ่มูลค่า และ 5) การบูรณาการ Halalan Tayyiban เศรษฐกิจหมุนเวียน ESG และความยั่งยืน สามารถนำไปสู่กรอบแนวคิดบรรจุภัณฑ์ฮาลาลที่ครอบคลุมมิติศาสนา สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ซึ่งสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัยเชิงประจักษ์ การประเมินวัฏจักรชีวิต และการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ฮาลาลอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: พลาสติกชีวภาพฮาลาล, เศรษฐกิจหมุนเวียน, โรงเชือดสัตว์ปีก, บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, ความยั่งยืนฮาลาล



Abstract

The rise of plastic waste from petroleum and poultry slaughterhouse waste is a key sustainability issue. Therefore, bioplastic packaging from renewable biomaterials has gained attention as an alternative under the concept of circular economy and sustainable food systems. The waste from poultry slaughterhouses such as feathers, skins, collagen, and keratin has the potential to add value as biodegradable packaging materials. This article aims to synthesize knowledge on halal sustainability. Circular Bioeconomy To develop the Halal Bioplastic Packaging Framework, this study uses a descriptive and conceptual literature review. Narrative and Conceptual Literature Review by searching Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases for the period 2015 - 2026. With search terms related to halal packaging, poultry slaughterhouse waste, keratin, collagen, bioplastic, biodegradable packaging, circular economy, and sustainable food system, then select documents that are in line with the objectives and synthesized with Thematic Content Synthesis The results of the review found five key issues: 1) fur, keratin, skin, and collagen have the potential to be value - added bio - based raw materials, 2) the processing of waste into packaging supports the circular economy, 3) biomaterials have the potential to reduce dependence on fossil plastics and environmental impacts, 4) halal packaging must be controlled in accordance with halal principles throughout the value chain, and 5) the integration of Halalan Tayyiban, circular economy, ESG, and sustainability can lead to a halal packaging conceptual framework that covers the dimensions of religion, environment, economy, and society. This can be used as a basis for empirical research. Life Cycle Assessment and Sustainable Development of Halal Packaging in the Future

Keywords: Halal Bioplastics, Circular Economy, Poultry Slaughterhouses, Biodegradable Packaging, Halal Sustainability

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมสัตว์ปีกมีขนาดการผลิตที่สูงและมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2567 ผลผลิตสัตว์ปีกทั่วโลกมีปริมาณประมาณ 150 ล้านตัน เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.6 จากปีก่อนหน้า สะท้อนให้เห็นถึงขนาดของวัตถุดิบและผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปสัตว์ปีกในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะขนไก่ซึ่งเป็นผลพลอยได้สำคัญจากกระบวนการถอนขน มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 5 - 7 ของน้ำหนักตัวไก่ และประกอบด้วยเคราตินในสัดส่วนประมาณร้อยละ 80 - 90 ซึ่งเป็นโปรตีนโครงสร้างที่มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพและพอลิเมอร์ชีวภาพได้ ดังนั้น ปริมาณการผลิตสัตว์ปีกที่สูง ประกอบกับองค์ประกอบทางชีวภาพของผลพลอยได้ดังกล่าว จึงสะท้อนถึงศักยภาพของการนำของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มุ่งเปลี่ยนของเสียให้เป็นทรัพยากรและผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

อย่างไรก็ตาม การนำผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีกมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารฮาลาลไม่ได้พิจารณาเฉพาะปริมาณและคุณสมบัติทางวัสดุเท่านั้น แต่จำเป็นต้องพิจารณาแหล่งที่มาและความถูกต้องตามหลักศาสนาอิสลามตลอดห่วงโซ่การผลิตด้วย โดยวัตถุดิบจากสัตว์ปีกควรมาจากสัตว์ที่เป็นชนิดที่อนุญาตตามหลักอิสลาม และผ่านกระบวนการเชือดที่ถูกต้องตามหลักศาสนาอิสลาม โดยต้องควบคุมตั้งแต่การรับสัตว์

การเชือด การเก็บรวบรวมผลพลอยได้ เช่น ขน หนัง และชิ้นส่วนอื่น ๆ ตลอดจนกระบวนการล้าง สกัด แปรรูป และจัดเก็บ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งที่ไม่ฮาลาลหรือสิ่งเน่าเสีย ทั้งนี้ หลักเกณฑ์ของ Codex ระบุว่าสัตว์ที่นำมาเป็นอาหารต้องเป็นสัตว์ที่อนุญาตตามหลักอิสลาม ต้องมีชีวิตขณะเชือด และการเชือดต้องดำเนินการตามข้อกำหนดของศาสนาอิสลาม ขณะที่ข้อกำหนดด้านฮาลาลของประเทศไทยก็ให้ความสำคัญกับการเชือดสัตว์ปีกตามหลักอิสลามและการควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ในบริบทของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพฮาลาล ผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีกจึงควรถูกมองเป็น “Halal - derived biomaterial” ที่ต้องมีการตรวจสอบย้อนกลับและการควบคุมความสมบูรณ์ด้านฮาลาลตั้งแต่ต้นทางจนถึงผลิตภัณฑ์ปลายทาง

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ทั่วโลกกำลังเปลี่ยนผ่านสู่ระบบการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืนภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และนโยบายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะกฎหมาย Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) ภายใต้ Regulation (EU) 2025/40 ของสหภาพยุโรป ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2025 และจะเริ่มบังคับใช้อย่างเต็มรูปแบบในปี ค.ศ. 2026 กฎหมายดังกล่าวกำหนดมาตรฐานที่เข้มงวดด้านการลดปริมาณบรรจุภัณฑ์ การออกแบบเพื่อการรีไซเคิล (Design for Recycling) การใช้วัสดุรีไซเคิล การจัดทำข้อมูลตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และการยกเลิกการใช้สารเคมีอันตราย เช่น PFAS ในบรรจุภัณฑ์สัมผัสอาหาร ส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารทั่วโลกต้องเร่งพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับข้อกำหนดด้านความยั่งยืน พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในฐานะวัสดุทดแทนพลาสติกจากฟอสซิล เนื่องจากสามารถผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียนและวัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพ อีกทั้งยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดปัญหาขยะพลาสติกที่เป็นหนึ่งในวิกฤตสิ่งแวดล้อมของโลก งานวิจัยล่าสุดชี้ว่าการใช้ของเสียชีวภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเสียและสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างเป็นรูปธรรม (European Bioplastics, 2025) อุตสาหกรรมโรงเชือดสัตว์ปีกเป็นแหล่งกำเนิดของเสียชีวภาพปริมาณมาก เช่น ขน ผิวหนัง เลือด กระดูก และไขมัน ซึ่งอุดมด้วยไบโอพอลิเมอร์ที่มีศักยภาพ ได้แก่ เคราติน คอลลาเจน และเจลาติน สามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Packaging) นอกจากการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมแล้ว แนวทางดังกล่าวยังสอดคล้องกับหลักการของอุตสาหกรรมฮาลาลยุคใหม่ที่สำคัญกับความยั่งยืน ควบคู่กับการปฏิบัติตามหลักศาสนาอิสลาม โดยอาศัยหลัก Khalifah (การเป็นผู้ดูแลโลก), Mizan (ความสมดุล), Tayyib (ความสะอาดและคุณประโยชน์) และการหลีกเลี่ยง Israf (ความสิ้นเปลือง) ซึ่งมีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับสากล

ปัญหาสำคัญ คือ แม้วรรณกรรมในปัจจุบันจะให้ความสนใจกับพลาสติกชีวภาพ แต่การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีก วัสดุโปรตีนจากสัตว์ บรรจุภัณฑ์อาหารที่ยั่งยืน และเศรษฐกิจหมุนเวียนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การศึกษาเหล่านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นประเด็นเฉพาะ เช่น การสกัดวัสดุ การพัฒนาฟิล์มและสมบัติทางกล หรือการใช้ประโยชน์จากของเสีย ขณะที่ยังมีข้อจำกัดในการบูรณาการองค์ความรู้เหล่านี้เข้ากับ Halalan Tayyiban, Halal Integrity, Circular Economy และ Sustainable Food Packaging ภายใต้กรอบแนวคิดเดียวกัน ช่องว่างขององค์ความรู้ (Research Gap) จึงอยู่ที่การขาดกรอบแนวคิดเชิงบูรณาการที่อธิบายความสัมพันธ์ ตั้งแต่ Poultry Slaughterhouse Waste, Waste Valorization, Biopolymer/Bioplastic Development, Halal Integrity, Circular Packaging และ Sustainable Halal Food System โดยเฉพาะการเชื่อมโยงหลักฮาลาลกับการจัดการทรัพยากร เศรษฐกิจหมุนเวียน และความยั่งยืนของบรรจุภัณฑ์ตลอดวงจรชีวิต ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการเพิ่มมูลค่าของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีก พลาสติกชีวภาพ บรรจุภัณฑ์อาหารที่ยั่งยืน เศรษฐกิจหมุนเวียน และความยั่งยืนฮาลาล 2) เพื่อวิเคราะห์และบูรณาการความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบดังกล่าว และ 3) เพื่อเสนอกรอบแนวคิด Eco - Halal Bioplastic



Packaging (EHBP) Framework สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากของเสียโรงเชือดสัตว์ปีกที่คำนึงถึงทั้ง Halal Integrity และความยั่งยืน กรอบ EHBP จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยเสนอเป็นกรอบเชิงแนวคิดสำหรับการพัฒนาต่อในด้านคุณสมบัติวัสดุ ความปลอดภัย การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) การตรวจสอบความสอดคล้องตามหลักฮาลาล และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ทั้งนี้ EHBP ไม่ได้อ้างว่าเป็นผลการทดลองเชิงประจักษ์ แต่เป็นกรอบแนวคิดที่สังเคราะห์จากองค์ความรู้เดิมเพื่อสนับสนุนการพัฒนานวัตกรรมบรรจุภัณฑ์และระบบอาหารฮาลาลที่ยั่งยืนในอนาคต

แนวคิดและหลักการของการศึกษา

การศึกษานี้ใช้วิธีทบทวนวรรณกรรมเชิงแนวคิด Conceptual and Narrative Literature Review โดยมุ่งสังเคราะห์องค์ความรู้แบบสหวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับพลาสติกชีวภาพ การจัดการผลพลอยได้และของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีก การเพิ่มมูลค่าของเสีย (Waste Valorization) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ความยั่งยืนฮาลาล และจริยธรรมสิ่งแวดล้อมอิสลาม เพื่อพัฒนาเป็นกรอบแนวคิด Eco - Halal Bioplastic Packaging (EHBP) Framework การออกแบบการศึกษาสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาบทความเชิงแนวคิด ซึ่งมุ่งสร้างองค์ความรู้ใหม่จากการเชื่อมโยงและสังเคราะห์ทฤษฎี แนวคิด และผลการศึกษามีอยู่

การรวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยสืบค้นจากแหล่งข้อมูลวิชาการและเอกสารนโยบายที่เกี่ยวข้อง โดยให้ความสำคัญกับฐานข้อมูล Scopus, Web of Science, ScienceDirect และ Google Scholar รวมทั้งเอกสารจากหน่วยงานระหว่างประเทศและองค์กรที่เกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ ความยั่งยืน และอุตสาหกรรมฮาลาล เช่น European Commission, European Bioplastics และ United Nations เพื่อให้ครอบคลุมพัฒนาการร่วมสมัยด้านพลาสติกชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน บรรจุภัณฑ์ยั่งยืน และกฎระเบียบด้านบรรจุภัณฑ์ระหว่างประเทศ คำค้นหลักที่ใช้ประกอบด้วย “Bioplastic”, “Biodegradable Packaging”, “Poultry Slaughterhouse Waste”, “Poultry By - Products”, “Keratin”, “Collagen”, “Gelatin”, “Waste Valorization”, “Circular Economy”, “Circular Bioeconomy”, “Halal Packaging”, “Halal Sustainability”, “Halalan Tayyiban”, “Food - Contact Safety”, “Life Cycle Assessment” และ “Carbon Footprint” เพื่อให้ครอบคลุมความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุชีวภาพ ของเสียจากสัตว์ปีก บรรจุภัณฑ์ ความยั่งยืน และหลักฮาลาล เกณฑ์การคัดเลือกเอกสารประกอบด้วย 1) เป็นบทความวิจัย บทความปริทัศน์ หรือเอกสารนโยบายที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อศึกษา 2) มีเนื้อหาเกี่ยวกับวัสดุชีวภาพจากผลพลอยได้หรือของเสียจากสัตว์ปีก พลาสติกชีวภาพ หรือบรรจุภัณฑ์ยั่งยืน 3) มีความเกี่ยวข้องกับ Circular Economy, Waste Valorization, Halal Sustainability หรือ Food - Contact Safety และ 4) เป็นเอกสารที่มีข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์และสังเคราะห์เชิงแนวคิด ส่วนเอกสารที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรง เอกสารซ้ำ หรือไม่มีข้อมูลสนับสนุนประเด็นการศึกษาจะไม่ถูกนำมาใช้เป็นหลักฐานหลักในด้านจำนวนเอกสาร เนื่องจากการศึกษานี้เป็น Narrative and Conceptual Literature Review และไม่ได้ออกแบบเป็น Systematic Review จึงไม่ได้กำหนดจำนวนเอกสารล่วงหน้าแบบ PRISMA และไม่ใช่จำนวนผลการค้นเป็นตัวชี้วัดหลักของการศึกษา โดยเอกสารที่นำมาใช้เป็นหลักฐานหลักจะพิจารณาจาก ความเกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ คุณภาพทางวิชาการ ความทันสมัย และความสามารถในการสนับสนุนองค์ประกอบของ EHBP Framework การดำเนินการดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะของการวิจัยเชิงแนวคิดที่เน้นการสังเคราะห์และการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างองค์ความรู้มากกว่าการนับจำนวนงานวิจัย ขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) Identification การระบุและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง 2) Screening and Selection การคัดกรองและเลือกเอกสารตามเกณฑ์ที่กำหนด 3) Content Analysis การวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อระบุแนวคิด ประเด็นร่วม ข้อจำกัด และช่องว่างขององค์ความรู้ และ 4) Conceptual Synthesis การสังเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อนำไปพัฒนา EHBP Framework ทั้งนี้ ผลการสังเคราะห์ถูกจัดกลุ่มเป็นประเด็น

หลัก ได้แก่ Global Packaging Regulation and Circularity, Bioplastics and Sustainable Materials, Poultry Waste Valorization, Halal Integrity and Traceability, Food - Contact Safety, Life Cycle and Carbon Considerations และ End - of - Life Management ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของกรอบ EHBP ที่เสนอในบทความนี้ ในด้านการเชื่อมโยงกับบริบทระดับโลก การศึกษานำ Sustainable Development Goals (SDGs) มาใช้เป็นกรอบสำหรับตีความและตรวจสอบความสอดคล้องเชิงแนวคิดของผลการสังเคราะห์ โดย SDG 12 (Responsible Consumption and Production) เชื่อมโยงกับการลดของเสีย การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ Waste Valorization การออกแบบบรรจุภัณฑ์ตามหลัก Circular Economy และการจัดการบรรจุภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน SDG 13 (Climate Action) เชื่อมโยงกับการลดการพึ่งพาทรัพยากรฟอสซิล การประเมิน Carbon Footprint และการใช้ Life Cycle Assessment (LCA) เพื่อประเมินผลกระทบด้านภูมิอากาศ ขณะที่ SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) เชื่อมโยงกับการพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ นวัตกรรมวัสดุ และการยกระดับกระบวนการผลิตสู่ระบบอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน นอกจากนี้ EHBP ยังเชื่อมโยงกับบริบทระดับโลกผ่าน Circular Economy, Sustainable Food Systems, Halal Supply Chain, ESG และ Net - Zero Transition โดยทำหน้าที่เป็นกรอบบูรณาการระหว่าง หลัก Halalan Tayyiban การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า นวัตกรรมวัสดุ ความปลอดภัยของอาหาร และ การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ดังนั้น SDGs ในการศึกษาไม่ได้ถูกใช้เป็นตัวแปรที่นำไปทดสอบทางสถิติ แต่ใช้เป็น Global Sustainability Alignment Framework เพื่อประเมินว่าข้อค้นพบจากวรรณกรรมและองค์ประกอบของ EHBP มีความสอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติอย่างไร

การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

1. กฎระเบียบบรรจุภัณฑ์ระดับโลกและนโยบายเศรษฐกิจหมุนเวียน (Emerging Global Packaging Regulations and Circular Packaging Policies)

กฎหมาย Packaging and Packaging Waste Regulation (PPWR) ของสหภาพยุโรปได้กลายเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญที่เร่งการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน โดย Regulation (EU) 2025/40 กำหนดกรอบการจัดการบรรจุภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การป้องกันการเกิดขยะ การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล ตลอดจนการจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน และมุ่งสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน นอกจากนี้ สหภาพยุโรปกำหนดทิศทางให้บรรจุภัณฑ์สามารถรีไซเคิลได้ โดยข้อกำหนดด้าน recyclability จะมีความสำคัญต่อการวางตลาดบรรจุภัณฑ์ในช่วงต่อไป และมีมาตรการเกี่ยวกับการใช้วัสดุรีไซเคิล การลดบรรจุภัณฑ์ที่ไม่จำเป็น การใช้ซ้ำและการเติมซ้ำ รวมถึงการควบคุมสารที่มีความเสี่ยง เช่น PFAS ในบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสอาหาร แนวทางดังกล่าวสะท้อนการเปลี่ยนแปลงจากระบบบรรจุภัณฑ์แบบเส้นตรงไปสู่ระบบที่ให้ความสำคัญกับการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การลดของเสีย และการหมุนเวียนวัสดุให้อยู่ในระบบให้นานที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการผลิตอย่างยั่งยืน ขณะเดียวกัน เสนอว่าการแก้ไขปัญหามลพิษจากพลาสติกจำเป็นต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทั้งระบบ โดยครอบคลุมการลดการใช้พลาสติกที่ไม่จำเป็น การออกแบบใหม่ การใช้ซ้ำ และการรีไซเคิล ดังนั้น วัสดุบรรจุภัณฑ์ชีวภาพและวัสดุที่ผลิตจากของเสียทางอุตสาหกรรมและการเกษตรจึงมีศักยภาพในการเป็นทางเลือกสำหรับการพัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์แห่งอนาคต

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า กฎระเบียบและนโยบายด้านบรรจุภัณฑ์ระดับโลกกำลังเปลี่ยนจากการมุ่งจัดการขยะหลังการใช้งาน ไปสู่การพิจารณาบรรจุภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ดังนั้น การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากของเสียจึงควรพิจารณาทั้งการใช้ทรัพยากร การออกแบบ การผลิต ความปลอดภัย การใช้งาน และการจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานร่วมกัน



2. บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพและวัสดุที่ยั่งยืน (Bioplastics and Sustainable Materials)

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ผลิตจากทรัพยากรชีวภาพหมุนเวียน เช่น แป้ง เซลลูโลส โปรตีน น้ำมันพืช และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยวัสดุบางประเภทสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือสามารถลดการพึ่งพาวัตถุดิบฟอสซิลได้ จึงได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (European Bioplastics, 2025) ความต้องการบรรจุภัณฑ์อาหารที่ยั่งยืนเพิ่มขึ้นจากปัญหามลพิษพลาสติกและแรงกดดันด้านสิ่งแวดล้อม โดยอุตสาหกรรมอาหารให้ความสนใจกับวัสดุที่สามารถลดการสะสมของขยะและผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Geyer, R. et al., 2017) อย่างไรก็ตาม ความยั่งยืนของพลาสติกชีวภาพไม่ควรพิจารณาจากความสามารถในการย่อยสลายเพียงอย่างเดียว แต่ควรครอบคลุมแหล่งที่มาของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การใช้พลังงาน การจัดการของเสีย และระบบ End - of - Life ด้วย ในด้านวัตถุดิบ วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและการเกษตรมีศักยภาพในการเป็นแหล่งไบโอพอลิเมอร์ เนื่องจากสามารถลดการใช้ทรัพยากรใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย โดยผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ เช่น คอลลาเจน เจลาติน เคราติน โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ และไคโตซาน สามารถนำไปพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพและบรรจุภัณฑ์อาหารได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงเชิงกล การกันออกซิเจน และการย่อยสลายทางชีวภาพ นอกจากนี้ การพัฒนาพลาสติกชีวภาพยังสอดคล้องกับ SDG 12 และ SDG 13 ซึ่งสนับสนุนการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืนและการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า พลาสติกชีวภาพมีศักยภาพในการเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ทางเลือก แต่ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องพิจารณาอย่างเป็นระบบตั้งแต่แหล่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ประสิทธิภาพการใช้งาน ไปจนถึงการจัดการหลังการใช้งาน โดยเฉพาะวัสดุชีวภาพที่ผลิตจากของเสียซึ่งสามารถเชื่อมโยงแนวคิด Waste Valorization กับ Circular Economy ได้

3. การประเมินมูลค่าของเสียในโรงเชือดสัตว์ปีก (Poultry Slaughterhouse Waste Valorization)

อุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์ปีกสร้างของเสียและผลพลอยได้จำนวนมาก โดยเฉพาะขนสัตว์ปีกซึ่งเป็นแหล่งเคราตินธรรมชาติที่สำคัญ ขณะที่เลือด หนัง ไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีโปรตีนและคอลลาเจนที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพและผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้ (Shavandi, A. et al., 2023) การกำจัดของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกโรงเชือดสัตว์ปีกอย่างไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กลิ่น และการสะสมของของเสียอันตราย ดังนั้น แนวคิด Waste Valorization จึงได้รับความสนใจในฐานะกลยุทธ์ของเศรษฐกิจหมุนเวียน Waste Valorization หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนของเสียที่มีมูลค่าต่ำให้เป็นวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยี เช่น การสกัดไบโอพอลิเมอร์ การผลิตพลังงานชีวภาพ การหมัก และการแปรรูปทางชีวเคมี งานวิจัยพบว่าของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกสามารถนำไปผลิตพลาสติกชีวภาพ ปุ๋ยชีวภาพ ก๊าซชีวภาพ และสารเคมีชีวภาพได้ นอกจากนี้ การนำของเสียสัตว์ปีกเข้าสู่ระบบ Circular Bioeconomy สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดภาระการจัดการของเสีย และสร้างผลิตภัณฑ์ชีวภาพมูลค่าเพิ่มสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและบรรจุภัณฑ์

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า ของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกไม่ได้เป็นเพียงภาระด้านสิ่งแวดล้อม แต่สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งวัตถุดิบชีวภาพสำหรับผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้ อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้เดิมยังมีการศึกษาแยกตามประเภทของของเสียและผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีช่องว่างในการบูรณาการของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกเข้าสู่ระบบบรรจุภัณฑ์ชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ

4. เศรษฐกิจหมุนเวียนและระบบอาหารที่ยั่งยืน (Circular Economy and Sustainable Food Systems)

เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) มุ่งลดการใช้ทรัพยากรใหม่ ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรผ่านการใช้ซ้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการหมุนเวียนวัสดุ ซึ่งแตกต่างจากระบบเศรษฐกิจเชิงเส้นที่มีลักษณะ ผลิต ใช้ ทิ้ง ในบริบทของระบบอาหาร แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนให้ความสำคัญกับการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ การลดเศษอาหาร การใช้พลังงานสะอาด และการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน ระบบอาหารที่ยั่งยืนต้องสร้างสมดุลระหว่างความมั่นคงทางอาหาร การอนุรักษ์ทรัพยากร ความอยู่รอดทางเศรษฐกิจ และความเป็นอยู่ที่ดีของสังคม โดยต้องพิจารณาผลกระทบตลอดห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่การผลิต การแปรรูป การบรรจุ การขนส่ง และการกำจัดของเสีย บรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากของเสียโรงเชือดสัตว์ปีกจึงมีความสอดคล้องกับ Circular Economy เนื่องจากสามารถเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม และเมื่อหมดอายุการใช้งานสามารถนำกลับเข้าสู่ระบบชีวภาพผ่านการทำปุ๋ยหมักหรือการย่อยสลายทางชีวภาพได้นอกจากนี้ ระบบบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนยังสามารถเชื่อมโยงกับแนวคิด ESG และการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอาหาร

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า Circular Economy เป็นกรอบสำคัญในการเชื่อมโยงของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ โดยเปลี่ยนของเสียจาก “ปลายทางของระบบการผลิต” ให้กลายเป็น “วัตถุดิบสำหรับระบบการผลิตใหม่” อย่างไรก็ตาม การนำแนวคิดดังกล่าวมาใช้กับบรรจุภัณฑ์ฮาลาลจำเป็นต้องเพิ่มเติมมิติด้านความถูกต้องตามหลักฮาลาลและความปลอดภัยในการสัมผัสอาหาร

5. ความยั่งยืนฮาลาลและจริยธรรมสิ่งแวดล้อมอิสลาม (Halal Sustainability and Islamic Environmental Ethics)

แนวคิดฮาลาลในปัจจุบันไม่ได้จำกัดเฉพาะการอนุญาตด้านอาหารตามหลักศาสนาอิสลาม แต่ยังเกี่ยวข้องกับความสะอาด สุขอนามัย ความปลอดภัย จริยธรรม และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม แนวคิด Halalan Tayyiban จึงสะท้อนถึงการผลิตและการบริโภคที่ถูกต้อง สะอาด ปลอดภัย และมีคุณภาพ

จริยธรรมสิ่งแวดล้อมอิสลามให้ความสำคัญกับการดูแลทรัพยากรธรรมชาติ ความสมดุลของระบบนิเวศ และการหลีกเลี่ยงการสร้างความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม โดยหลักสำคัญ ได้แก่ Khalifah ซึ่งสะท้อนบทบาทของมนุษย์ในการดูแลโลก Mizan ซึ่งสะท้อนความสมดุล Tayyib ซึ่งเกี่ยวข้องกับความดี ความสะอาด และคุณภาพ และ Israf ซึ่งเน้นการหลีกเลี่ยงความฟุ่มเฟือยและการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง หลักการดังกล่าวมีความสอดคล้องกับแนวคิด Circular Economy และ SDGs ในด้านการลดของเสีย การอนุรักษ์ทรัพยากร และการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Bachtar, W. et al., 2024) ในบริบทของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ การนำวัสดุจากของเสียสัตว์ปีกที่มาจากกระบวนการเชือดตามหลักฮาลาลมาใช้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม ลดของเสีย และสนับสนุนการผลิตอย่างรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Green Halal Industry และ Circular Bioeconomy

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า แนวคิด Halalan Tayyiban สามารถทำหน้าที่เป็นมิติด้านจริยธรรมและความถูกต้องของระบบบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ โดยเชื่อมโยงความถูกต้องของวัตถุดิบ ความสะอาด ความปลอดภัย การลดของเสีย และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างในการพัฒนารอบแนวคิดที่บูรณาการหลักฮาลาลเข้ากับสมรรถนะและความยั่งยืนของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพอย่างเป็นระบบ



6. การนำของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกฮาลาลมาผลิตภาชนะและบรรจุภัณฑ์อาหาร

การนำของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกฮาลาลมาผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารสามารถพัฒนาได้ผ่านเทคโนโลยี Bioplastics และ Edible Films (Bhat, Z. et al., 2023) ภายใต้แนวคิด Circular Economy และ Sustainable Packaging โดยวัตถุดิบจำเป็นต้องมีแหล่งที่มาและกระบวนการจัดการที่สอดคล้องกับหลักฮาลาล เพื่อป้องกัน ประเด็น Haram และ Najis (Bhat, Z. et al., 2023) ของเสียแต่ละประเภทมีศักยภาพแตกต่างกัน เช่น ขนไก่สามารถนำมาสกัดเคราตินเพื่อผลิตถาดอาหาร กล่องอาหาร และวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา ทนความร้อน และย่อยสลายได้ (Shavandi, A. et al., 2023) โดยอาจใช้กระบวนการสกัดเคราตินและขึ้นรูปด้วย Injection Molding หรือ Compression Molding (Ossai, I. et al., 2022) ขณะที่หนังและกระดูกไก่สามารถนำมาเป็นแหล่งคอลลาเจนและเจลาตินเพื่อพัฒนาฟิล์ม ถุงห่ออาหาร และสารเคลือบผิวอาหาร (Zhang, Y. et al., 2023) รวมถึงการพัฒนา Active and Intelligent Packaging ซึ่งอาจเพิ่มหน้าที่ด้านการควบคุมคุณภาพหรือการยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหาร (Esmaeili, Y. et al., 2026) นอกจากนี้ ไขมันสัตว์ปีกสามารถนำไปพัฒนาเป็นโฟมชีวภาพและวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ผ่านการผสมกับพอลิเมอร์ชีวภาพและกระบวนการขึ้นรูปแบบขยายตัว (Zhang, Y. et al., 2023) แนวทางดังกล่าวสามารถสนับสนุน Zero Waste และ Circular Bioeconomy และเพิ่มมูลค่าของผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีก (Hatta, F. et al., 2023); (European Bioplastics, 2025); (Surya, S. et al., 2023)

ตาราง 1 การเปรียบเทียบศักยภาพของผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีกสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

ชนิดของผลพลอยได้	สารชีวโมเลกุลสำคัญ	คุณสมบัติเด่น	ข้อจำกัดทางเทคนิค	รูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม	สถานะความพร้อม
ขนไก่ (Feather)	Keratin	โปรตีนโครงสร้าง มีศักยภาพในการสร้างฟิล์ม ย่อยสลายได้ และสามารถนำมาพัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพ/คอมโพสิต	โครงสร้างพันธะ disulfide ทำให้สกัดยาก ความสามารถในการขึ้นรูปแบบเทอร์โมพลาสติกต่ำ และต้องควบคุมกระบวนการสกัด	ฟิล์มชีวภาพ, coating, composite film, ถาด/แผ่นวัสดุ	สถานะความพร้อมในตารางนี้เป็นกรณีเชิงสังเคราะห์จากระดับหลักฐานในวรรณกรรม
หนังไก่ (Chicken skin)	Collagen / Gelatin	มีคุณสมบัติสร้างฟิล์มดี มีความแข็งแรงเชิงกลและคุณสมบัติด้านเสถียรที่เหมาะสม และสามารถปรับปรุงด้วยการผสมพอลิเมอร์อื่น	ดูดความชื้นและไวต่อน้ำ ต้องปรับปรุง water barrier และ mechanical stability	edible film, food wrapping, coating, composite film	สถานะความพร้อมในตารางนี้เป็นกรณีเชิงสังเคราะห์จากระดับหลักฐานในวรรณกรรม
กระดูก (Bone)	Collagen / Gelatin + mineral fraction	คอลลาเจน/เจลาตินมีคุณสมบัติสร้างฟิล์มและย่อยสลายได้ ส่วนแร่ธาตุสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อื่น	ต้องแยกส่วนแร่และสารอินทรีย์อย่างเหมาะสม กระบวนการสกัดซับซ้อน และต้องควบคุมความบริสุทธิ์	film, coating, composite material	สถานะความพร้อมในตารางนี้เป็นกรณีเชิงสังเคราะห์จากระดับหลักฐานในวรรณกรรม
ไขมันสัตว์ปีก (Poultry fat)	Lipids / fatty acids	มีศักยภาพเป็นวัตถุดิบชีวภาพ และสามารถนำไปแปรรูปเป็นสารตั้งต้นหรือองค์ประกอบของวัสดุชีวภาพ	ต้องควบคุมการเกิดออกซิเดชัน กลิ่น ความเสถียร และความเข้ากันได้กับ polymer matrix	coating, composite material, bio-based polymer/foam	สถานะความพร้อมในตารางนี้เป็นกรณีเชิงสังเคราะห์จากระดับหลักฐานในวรรณกรรม

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า ผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีกมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ชีวภาพหลายรูปแบบ แต่การศึกษาที่ผ่านมาเน้นคุณสมบัติหรือการประยุกต์ใช้ของวัสดุแต่ละชนิดเป็นหลัก จึงมีความจำเป็นต้องสังเคราะห์องค์ความรู้เหล่านี้ให้เป็นกรอบเดียวที่เชื่อมโยงแหล่งวัตถุดิบฮาลาล-เทคโนโลยีการผลิต-สมรรถนะวัสดุ-ความปลอดภัย-สิ่งแวดล้อม

7. คุณสมบัติทางเทคนิคและประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากโปรตีนสัตว์ปีก (Technical Properties and Performance of Poultry - Derived Bioplastic Packaging)

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากของเสียโรงเชือดสัตว์ปีกไม่ควรพิจารณาเฉพาะความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ แต่ต้องพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงกลให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง

ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะ Tensile Strength, Elongation at Break, Oxygen Barrier, Water Vapor Barrier, Thermal Resistance และความคงตัวของวัสดุระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปกป้องอาหารและรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Tardy, B. et al., 2023); (Teixeira, S. et al., 2025) โปรตีนจากขนไก่ โดยเฉพาะเคราติน มีโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถนำมาสร้างฟิล์มและวัสดุคอมโพสิตชีวภาพได้ อย่างไรก็ตาม วัสดุจากโปรตีนเพียงชนิดเดียวอาจมีข้อจำกัดด้านความเปราะ ความไวต่อความชื้น และความแข็งแรงเชิงกล งานวิจัยจึงให้ความสนใจกับการผสมเคราตินกับพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น ไคโตซาน หรือสารเติมแต่งจากธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงโครงสร้างและสมบัติของวัสดุ (Gunawan, G. et al., 2024) ในทำนองเดียวกัน คอลลาเจนและเจลาตินจากหนังและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสามารถนำมาพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพและสารเคลือบอาหาร แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความไวต่อความชื้นและความแข็งแรง ซึ่งอาจต้องปรับปรุงด้วย Cross-linking การผสมพอลิเมอร์ หรือการเติมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Zhang, Y. et al., 2023)

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า ศักยภาพของวัสดุชีวภาพเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะยืนยันความพร้อมของบรรจุภัณฑ์สำหรับการใช้งานจริง ดังนั้น การพัฒนา EHBP ควรกำหนดตัวชี้วัดด้านสมรรถนะของวัสดุ ได้แก่ ความแข็งแรงเชิงกล ความสามารถในการกั้นออกซิเจนและความชื้น ความทนทานต่ออุณหภูมิ ความสามารถในการย่อยสลาย และความปลอดภัยต่ออาหาร เพื่อใช้ประเมินความพร้อมตั้งแต่ระดับห้องปฏิบัติการไปจนถึงระดับอุตสาหกรรม (Bente, F. & Robert, D., 2024)

8. ความปลอดภัยของวัสดุและการสัมผัสอาหาร (Food Contact Safety and Material Migration)

ความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์เป็นองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะวัสดุชีวภาพจากผลพลอยได้ของสัตว์ เนื่องจากอาจมีความเสี่ยงจากสารตกค้าง การปนเปื้อนทางจุลชีววิทยา สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการสกัด และการเคลื่อนย้ายสารจากบรรจุภัณฑ์เข้าสู่อาหาร (Migration) ดังนั้น การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากโรงเชือดสัตว์ปีกจึงต้องพิจารณาความปลอดภัยตั้งแต่วัตถุดิบ การสกัด การแปรรูป การขึ้นรูป และการจัดเก็บ อีกประเด็นสำคัญคือแหล่งที่มาของเจลาตินและคอลลาเจน เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อทั้งความปลอดภัยอาหารและความสอดคล้องกับข้อกำหนดฮาลาล การตรวจสอบชนิดและแหล่งที่มาของเจลาตินสามารถดำเนินการด้วยเทคนิคทางวิทยาศาสตร์หลายรูปแบบ และช่วยสนับสนุนระบบตรวจสอบย้อนกลับของวัตถุดิบ

ขณะเดียวกัน แนวโน้มการกำกับดูแลบรรจุภัณฑ์อาหารให้ความสำคัญกับสารเคมีที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะ PFAS ซึ่งใช้ในวัสดุบรรจุภัณฑ์บางประเภทเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการต้านน้ำและไขมัน แต่มีข้อกังวลด้านการสะสมในสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ (Li, R. et al., 2026) ทั้งนี้ PPWR ของสหภาพยุโรปยังมีมาตรการจำกัด PFAS ในบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสอาหารด้วย

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า ความปลอดภัยในการสัมผัสอาหารและความสอดคล้องกับหลักฮาลาลเป็นเงื่อนไขพื้นฐานของการนำผลพลอยได้จากสัตว์ปีกมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ดังนั้น EHBP Framework ควรครอบคลุมการตรวจสอบสารตกค้าง การทดสอบ Migration การปนเปื้อนจุลินทรีย์ ความปลอดภัยทางพิษวิทยา สารต้องห้าม เช่น PFAS และการตรวจสอบความสอดคล้องกับมาตรฐานบรรจุภัณฑ์อาหารและข้อกำหนดฮาลาล

9. การประเมินวัฏจักรชีวิตและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ (Life Cycle Assessment and Carbon Footprint)

แม้ว่าพลาสติกชีวภาพจะถูกนำเสนอเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ความยั่งยืนไม่ควรประเมินจากความสามารถในการย่อยสลายเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกระบวนการผลิตอาจเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน น้ำ สารเคมี การขนส่ง และการจัดการของเสีย ดังนั้น Life Cycle Assessment (LCA) จึงมีความสำคัญในการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตและเปรียบเทียบทางเลือกด้านบรรจุภัณฑ์ สำหรับบรรจุภัณฑ์จากของเสีย



โรงเชือดสัตว์ปีก การประเมิน LCA สามารถครอบคลุมตั้งแต่การเกิดของเสีย การรวบรวมและคัดแยก การสกัด เคราตินหรือคอลลาเจน การใช้พลังงานและสารเคมี การขึ้นรูป การขนส่ง การใช้งาน และ End - of - Life การประเมินดังกล่าวช่วยระบุ Hotspot ของระบบและสนับสนุนการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับ Circular Economy ซึ่งมุ่งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและลดการสูญเสียออกจากระบบ โดยการเปลี่ยนของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีกให้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่สามารถลดภาระในการจัดการของเสียและเพิ่มมูลค่าทรัพยากร อย่างไรก็ตาม ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมควรได้รับการยืนยันด้วยข้อมูลเชิงปริมาณจาก LCA และ Carbon Footprint เพื่อหลีกเลี่ยงการกล่าวอ้างด้านสิ่งแวดล้อมที่เกินกว่าหลักฐานเชิงประจักษ์

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า ความยั่งยืนของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจำเป็นต้องได้รับการพิสูจน์ด้วยข้อมูลเชิงปริมาณตลอดวัฏจักรชีวิต ไม่ควรพิจารณาเพียงแหล่งที่มาของวัตถุดิบหรือความสามารถในการย่อยสลาย ดังนั้น EHBP Framework ควรเพิ่มองค์ประกอบ Carbon and Environmental Performance โดยพิจารณาตัวชี้วัด เช่น kgCO_2e ต่อหน่วยบรรจุภัณฑ์ การใช้พลังงาน kWh/kg วัสดุ การใช้น้ำ ปริมาณของเสียที่ลดลง และสัดส่วนวัตถุดิบจากของเสีย

10. ระบบตรวจสอบย้อนกลับและการรับรองฮาลาลสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ (Halal Traceability and Certification of Packaging Materials)

การนำผลพลอยได้จากโรงเชือดสัตว์ปีกมาใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับระบบตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability) เนื่องจากสถานะฮาลาลของวัสดุไม่ได้ขึ้นอยู่กับเฉพาะชนิดของวัตถุดิบ แต่ยังเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มา กระบวนการผลิต การจัดเก็บ การขนส่ง และโอกาสในการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการผลิต (Bachtar, W. et al., 2024) แนวคิด Traceability สามารถขยายจากอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ฮาลาลไปสู่ระบบบรรจุภัณฑ์ โดยควรสามารถตรวจสอบย้อนกลับวัตถุดิบตั้งแต่โรงเชือดสัตว์ปีกไปจนถึงกระบวนการสกัด การผลิตวัสดุ การขึ้นรูป การจัดเก็บ และการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ในบริบทของ EHBP วัตถุดิบควรมีหลักฐานแสดงแหล่งที่มาของสัตว์และกระบวนการเชือดที่เป็นไปตามหลักฮาลาล รวมถึงการควบคุมการแยกพื้นที่ อุปกรณ์ และกระบวนการจากวัสดุที่อาจเป็น Haram หรือ Najis นอกจากนี้ ควรมีเอกสารและระบบ Digital Traceability เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบย้อนกลับและการตรวจประเมิน โดยสามารถเชื่อมโยงกับระบบคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร เช่น GMP และ HACCP เพื่อสร้างความโปร่งใสและความเชื่อมั่นตลอดห่วงโซ่อุปทาน

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า Traceability เป็นองค์ประกอบสำคัญที่เชื่อมโยงความถูกต้องของวัตถุดิบฮาลาลกับความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น EHBP Framework ควรประกอบด้วย Halal Raw Material Verification, Process Integrity, Cross - Contamination Control, Traceability และ Halal Certification เพื่อให้สามารถตรวจสอบสถานะของวัสดุได้ตลอดห่วงโซ่คุณค่า

11. การจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานและการออกแบบเพื่อเศรษฐกิจหมุนเวียน (End - of - Life Management and Circular Design)

ประสิทธิภาพด้านความยั่งยืนของบรรจุภัณฑ์ไม่ได้สิ้นสุดเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกนำไปใช้งาน แต่จำเป็นต้องพิจารณาการจัดการหลังการใช้งาน เช่น การนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล การทำปุ๋ยหมัก การย่อยสลายทางชีวภาพ หรือการนำกลับเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ การออกแบบบรรจุภัณฑ์ตั้งแต่ต้นจึงควรคำนึงถึง End - of - Life Management ตามหลัก Design for Circularity สำหรับบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากของเสียโรงเชือดสัตว์ปีก การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นคุณสมบัติที่มีศักยภาพ แต่จำเป็นต้องพิจารณาสถานะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ชนิดของจุลินทรีย์ และระยะเวลา หากวัสดุต้องการสถานะเฉพาะในการย่อยสลาย ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมอาจแตกต่างจากวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ในระบบจัดการขยะทั่วไป ดังนั้น

การออกแบบจึงควรเชื่อมโยงกับโครงสร้างพื้นฐานด้านการจัดการขยะในพื้นที่เป้าหมาย แนวคิด Circular Design ยังสนับสนุนการลดการใช้วัสดุเกินความจำเป็น การออกแบบให้สามารถแยกส่วนประกอบได้ง่าย และการเลือกใช้วัสดุที่ไม่สร้างสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบรีไซเคิลหรือระบบชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มกฎระเบียบด้านบรรจุภัณฑ์ของสหภาพยุโรปและแนวทางของ (Konti, A. et al., 2022) โดย PPWR กำหนดกรอบการจัดการบรรจุภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต รวมถึงการป้องกันขยะ การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล และการจัดการบรรจุภัณฑ์หลังการใช้งาน

จากการสังเคราะห์วรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า End - of - Life ไม่ควรถูกพิจารณาเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่แยกออกจากการออกแบบ แต่ควรเป็นองค์ประกอบที่กำหนดตั้งแต่ต้นทางของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น EHBP Framework ควรประเมินความสามารถในการย่อยสลาย การทำปุ๋ยหมัก การนำกลับมาใช้ประโยชน์ การรีไซเคิล และผลกระทบหลังการใช้งาน เพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถเป็นส่วนหนึ่งของ Circular Food System ได้อย่างแท้จริง

สรุป

สรุปการสังเคราะห์รวมเพื่อนำเข้าสู่ EHBP Framework จากการทบทวนวรรณกรรมทั้ง 11 ประเด็น พบว่าองค์ความรู้เดิมมีการศึกษาอย่างกว้างขวางในด้าน บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน พลาสติกชีวภาพ การเพิ่มมูลค่าของเสียจากสัตว์ปีก เศรษฐกิจหมุนเวียน สมรรถนะของวัสดุ ความปลอดภัยอาหาร LCA คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และระบบตรวจสอบย้อนกลับฮาลาล แต่การศึกษาในแต่ละด้านยังมีลักษณะค่อนข้างแยกส่วน โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระหว่าง ของเสียจากโรงเชือดสัตว์ปีก วัสดุชีวภาพ สมรรถนะบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น ช่องว่างขององค์ความรู้ไม่ได้อยู่ที่การขาดข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุชีวภาพเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการขาดกรอบบูรณาการที่สามารถเชื่อมโยงมิติเหล่านี้เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริบทของบรรจุภัณฑ์อาหารจากผลพลอยได้ของโรงเชือดสัตว์ปีกฮาลาล จากการสังเคราะห์วรรณกรรมดังกล่าว ผู้เขียนจึงเสนอเพิ่มกรอบแนวคิดในการบูรณาการองค์ประกอบสำคัญ ในการทำวิจัยในอนาคต ได้แก่ 1) Halal Raw Material and Traceability 2) Biomaterial and Technical Performance 3) Food Contact Safety 4) Circular Economy and Waste Valorization 5) Carbon and Environmental Performance และ 6) End - of - Life and Circular Design ภายใต้อำนาจหลัก Halalan Tayyiban, Circular Bioeconomy และ Sustainable Packaging โดยกรอบดังกล่าวเป็น ข้อเสนอเชิงแนวคิดของผู้เขียนจากการสังเคราะห์วรรณกรรม มิใช่ข้อค้นพบที่ยืนยันจากการทดลองของการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- Bachtar, W. et al. (2024). Halal food sustainable traceability framework for the meat processing industry. *Journal of Islamic Marketing*, 15(11), 2759-2784.
- Bente, F. & Robert, D. (2024). Enhancing circular supply chains via ecological packaging: An empirical investigation of an extended producer responsibility network. *Journal of Cleaner Production*, 468, 142948. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142948>.
- Bhat, Z. et al. (2023). Characteristics and application of animal byproduct-based films and coatings in the packaging of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 140, 104143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104143>.
- Esmaili, Y. et al. (2026). Organic wastes to next-generation bioplastics through intelligent biomanufacturing of polyhydroxyalkanoates. *npj Materials Sustainability*, 4, 22. <https://doi.org/10.1038/s44296-026-00104-z>.
- European Bioplastics. (2025). BIOPLASTICS MARKET DEVELOPMENT UPDATE 2025. Retrieved September



- 15, 2026, from <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2025/>
- Gunawan, G. et al. (2024). Keratin - based bioplastics extracted from chicken feathers: Effect of chitosan concentration on the structural, chemical bonding, and mechanical properties of bioplastics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 265, 130722. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130722>.
- Hatta, F. et al. (2023). Recent advances in halal bioactive materials for intelligent food packaging indicator. *Foods*, 12(12), 2387. <https://doi.org/10.3390/foods12122387>.
- Konti, A. et al. (2022). The Determinants of the Growth of the European Bioplastics Sector-A Fuzzy Cognitive Maps Approach. *Sustainability*, 14(10), 6035; <https://doi.org/10.3390/su14106035>.
- Li, R. et al. (2026). Per-and polyfluoroalkyl substances in food contact materials: Migration, health risks and sustainable alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 172, 105667. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2026.105667><https://doi.org/10.3390/polym13152561>.
- Ossai, I. et al. (2022). Valorisation of keratinous wastes: A sustainable approach towards a circular economy. *Waste Management*, 151, 81 - 104. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.07.021>.
- Shavandi, A. et al. (2023). Valorization of poultry feather keratin into biodegradable biomaterials. *Waste Management*, 167, 55 - 63. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.018>.
- Surya, S. et al. (2023). Edible packaging: A technological update for the sustainable future of the food industry. *Applied Sciences*, 13(14), 8234. <https://doi.org/10.3390/app13148234>.
- Tardy, B. et al. (2023). Advancing bio-based materials for sustainable solutions to food packaging. *Nature Sustainability*, 6(4), 360-367.
- Teixeira, S. et al. (2025). Sustainable and biodegradable polymer packaging: Perspectives, challenges, and opportunities. *Food Chemistry*, 470, 142652. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814624043024>.
- Zhang, Y. et al. (2023). Effects of physical crosslinking methods on digestibility in vitro and safety of edible packaging: A primary study on collagen films. *Food Materials Research*, 3, 4. <https://doi.org/10.48130/FMR-2023-0004>.