



การพัฒนาเศรษฐกิจฐานชีวภาพ: การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของข้าว อ้อย และ  
ปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

## Development of the Bio-Based Economy: Conversion of Rice, Sugar Cane and Oil Palm Residues to Value-Added Products

อาทิตย์ อัสวสุชี\* นิภาวรรณ เป้งกลาง<sup>1</sup> พัสตราภรณ์ กิจศิริ<sup>1</sup> รัชดาวรรณ ตามกลาง<sup>1</sup> และฐิติพร วัฒนกุล<sup>2</sup>

Received: January, 2018; Accepted: February, 2018

### บทคัดย่อ

ประเทศไทย 4.0 เป็นโมเดลทางเศรษฐกิจที่มุ่งเน้นแนวคิดเรื่องการขับเคลื่อนที่คนส่วนใหญ่มีส่วนร่วมอย่างเท่าเทียมและทั่วถึง การขับเคลื่อนผ่านการสร้างและยกระดับผลิตภาพ และการขับเคลื่อนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ภายใต้โมเดลนี้เศรษฐกิจฐานชีวภาพสามารถสร้างตลาดใหม่สำหรับผู้ผลิตทางการเกษตร เพิ่มนวัตกรรมในการผลิตในประเทศ และกระตุ้นการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืน บทความนี้จะเน้นถึงการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ได้แก่ ข้าว อ้อย ปาล์มน้ำมัน) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม (เช่น สารเติมแต่งในอาหาร เครื่องสำอาง พลังงาน สารเคมี วัสดุ และยา) การเปลี่ยนแปลงหลักเกี่ยวกับการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยกระบวนการทางความร้อน ชีวเคมี และเคมี บทความนี้ไม่เพียงแต่แสดงศักยภาพในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางในการทำให้สามารถดึงประเทศไทยออกจากกับดักรายได้ปานกลาง และพัฒนาเป็นประเทศที่มีรายได้สูง

คำสำคัญ : เศรษฐกิจฐานชีวภาพ; วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร; ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม; ประเทศไทย 4.0

<sup>1</sup> Innovative Materials for Energy and Environment Research Group, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

<sup>2</sup> Department of Science Service, Ministry of Science and Technology, 75/7 Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok 10400

\* Corresponding Author E - mail Address: ausavasukhi@gmail.com

## Abstract

Thailand 4.0 is an economic model that focuses on the concept of inclusive, productive and green growth engine to enhance the country's competitiveness and economic development. Under the model, the bio-based economy can generate new markets for agricultural producers, boost innovation in domestic manufacturing, and stimulate sustainable economic growth. This article focuses on the conversion of agricultural residues (i.e., rice, sugar cane and oil palm residues) into value-added products (e.g., food additive, cosmetic, energy, chemicals, materials and pharmaceutical products). The key conversion involved in the processing of agricultural residues are thermochemical, biochemical and chemical process. This paper would provide not only a potential to develop a technology for agricultural residues conversion, but also a guide for pulling Thailand out of the middle-income trap and developing it as a high-income country.

**Keywords:** Bio-Based Economy; Agricultural Residues; Value Added Products; Thailand 4.0

## บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในยุคแรกเน้นการพัฒนาประเทศด้วยการส่งเสริมการพัฒนาทางด้านการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางด้านทรัพยากรธรรมชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพ การพัฒนาในลำดับต่อมาได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต มีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมเบา และอุตสาหกรรมหนัก เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิต และเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ ซึ่งถ้าหากไม่มีการพัฒนาต่อยอดด้วยเทคโนโลยี และนวัตกรรมใหม่ อุตสาหกรรมกลุ่มนี้จะถึงจุดอิ่มตัว และมีความสามารถในการเติบโตที่ต่ำ (First S-Curve) แม้ว่าประเทศไทยจะมีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการพัฒนาดังกล่าวยังไม่สามารถทำให้ประเทศไทยก้าวข้ามผ่านกับดักประเทศรายได้ปานกลาง (Middle Income Trap) กับดักความไม่เท่าเทียม (Inequality Trap) และกับดักความไม่สมดุลของการพัฒนา (Imbalance Trap) ปัจจุบันรัฐบาลจึงได้มีนโยบายประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0) [1] ซึ่งเป็นเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม แนวทางหนึ่งของการพัฒนาดังกล่าวทำให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curve) ได้แก่ อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ (Robotics) อุตสาหกรรมการบิน และโลจิสติกส์ (Aviation and Logistics) อุตสาหกรรมดิจิทัล (Digital) อุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร (Medical Hub) และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ (Biofuels and Biochemical) [2] ซึ่งในบทความนี้จะเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจฐานชีวภาพ (Bio-Based Economy) เพื่อเป็นเครื่องมือขับเคลื่อนในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยใช้การพัฒนาที่เป็นฐานเดิมจากการพัฒนาทางด้านการเกษตร ทั้งนี้การพัฒนา

เศรษฐกิจฐานชีวภาพจะมุ่งเน้นการส่งเสริมการใช้ผลผลิตทางการเกษตรในด้านใหม่ ๆ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม เน้นการเสริมสร้างประสิทธิภาพทางการผลิตและศักยภาพของภาคเกษตรกรรม และการก่อตั้ง อุตสาหกรรมใหม่ ๆ ดังนั้นในบทความนี้จะเน้นการนำเสนองานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจ ฐานชีวภาพ โดยนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ประเทศไทยมี ศักยภาพในการผลิต ได้แก่ ข้าว อ้อย และปาล์มน้ำมันให้เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงมากขึ้น (Value-Added Products) โดยมุ่งหวังว่าบทความนี้จะเป็แนวทางให้เกิดการสร้างองค์ความรู้ทางด้าน วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย เพื่อให้เกิด การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเพื่อแก้ไขปัญหาทางด้านความเหลื่อมล้ำในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรไทยผ่านการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจฐานชีวภาพ

### ศักยภาพของข้าว อ้อย และปาล์มน้ำมันในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานชีวภาพ

เกษตรกรรมยังคงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมของประเทศ เนื่องจากเป็น พื้นฐานทางเศรษฐกิจที่สำคัญในการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรซึ่งเป็นคนส่วนใหญ่ของประเทศ โดยจาก ข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559 [3] พบว่าพืชเศรษฐกิจที่ประเทศไทยมีศักยภาพ ในการผลิตได้แก่ อ้อย ข้าว และปาล์มน้ำมัน โดยมีผลผลิตต่อปีดังแสดงในตารางที่ 1

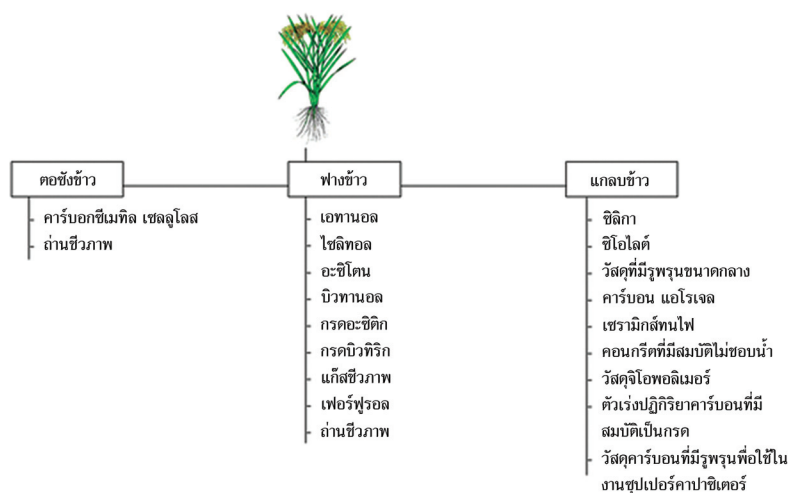
ตารางที่ 1 ผลผลิตของข้าว อ้อย และปาล์มน้ำมัน [3]

| ปี     | ผลผลิต (1,000 ตัน) |         |             |
|--------|--------------------|---------|-------------|
|        | ข้าว               | อ้อย    | ปาล์มน้ำมัน |
| 2555   | 38,102             | 98,400  | 11,312      |
| 2556   | 36,762             | 100,096 | 12,435      |
| 2557   | 31,617             | 103,697 | 12,473      |
| 2558   | 27,421             | 106,333 | 12,047      |
| 2559   | 31,944             | 94,064  | 10,997      |
| เฉลี่ย | 33,169             | 100,518 | 11,853      |

ผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวส่วนหนึ่งส่งออกไปยังต่างประเทศสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับ ประเทศไทยปีละหลายพันล้านบาท อย่างไรก็ตามในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจะมีวัสดุเหลือใช้ เกิดขึ้นจำนวนหนึ่งด้วย กระบวนการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น สามารถทำได้หลายหลากวิธี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางความร้อน ชีวเคมี และเคมี เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เช่น กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) การหมัก การสกัด การสังเคราะห์ และการดัดแปรสมบัติของวัสดุของสารตั้งต้น เพื่อผลิตเป็นพลังงานทางเลือก สารเคมี สารเคมีแต่ง ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวดูดซับ

## การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

กระบวนการแปรรูปข้าวเพื่อการค่านั้น จะได้ส่วนเหลือใช้ ได้แก่ คอซึ่งข้าว ฟางข้าว และแกลบข้าวออกมา (รูปที่ 1) จากรายงานการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน [4] พบว่า ในแต่ละปีมีปริมาณคอซึ่งข้าว และฟางข้าวที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวปีละ 50 - 60 ล้านตัน คอซึ่งข้าวและฟางข้าวนี้ถือเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าต่ำและไม่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ต่อมากนัก คอซึ่งข้าวมักถูกกำจัดโดยการเผา ซึ่งการเผาทั้งนั้นจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมถึงมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังอาจกำจัดคอซึ่งข้าวโดยการไถกลบลงไปดินเพื่อให้เกิดการย่อยสลายแล้วกลายเป็น แหล่งของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืช หรือนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ ส่วนฟางข้าวนิยมนำมาแปรรูป โดยการอัดเป็นก้อน เพื่อทำเป็นอาหารสัตว์ หรือหมักเป็นปุ๋ย การแปรรูปโดยวิธีนี้ ไม่ได้เป็นการเพิ่มมูลค่า แก่ของเหลือใช้ดังกล่าวมากนัก จากการวิจัยองค์ประกอบของคอซึ่งข้าว และฟางข้าวพบว่า มีส่วนประกอบ ของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นส่วนประกอบ [5] หากนำมาปรับสภาพด้วยสารเคมีและ/หรือ วิธีทางชีวภาพจะสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นสารเคมีและพลังงานทดแทน



รูปที่ 1 การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้คอซึ่งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

จากการศึกษางานวิจัยพบว่ามีการนำคอซึ่งข้าว (Rice Stubble) มาเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose) [6] โดยนำตัวอย่างคอซึ่งที่ผ่านการล้าง และปรับสภาพด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) มาทำให้บวม ด้วยการแช่ในสารละลายผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับไอโซโพรพานอล (Isopropanol) แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic Acid) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 นาที และผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จะถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตฟิล์มไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer Film) โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์มจากการทดลองพบว่าสามารถใช้คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลสที่ผลิตจากคอซึ่งข้าวทดแทนคาร์บอกซีเมทิล

เซลลูโลสเกรดการค้าได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ฟิล์มไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล มากไปกว่านั้นยังสามารถนำต่อซึ่งข้าวมาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ (Biochar) [7] โดยการเผาในถังขนาด 200 ลิตร ที่ถูกออกแบบให้ต่อซึ่งข้าวเกิดการสลายตัวด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือใช้น้อยมากที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส และสามารถนำถ่านชีวภาพที่เตรียมได้นี้มาใช้เป็นวัสดุในการอุ้มน้ำ

#### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ฟางข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ส่วนฟางข้าว (Rice Straw) นิยมนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าโดยผ่านกระบวนการหมักให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทานอล และไซลิทอล [8] โดยจะนำฟางข้าวมาหั่น ล้างทำความสะอาด และทำให้แห้ง จากนั้นจะนำมาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลส และกำจัดลิกนิน หลังจากปรับสภาพด้วยกรดจะนำมามันเหวี่ยง กากที่ได้จะถูกนำไปล้าง อบ และบด ส่วนของเหลวจะถูกนำไประเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้น และนำมาผ่านกระบวนการดีทอกซิฟิเคชัน (Detoxification) ไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis) และกระบวนการหมักอย่างต่อเนื่อง (Continuous Co-Fermentation) โดยในขั้นตอนการหมักนั้น *S. cerevisiae* NCIM 3090 จะให้เอทานอลความเข้มข้นสูงที่สุดที่ 66.4 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ *C. tropicalis* NCIM 3119 จะให้ไซลิทอลความเข้มข้นสูงที่สุดที่ 9.9 กรัมต่อลิตร สำหรับในกรณีของการผลิตอะซิโตน บิวทานอล เอทานอล กรดอะซิติก และกรดบิวทิริก [9] จะนำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (Organosolv Pretreatment) ก่อนที่จะนำมาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ และหมักโดยใช้ *Clostridium acetobutylicum* ซึ่งการนำฟางข้าวที่ปรับสภาพที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้สารป้อนของแข็งจำนวน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลูโคสจำนวน 46.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อผ่านการหมักจะให้บิวทานอล 80.3 อะซิโตน 21.1 เอทานอล 22.5 กรดอะซิติก 18.6 และกรดบิวทิริก 19.3 กรัมต่อกิโลกรัมของฟางข้าว มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนฟางข้าวเป็นแก๊สชีวภาพ [10] โดยใช้ถังหมักชีวภาพ (Bioreactor) ขนาด 300 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 323 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของฟางข้าวแห้ง มากไปกว่านั้นยังสามารถนำฟางข้าวมาเปลี่ยนเป็นเพนโตส (Pentose) และนำมาทำปฏิกิริยาไซโคลเดไฮเดรชัน (Cyclodehydration) เป็นเฟอร์ฟูรอล (Furfural) [11] โดยใช้กรดซัลฟิวริกเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยให้ปริมาณเฟอร์ฟูรอล 71 กรัมต่อกิโลกรัมของฟางข้าวแห้ง นอกจากนี้ยังมีการศึกษานำฟางข้าวไปใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ (Biochar) [7] โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเช่นเดียวกับในกรณีของการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้ต่อซึ่งข้าว

#### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้แกลบข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

แกลบข้าว (Rice Husk) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้อีกประเภทหนึ่งซึ่งได้จากกระบวนการสีข้าว มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ และมีคาร์บอนในช่วง 10 - 40 เปอร์เซ็นต์ และมีแร่ธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย [12] โดยปกติแกลบข้าวจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้แกลบข้าวยังถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงาน [13] การพัฒนาแกลบข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสามารถทำได้โดยการศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง [14] โดยใช้กระบวนการปรับสภาพทางเคมี เช่น การปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และของเหลวไอออนิก (Ionic Liquid) ซึ่งจะทำได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.6 และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ มากไปกว่านั้นในกรณีที่มีการปรับสภาพด้วยของเหลวไอออนิกสามารถเพิ่มพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนเป็น 1.9 และ 2.4 เท่า ตามลำดับ รวมถึงยังสามารถนำแกลบข้าวมาสกัดให้เป็นซิลิกาเพื่อใช้เตรียมซีโอไซด์ [15] - [16] และวัสดุที่มีรูพรุนขนาดกลาง (Mesoporous Material) [17] - [19] และสามารถนำแกลบข้าวไปเตรียมเป็นคาร์บอน

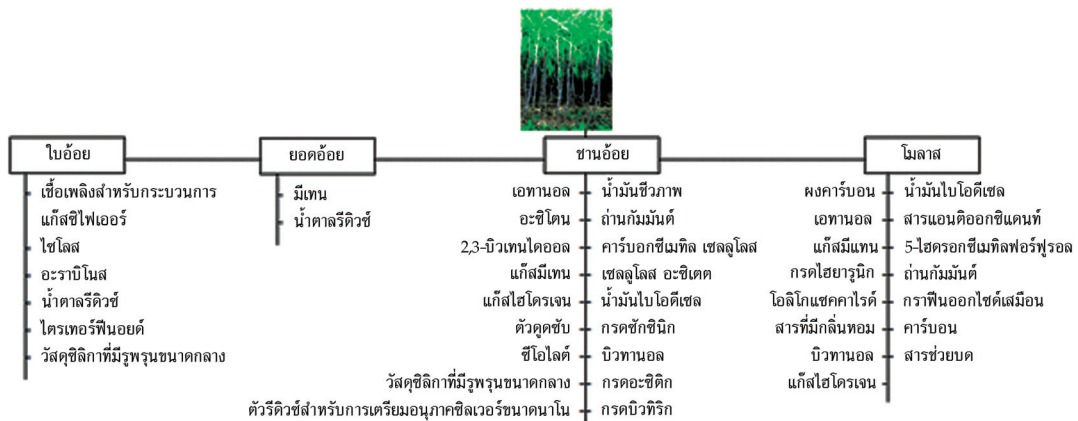


แอโรเจลที่มีรูพรุนสูง (Highly Porous Carbon Aerogel) [20] โดยนำแคลบข้าวไปทำการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำเถ้าแคลบข้าวที่ได้ไปสกัดด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำมาสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์แอโรเจลโดยใช้วิธีการพอลิเมอร์เซชันแบบโซล-เจล (Sol-Gel Polymerization) ในไอของตัวทำละลายที่ต้มตัว จากนั้นพอลิเมอร์คอมโพสิตแอโรเจลจะถูกเปลี่ยน เป็นคาร์บอน/ซิลิกา และคาร์บอน/ซิลิกา/ซิลิกอนคาร์ไบด์โดยการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และคาร์บอเทอร์มัลรีดักชัน (Carbothermal Reduction) ที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รวมถึงสามารถนำแคลบข้าวมาใช้อุตสาหกรรมเซรามิกส์ทนไฟ (Refractory Ceramic) [21] โดยนำ แคลบข้าวมาเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 650 องศาเซลเซียส จนได้ซิลิกา และนำซิลิกาที่เตรียมได้นี้มาใช้ทดแทน แร่กาอลิน (Kaolin) รวมถึงการใช้เถ้าแคลบข้าวมาเคลือบบนผิวของคอนกรีตเพื่อเพิ่มสมบัติไม่ชอบน้ำ (Superhydrophobic) [22] โดยนำเถ้าแคลบมาทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮเลน (1H,1H,2H,2H-perfluorodecyl triethoxy silane) และนำมาฉีดเคลือบที่ผิวคอนกรีต คอนกรีตที่เตรียมได้จะมีมุมสัมผัส (Contact Angle) 152.3 องศา ทำให้สามารถป้องกันผิวของคอนกรีตไม่ให้ถูกกัดกร่อนโดยน้ำ ทำให้สามารถ ยืดอายุคอนกรีตได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้เถ้าแคลบร่วมกับกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสีย (Water Treatment Sludge) สำหรับใช้เตรียมวัสดุซีโอพอลิเมอร์ [23] โดยเถ้าแคลบจะมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา 89.51 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจะมีองค์ประกอบเป็นซิลิกา และอลูมินาในปริมาณ 34.92 และ 34.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสารทั้งสองนี้จะช่วยปรับอัตราส่วนของซิลิกาต่ออลูมินาให้เหมาะสมเพื่อใช้ทดแทน เมตาเกอลิน (Metakaolin) ในการเตรียมวัสดุซีโอพอลิเมอร์ สำหรับกรณีของการเตรียมเป็นวัสดุคาร์บอน สามารถทำได้โดยนำแคลบข้าวมาผสมกับฟีนอลและผสมกับกรดซัลฟิวริก จากนั้นนำมาให้ความร้อน และ ทำคาร์บอนเนชัน (Carbonation) ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา คาร์บอนที่มีสมบัติเป็นกรดสำหรับการเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซล [24] หรือการนำแคลบข้าวมาไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และนำมาสกัดซิลิกาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเตรียมเป็นวัสดุคาร์บอน ที่มีรูพรุนเพื่อใช้ในการงานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (Supercapacitor) [25]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของข้าว ได้แก่ ตอซังข้าว พบว่า สามารถนำมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม คือ คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส และถ่านชีวภาพ ในขณะที่ การเปลี่ยนฟางข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม สามารถทำได้โดยการผลิตเป็นเอทานอล ไชลิทอล อะซิโตน บิวทานอล กรดอะซิติก กรดบิวทิริก แก๊สชีวภาพ เพอร์ฟอรอล และถ่านชีวภาพ มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษา การเปลี่ยนแคลบข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาผลิตเป็นซิลิกา ซีโอไลต์ วัสดุที่มีรูพรุน ขนาดกลาง คาร์บอน แอโรเจล เซรามิกส์ทนไฟ คอนกรีตที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ วัสดุซีโอพอลิเมอร์ ตัวเร่ง ปฏิกิริยาคาร์บอนที่มีสมบัติเป็นกรด และวัสดุคาร์บอนที่มีรูพรุนเพื่อใช้ในการงานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (รูปที่ 1)

#### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจหลักสำคัญของประเทศไทย ซึ่งรัฐบาลปัจจุบันให้การสนับสนุนเพื่อพัฒนา อุตสาหกรรม 4.0 จากการศึกษาพบว่าในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลให้วัสดุเหลือใช้ เป็น ใบอ้อย ยอดอ้อย ชานอ้อย และโมลาส (Molasses) หรือกากน้ำตาล (รูปที่ 2) จึงมีความพยายามที่จะนำวัสดุเหลือใช้มาสร้าง มูลค่าเพิ่มให้แก่อุตสาหกรรม



รูปที่ 2 การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ใบอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ตัวอย่างการนำใบอ้อย (Sugarcane Leaf) มาสร้างมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) [26] ซึ่งในการศึกษานี้นอกจากจะใช้ใบอ้อยแล้วยังสามารถใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนใบอ้อยเป็นน้ำตาล [27] โดยใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกโดยดำเนินการในภาชนะสังเคราะห์ความดันสูง (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไซโลส 17 กรัมต่อลิตร กลูโคส 3 กรัมต่อลิตร และอะราบิโนส (Arabinose) 2 กรัมต่อลิตรจากใบอ้อยจำนวน 100 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนใบอ้อยเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) [28] โดยการนำใบอ้อยมาปรับสภาพด้วยเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และไอโรน(III) คลอไรด์ภายใต้การกระตุ้นด้วยไมโครเวฟ ซึ่งการใช้เกลือไอโรน(III) คลอไรด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ การกระตุ้นด้วยไมโครเวฟที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 3.5 นาที เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์จะให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดที่ 0.406 กรัมต่อกรัมของใบอ้อย หรืออาจนำมาผลิตเป็นไลโปฟิลิกโมเลกุล (Lipophilic Molecule) หรือแว็กซ์ [29] โดยการสกัดใบอ้อยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid) โดยสารที่สกัดได้จะมีปริมาณอัลดีไฮด์ และ *n*-พอลิโคซานอล (*n*-Policosanol) ต่ำ แต่มีปริมาณไตรเทอร์พีนอยด์ (Triterpenoids) สูงถึง 169 มิลลิกรัมต่อกรัมของแว็กซ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์ได้ ในขณะที่การนำเปลือกอ้อยมาสกัดด้วยวิธีการนี้จะให้สารประกอบเป็นอัลดีไฮด์ และ *n*-พอลิโคซานอลในปริมาณสูง และการนำชานอ้อยมาสกัดด้วยวิธีการเดียวกันจะให้สารประกอบเอสเทอร์ (Ester) ในปริมาณ 37 มิลลิกรัมต่อกรัมของแว็กซ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น พลาสติกชีวเซอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำใบอ้อยมาใช้เตรียมเป็นวัสดุซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดกลาง [30] โดยการนำใบอ้อยไปเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เมื่อนำเข้ามาวิเคราะห์พบว่าปริมาณซิลิกา 80.14 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมออกไซด์ 6.06 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมออกไซด์ 5.02 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ถ้าใบอ้อยที่เตรียมได้จะถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดกลาง และนำมาปรับปรุงให้มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นเบสที่พื้นผิวเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับนิกเกิล(II)

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ยอดอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ในกรณีของการศึกษาการนำยอดอ้อย (Sugarcane Top) มาสร้างมูลค่าเพิ่มทำได้โดยการศึกษากระบวนการผลิตแก๊สมีเทนโดยให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มกระบวนการไบโอไฮเทน (Biohythane) [31] ในกระบวนการผลิต โดยจะออกแบบให้เป็นถังปฏิกรณ์คู่ ถังที่ 1 จะทำการเปลี่ยนยอดอ้อยที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรด (Acidogenesis) โดยจะให้แก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ กากที่เหลือจะถูกล้างผ่านมายังถังที่ 2 เพื่อผลิตเป็นมีเทน (Methanogenesis) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งการทำงานร่วมกันของกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะสามารถเพิ่มปริมาณแก๊สที่ผลิตได้ถึง 37.7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตน้ำตาลเพื่อใช้สำหรับการเตรียมเอทานอล [32] โดยการผลิตน้ำตาลทำได้โดยการปรับสภาพยอดอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ภายใต้การกระตุ้นด้วยไมโครเวฟ และเมื่อนำมาย่อยสลายด้วยเอนไซม์ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ 0.376 กรัมต่อกรัม

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ขานอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ปัจจุบันขานอ้อย (Sugarcane Bagasse) ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า และการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในโรงงานน้ำตาล การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ขานอ้อยวิธีการนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขานอ้อยไม่มากนัก มีงานวิจัยที่น่าสนใจมากมายศึกษาการเปลี่ยนขานอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น การผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-Oil) [33] จากการนำขานอ้อยมาปรับสภาพด้วยกรด หรือเบส หรือทั้งกรดและเบส ก่อนที่จะนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 - 450 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของฮีเลียม หรือออกซิเจนผสมฮีเลียม โดยการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียส และนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของฮีเลียม ให้น้ำมันชีวภาพความเข้มข้น 31 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้ขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมาให้ความร้อนเพียงขั้นตอนเดียวซึ่งให้น้ำมันชีวภาพความเข้มข้น 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก อีกวิธีการหนึ่งสำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพคือการนำขานอ้อยมาทำการไพโรไลซิส และกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ [34] โดยให้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่าน (Char) น้ำมันชีวภาพ และแก๊สในปริมาณ 25.90 41.11 และ 32.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า 900 ตารางเมตรต่อกรัม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำขานอ้อยมาใช้ในการผลิตคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส [35] โดยนำขานอ้อยมาผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion Process) ที่อุณหภูมิ 187.15 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อขานอ้อยเท่ากับ 39 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก เซลลูโลสที่เตรียมได้จะถูกนำมาทำให้บริสุทธิ์ และนำมาทำปฏิกิริยากับกรดโมโนคลอโรอะซิติกที่อุณหภูมิ 57.85 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 4.01 ชั่วโมง ได้ออสการแทนที่ 1.085 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำขานอ้อยมาใช้เตรียมเซลลูโลส อะซิเตด (Cellulose Acetate; CA) [36] โดยการปรับสภาพขานอ้อยด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการทำคีเลตติง (Chelating) ด้วยเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก (Ethylenediaminetetraacetic Acid; EDTA) และฟอก (Bleaching) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อให้ได้เซลลูโลส จากนั้นทำปฏิกิริยาอะเซทิเลชัน (Acetylation) ด้วยอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic Anhydride) โดยมีออสการแทนที่เท่ากับ 2.52 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นอีกหนึ่งความพยายามที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับขานอ้อย [37] โดยนำผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิสขานอ้อยมาผ่านกระบวนการหมักโดยใช้ยีสต์ *Trichosporon* sp., (RW) ซึ่งสามารถ



ผลิตได้ โดยมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก รวมถึงกรดปาล์มมิก ลิโนเลอิก และกรดสเตียริก ซึ่งน้ำมันที่ผลิตได้มีค่าซีเทนในช่วง 52.39 - 59.57 ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ อีกความพยายามหนึ่งของการเปลี่ยนขานอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การเปลี่ยนขานอ้อยเป็นกรดซัคซินิก (Succinic Acid) ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมี [38] โดยนำขานอ้อยมาปรับสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำมาผ่านการไฮโดรไลซิสโดยใช้เอนไซม์หลายชนิด จะได้น้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งประกอบด้วย กลูโคส ไสโลส โดยใช้กลุ่มเอนไซม์ที่มีอัตราส่วนเหมาะสม ได้แก่ เซลลูเลส (Cellulase) ไกลาเนส (Xylanase) เบต้า-กลูคาเนส ( $\beta$ -Glucanase) และเพกทิเนส (Pectinase) ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การไฮโดรไลซิสของขานอ้อยที่ได้รับการปรับสภาพแล้วสูงถึง 88.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้แบคทีเรียชนิด *Succinogenes* CCTCC M2012036 สำหรับการเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์เป็นกรดซัคซินิกซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเท่ากับ 80.5 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาการเตรียมบิวทานอลจากการหมักขานอ้อยเป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่น่าสนใจ [39] โดยนอกจากจะได้บิวทานอลเป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้วยังได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอะซิติก กรดบิวทิริก เอทานอล และอะซิโตนด้วย อีกรงานวิจัยหนึ่งที่มีการศึกษาการเตรียม 2,3-บิวเทนไดออล (2,3-Butanediol) [40] จากขานอ้อยที่ถูกปรับสภาพด้วยสารละลายซึ่งประกอบด้วย โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลไฟด์ และนำมาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้สำหรับเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการผลิต 2,3-บิวเทนไดออลโดยใช้แบคทีเรียชนิด *Enterobacter aerogenes* มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษากระบวนการหมักเพื่อเปลี่ยนขานอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม โดยการนำขานอ้อยมาผ่านกระบวนการโอโซนชัน (Ozonation) [41] เพื่อผลิตส่วนของเหลว (Liquid Fraction) ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตแก๊สมีเทน และไฮโดรเจน ด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และส่วนของแข็ง (Solid Fraction) จะนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์สำหรับการผลิตเอทานอล มากไปกว่านั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการนำขานอ้อยมาใช้เป็นตัวดูดซับแมงกานีส(II) ไอออน [42] โดยสามารถเตรียมขานอ้อยเพื่อเป็นตัวดูดซับจากการนำขานอ้อยมาต้มในน้ำเดือด และล้างหลาย ๆ ครั้งเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และสารที่สามารถละลายออกมาได้เช่นสารให้สี จากนั้นนำมาอบ และปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำมาล้าง และอบจะได้ตัวดูดซับที่มีสมบัติเหมาะสม นอกจากนี้ยังอาจเตรียมตัวดูดซับโดยการนำขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำ และเตรียมตัวดูดซับได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง [43] ตัวดูดซับที่เตรียมได้ถูกนำไปใช้ในการดูดซับกลีเซอรอลเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังมีการใช้ซิลิกาที่เป็นส่วนประกอบในขานอ้อยสำหรับสังเคราะห์ซีโอไลต์ [44] - [45] และวัสดุซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดกลาง [46] ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตอ้อยมาใช้อีกรูปแบบหนึ่งคือการนำขานอ้อยไปใช้เป็นสารช่วยสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน (Silver Nanoparticles) [47] โดยขานอ้อยจะถูกสกัดด้วยน้ำร้อน และสารผสมระหว่างไทลูน/เอทานอล จากนั้นนำมาสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารสกัดที่ได้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing Agents) และสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing Agents) เมื่อได้สารสกัดแล้ว จะนำสารละลายไดแอมมินซิลเวอร์(I) ( $[Ag(NH_3)_2]^+$ ) มาเติมลงในสารสกัดจากขานอ้อย และนำมากระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยอนุภาคของซิลเวอร์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 18 - 28 นาโนเมตรมีลักษณะค่อนข้างกลม และถูกห่อหุ้มด้วยสารสกัดจากขานอ้อย (Bagasse Extract) และอนุภาคซิลเวอร์นี้จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ซิสเทอีน (Cystein) ในตัวอย่างซีรัม (Serum)

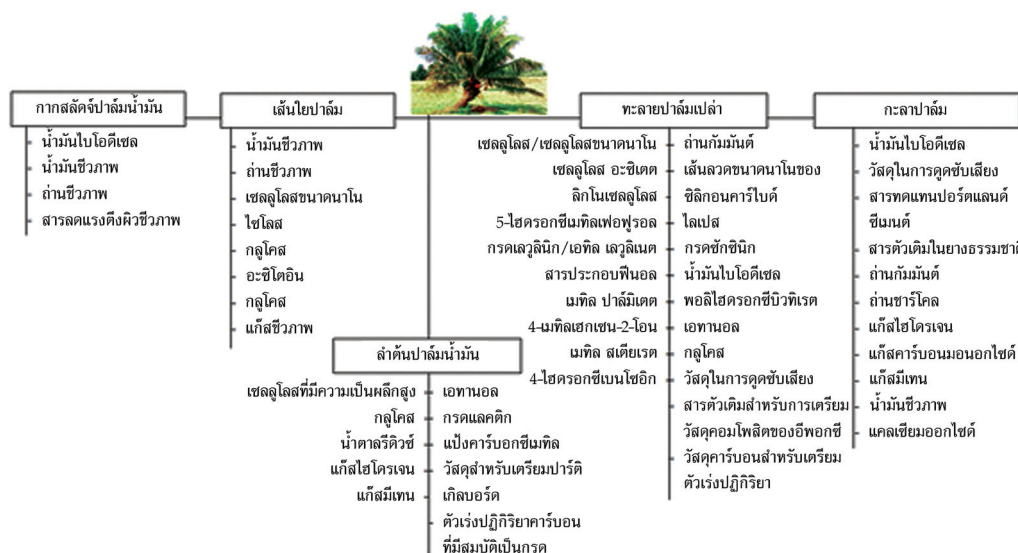
### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้โมลาสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนโมลาส (Molasses) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การนำโมลาสมาผ่านกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล [48] - [49] เช่นเดียวกับในกรณีของกระบวนการเปลี่ยนสารชีวภาพที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ รวมถึงสามารถนำโมลาสมาผ่านกระบวนการหมักโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบ 2 ขั้นตอน (Two-Stage Fixed-Bed Anaerobic Reactor) ในการผลิตแก๊สมีเทน [50] หรือสามารถนำโมลาส และ/หรือน้ำหมักข้าวโพด (Corn Steep Liquor) มาผ่านกระบวนการหมักโดยใช้ *Streptococcus zooepidemicus* ในการผลิตกรดไฮยาลูโรนิก (Hyaluronic acid) [51] ซึ่งเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง น้ำตาเทียม และยารักษาอาการข้อเข่าเสื่อม หรือนำโมลาสมาผ่านกระบวนการหมักโดยใช้ *Leuconostoc mesenteroides* MTCC 10508 ในการผลิตโอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) [52] นอกจากนี้ยังสามารถนำโมลาส และกากน้ำตาลจากหัวบีท (Sugar Beet Molasses) มาหมักโดยใช้ *Kluyveromyces marxianus* เพื่อใช้สำหรับการผลิตสารที่มีกลิ่นหอม (Aroma Compounds) [53] การนำโมลาสมาหมักโดยใช้ *Clostridium beijerinckii* TISTR 1461 เพื่อใช้สำหรับการผลิตบิวทานอล [54] รวมถึงการนำโมลาสมาหมักโดยใช้ *Bacillus coagulans* เพื่อใช้สำหรับการผลิตแก๊สไฮโดรเจน [55] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยตรงของชีวมวลแห้งของ *Cunninghamella echinulate* โดยใช้โมลาสเป็นสารตั้งต้นของการหมักในขั้นตอนแรก ส่วนในขั้นตอนที่สองกากของ *Cunninghamella echinulate* จะถูกใช้ในการหมักเพื่อผลิตไฮโดรเจนโดย *Clostridium acetobutylicum* ATCC 824 และในขั้นตอนที่สามกากของ *Clostridium* ซึ่งมีกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายจะถูกใช้ในการผลิตมีเทน [56] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการนำโมลาสมาสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะวิกฤตยิ่งยวด ร่วมกับกระบวนการกลั่นเพื่อเตรียมสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) ในกลุ่มอนุพันธ์ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid Derivatives) [57] มากไปกว่านั้นโมลาสยังถูกนำมาผ่านการเร่งปฏิกิริยาดัวยระบบการเร่งแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการใช้กรดลิวอิส (Lewis Acid) ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) และอลูมิเนียมคลอไรด์ ( $AlCl_3$ ) และการใช้กรดเบรินสเต็ด (Bronsted Acid) ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) สำหรับการผลิต 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรอล (5-Hydroxymethylfurfural; HMF) [58] ในกรณีของการนำโมลาสมาใช้เตรียมวัสดุคาร์บอน มีงานวิจัยที่ศึกษาการนำโมลาสมาใช้เตรียมถ่านกัมมันต์โดยการนำมาผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันและกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะมีรูพรุนขนาดเล็กมีพื้นที่ผิว 2,202 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการดูดซับแก๊สมีเทนที่อุณหภูมิระหว่าง 20 - 100 องศาเซลเซียส [59] นอกจากนี้ยังมีความพยายามเตรียมวัสดุเสมือนคอมโพสิตขนาดนาโนของพาลีโกลไคต์-กราฟีน (Palygorskite-Graphene Like Nanocomposite) ซึ่งเตรียมจากโมลาส และใช้เคลย์พาลีโกลไคต์ (Palygorskite Clay) เป็นแม่แบบ (Template) [60] วัสดุคาร์บอนที่เตรียมได้นี้จะถูกนำมาปรับสภาพด้วยกรดเพื่อกำจัดคาร์บอนที่ไม่เป็นระเบียบ (Disorder Carbon) ที่เกิดขึ้นภายในเคลย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า กราฟีนออกไซด์เสมือนคาร์บอน (Graphene Oxide-Like Carbon) ซึ่งจะถูกนำมาใช้เป็นขั้วแอโนดสำหรับการผลิตลิเทียมแบตเตอรี่ มากไปกว่านั้นโมลาสยังถูกนำไปใช้เป็นสารช่วยบด (Grinding Aid) สำหรับผลิตปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ [61] รวมถึงการนำโมลาสไปใช้ในการผลิตผงคาร์บอน [62] โดยการนำมาผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำสารที่ได้มาบดเพื่อนำไปใช้เป็นสารเสริมแรง (Reinforcing Filler) ในยาง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของอ้อย ได้แก่ ใบอ้อย พบว่าสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม คือ เชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ไฮโดรเจน อะราบีโนส น้ำตาลรีดิวิซ์ ไตรเทอร์ฟีนอยด์ และวัสดุซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดกลาง ในขณะที่การศึกษางานวิจัยสำหรับการเปลี่ยนยอดอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม คือ การศึกษาการเปลี่ยนเป็นมีเทน และน้ำตาลรีดิวิซ์ ส่วนในกรณีของการศึกษางานวิจัยสำหรับการเปลี่ยนชานอ้อย ได้แก่ การศึกษาการเปลี่ยนเป็นน้ำมันชีวภาพ ถ่านกัมมันต์ คาร์บอนซีเมตล เซลลูโลส เซลลูโลส อะซิเตด น้ำมันไบโอดีเซล กรดซักซินิก บิวทานอล กรดอะซิติก กรดบิวทริก เอทานอล อะซิโตน 2,3-บิวเทนไดออล แก๊สมีเทน แก๊สไฮโดรเจน ตัวดูดซับ ซีโอไลต์ วัสดุซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดกลาง และตัวรีดิวิซ์สำหรับการเตรียมอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนโมลาสเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล สารแอนติออกซิแดนท์ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอรูลิก ถ่านกัมมันต์ กราฟีนออกไซด์เสมือนคาร์บอน สารช่วยบด ผงคาร์บอน เอทานอล แก๊สมีเทน กรดไฮยาลูโรนิก โอลิโกแซคคาไรด์ สารที่มีกลิ่นหอม บิวทานอล และแก๊สไฮโดรเจน

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันคอปั่นที่สูงเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น [3] ดังนั้นทำให้มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทยในปัจจุบันมีภาวะที่ค่อนข้างผันผวน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาส่วนเหลือใช้ของปาล์มน้ำมันเพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหล่านี้ จากการศึกษาพบว่าวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน คือ กะลาปาล์มส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ทะลายปาล์มเปล่า นำไปใช้ทำปุ๋ย ชีวสัจฉิใช้สำหรับผสมอาหารสัตว์ และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ และเส้นใยปาล์ม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นการลดการซื้อพลังงานจากภายนอกได้



รูปที่ 3 การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

สำหรับในกรณีที่มีการศึกษาการเปลี่ยนทะลายปาล์มเปล่า (Oil Palm Empty Fruit Bunch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นทำได้โดยการนำทะลายปาล์มเปล่ามาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส และกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ [63] รวมถึงศึกษาการเตรียมเส้นลวดขนาดนาโนของซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC Nanowires) จากการไพโรไลซิสทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า และแทรกซึม (Infiltration) ด้วยเตตระเอทิล ออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl Orthosilicate) [64] สำหรับการใช้กระบวนการหมักเพื่อการเปลี่ยนทะลายปาล์มเปล่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การผลิตไลเปส (Lipase) โดยใช้การหมักด้วย *Trichoderma* strains [65] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษากระบวนการหมักโดยใช้ *A. succinogenes* ATCC 55618 ร่วมกับการทำให้เกิดแซ็กคาไรด์ (Saccharification) เพื่อใช้ในการเตรียมกรดซักซินิก [66] การหมักโดยใช้ *Mucor plumbeus* เพื่อใช้สำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพ (Microbial Oil) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารป้อนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ [67] การหมักโดยใช้ *Bacillus megaterium* R11 เพื่อใช้ในการเปลี่ยนเป็นพอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (Polyhydroxybutyrate) [68] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำทะลายปาล์มเปล่ามาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส และกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล [69] รวมถึงมีงานวิจัยที่นำทะลายปาล์มเปล่ามาใช้เตรียมน้ำตาลกลูโคสโดยผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยกรดเปอร์อะซิติก (Peracetic Acid) และอัลคาไลน์ เปอร์ออกไซด์ (Alkaline Peroxide) เพื่อกำจัดลิกนิน และส่วนที่เหลือจะนำมาผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดยสามารถให้ปริมาณกลูโคสถึง 629.8 กรัมต่อกิโลกรัมของทะลายปาล์มเปล่า [70] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำเส้นใยที่ได้จากทะลายปาล์มเปล่ามาใช้เป็นวัสดุในการดูดซับเสียง [71] รวมถึงมีการศึกษาการนำทะลายปาล์มเปล่ามาเตรียมเป็นสารตัวเติมขนาดนาโนสำหรับใช้ในการเตรียมวัสดุคอมโพสิตของอีพอกซี (Epoxy Nanocomposites) โดยวัสดุที่เตรียมได้จะมีสมบัติทางความร้อนที่ดีเมื่อมีการเติมสารตัวเติมจากทะลายปาล์มเปล่าจำนวน 3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการกระจายตัวที่ดี [72] นอกจากนี้ยังมีความพยายามที่จะนำทะลายปาล์มเปล่ามาเตรียมเป็นเซลล์ูโลสโดยการไอโซเลต (Isolate) ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เซลล์ูโลสที่เตรียมได้จะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงเพื่อเตรียมฟิล์มคอมโพสิตไคโตซานเพื่อใช้สำหรับการกำจัดแคดเมียมในสารละลาย [73] มากไปกว่านั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการเตรียมเซลล์ูโลสจากทะลายปาล์มเปล่าโดยเตรียมผ่านภาชนะสังเคราะห์ความดันสูง (Autoclave) และอัลตราโซนิก (Ultrasonication) จากนั้นนำเซลล์ูโลสที่เตรียมได้มาใช้เตรียมวัสดุคอมโพสิตกับพอลิพรพิลีน [74] รวมถึงมีการศึกษาการนำทะลายปาล์มเปล่ามาผ่านกระบวนการทำเยื่อ (Pulping Process) และนำมาเตรียมเป็นผลึกเซลล์ูโลสขนาดนาโน (Nanocrystalline Cellulose) โดยใช้อัลตราโซนิกช่วยในการไฮโดรไลซิสด้วยกรด โดยวัสดุที่เตรียมได้จะมีความเป็นผลึกสูง มีเสถียรภาพทางความร้อน [75] ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในยา และการขนส่งยา วัสดุทดแทนกระดูก และการซ่อมฟัน ปรับปรุงสมบัติของกระดาษ สารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ สารตัวเติมในอาหารและยา และแเอโรเจล รวมถึงมีการเตรียมเซลล์ูโลส อะซิเตต (Cellulose Acetate) โดยใช้ปฏิกิริยาอะเซทิลเลชันแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Acetylation) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ขั้นตอนประกอบด้วย การกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก และตามด้วยการกระตุ้นด้วยกรดกลacial อะซิติก (Glacial Acetic) โดยเซลล์ูโลส อะซิเตตที่เตรียมได้มีองค์การแทนที่เท่ากับ 2.52 [76] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเพิ่มมูลค่าเพิ่มของทะลายปาล์มโดยใช้กระบวนการของเหลวไอออนิก เช่น การผลิตสารประกอบลิกโนเซลล์ูโลส (Lignocellulosic Compounds) โดยการปรับสภาพด้วยของเหลวไอออนิก



(Ionic Liquid) ซึ่งประกอบด้วย 1-บิวทิล-3-เมทิล-อิมิดาโซเลียม คลอไรด์ (1-Butyl-3-methyl-imidazolium chloride) และการปรับสภาพด้วยเบส สารที่เตรียมได้จะประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1,869 1,736 และ 2,695 กรัมต่อโมล ตามลำดับ [77] การเปลี่ยนทะเลาะปาล์มเปล่า เป็น 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล กรดเลวูลินิก (Levulinic Acid) และเอทิล เลวูลิเนต (Ethyl Levulinate) โดยในสภาวะของเหลวไอออนิกที่มีสมบัติเป็นกรด (Acidic Ionic Liquid) ซึ่งประกอบไปด้วย อินเดียม ไตรคลอไรด์ (Indium Trichloride) และของเหลวไอออนิก 1-เมทิลอิมิดาโซเลียม ไฮโดรเจน ซัลเฟต (1-Methylimidazolium hydrogen sulfate) [78] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนทะเลาะปาล์มเปล่า ให้เป็นสารประกอบฟีนอล เช่น ฟีนอล กัวอิคอล (Guaiacol) คาทีซอล (Catechol) ซิงกรอล (Syringol) ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล และโซลโวเทอร์มัล [79] รวมถึงมีการศึกษาการเปลี่ยนทะเลาะปาล์มเปล่า ด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนเพื่อเปลี่ยนเป็นของเหลวโดยตรง (Direct Thermochemical Liquefaction) [80] โดยดำเนินการภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด และสภาวะวิกฤตรอง (Sub-Critical) ของตัวทำละลาย *n*-โดเดเคน (*n*-Dodecane) หรือเตตระลิน (Tetralin) หรือของผสมดังกล่าว ที่อุณหภูมิ 400 และ 450 องศาเซลเซียส โดยมีการเติมสารไอร่อนออกไซด์ ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) และไฮโดรเจน ในระบบ พบว่าให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็นเมทิล ปาล์มิเตต (Methyl Palmitate) 4-เมทิลเฮกเซน-2-โอน (4-Methylhexan-2-one) เมทิล สเตียเรต (Methyl Stearate) และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังได้ผลิตภัณฑ์ เป็นของแข็งซึ่งเมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนทะเลาะปาล์มเปล่าด้วย กระบวนการทางความร้อน ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และไฮโดรเลตเพื่อเตรียมเป็นกรด 4-ไฮดรอกซีเบนโซอิก (4-Hydroxybenzoic acid) [81] รวมถึงมีการศึกษานำทะเลาะปาล์มเปล่ามาปรับสภาพด้วยความร้อน และกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเพื่อเตรียมเป็นวัสดุคาร์บอน และวัสดุคาร์บอนที่เตรียมได้นั้นจะนำมาใช้เป็น วัสดุรองรับในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์(II) ออกไซด์ ( $\text{CuO}$ ) เพื่อใช้สำหรับการกำจัดกรดไนตริก ออกไซด์ (Nitric Oxide; NO) [82] และยังมีกรณำทะเลาะปาล์มเปล่ามาผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ภายใต้ ออกซิเจน 5 เปอร์เซ็นต์ ในฮีเลียมให้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน โดยการใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ผลิตภัณฑ์เป็น ไฮโดรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [83]

การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้จากสัจจปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

สำหรับในกรณีที่มีการศึกษาการเปลี่ยนกากสัจจปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Sludge) เป็นผลิตภัณฑ์ ที่มีมูลค่าสูงขึ้นสามารถทำได้โดยศึกษาการเปลี่ยนกากสัจจปาล์มน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยการนำ ส่วนที่สกัดได้ของกากสัจจด้วยเฮกเซนมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) โดยใช้อะลูมิเนียม (Alum) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ [84] รวมถึงมีการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [85] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนกากสัจจปาล์มน้ำมันที่ถูกปรับสภาพเป็นน้ำมันชีวภาพ และถ่านชีวภาพ โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส [86] รวมถึงมีการทำไพโรไลซิสแบบช้าเพื่อใช้เตรียมถ่านชีวภาพสำหรับ นำมาใช้ในการดูดซับตะกั่ว โดยภายหลังจากการไพโรไลซิสถ่านชีวภาพจะถูกนำมาโซนิเคต (Sonicate) ในน้ำร้อนเพื่อกำจัดแร่ธาตุตกค้าง และน้ำมัน [87] นอกจากนี้ยังมีการศึกษานำกากสัจจปาล์มน้ำมัน มาใช้เตรียมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant) โดยใช้กระบวนการหมัก [88]



### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้กะลาปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

ปัจจุบันกะลาปาล์ม (Palm Kernel Shell) ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า อีกแนวทางหนึ่งของการศึกษางานวิจัยและพัฒนาเพื่อเปลี่ยนกะลาปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การศึกษาการนำกะลาปาล์มมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อเตรียมคอนกรีตที่ช่วยในการดูดซับเสียง [89] รวมถึงการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาใช้ในการเตรียมคอนกรีตมวลเบา [90] และการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาผสมกับเคลย์และนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และนำสารที่เกิดขึ้นมาใช้ทดแทนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement) [91] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยใช้ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-Aminopropyltrimethoxysilane) เป็นสารคลัปปีง (Coupling Agent) [92] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์สำหรับใช้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [93] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาใช้เตรียมถ่านชาร์โคล (Charcoal) โดยการใช้ไมโครเวฟในการกระตุ้นในการทำคาร์บอนในเซชัน [94] รวมถึงมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ และนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาใช้เป็นตัวดูดซับซิงค์ไอออน [95] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในช่วงอุณหภูมิ 600 - 700 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน [96] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized Bed Reactor) [97] รวมถึงมีการศึกษาการนำกะลาปาล์มมาผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสำหรับการผลิตแก๊สไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ถ่านชีวภาพที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำแก๊สซิฟิเคชันจะถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีแคลเซียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก และสามารถนำผลิตภัณฑ์นี้มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันกับเมทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ [98]

### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้เส้นใยปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

เส้นใยปาล์ม (Oil Palm Mesocarp Fibre) เป็นวัสดุเหลือใช้อีกส่วนหนึ่งที่นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไอน้ำ แนวทางหนึ่งของการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อเปลี่ยนเส้นใยปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ การไพโรไลซิสเส้นใยปาล์มเป็นน้ำมันชีวภาพโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (Zeolite) ที่เตรียมจากเถ้าปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Ash) ผสมกับเกาหลิน และเบสภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal) [99] รวมถึงศึกษาการนำเส้นใยปาล์มมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพ และถ่านชีวภาพ โดยดำเนินการในถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed-Bed Reactor) [100] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการนำเส้นใยปาล์มมาใช้เตรียมเซลลูโลสขนาดนาโน (Cellulose Nanowhiskers) โดยใช้การไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริก ตามด้วยไมโครฟลูอิดิเซชัน (Microfluidization) และนำไปผสมในฟิล์มแบง์เพื่อใช้เตรียมวัสดุคอมโพสิต โดยเซลลูโลสขนาดนาโนที่เตรียมได้จากเส้นใยปาล์มจะช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) ของวัสดุคอมโพสิต [101] รวมถึงการศึกษาการเตรียมไซโลสและกลูโคสจากเส้นใยปาล์ม โดยการนำเส้นใยปาล์มมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเพื่อปรับสภาพ รวมถึงการปรับสภาพเชิงกลโดยใช้บอลลมิลลิง (Ball Milling) การปรับสภาพด้วยเบส และไฮโดรไลซิส

ด้วยเอนไซม์ [102] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการนำเส้นใยปาล์มมาปรับสภาพด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล และการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ จากนั้นนำมาหมักโดยใช้ *Escherichia Coli* เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็น อะซิโตอิน (Acetoin) [103] รวมถึงการนำเส้นใยปาล์มมาใช้ในการเตรียมกลูโคสผ่านกระบวนการอัดด้วยน้ำร้อน (Hot Compressed Water) และเวท ดิสก์ มิลลิง (Wet Disk Milling) จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยใช้เอนไซม์ [104] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำเส้นใยปาล์มมาปรับสภาพด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้เห็ดนางรม (Oyster Mushroom) และนำมาย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกับมูลสัตว์ (Cattle Manure) ร่วมกับน้ำทิ้งจากการผลิตปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Mill Effluent) เพื่อใช้สำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ [105]

#### การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ลำต้นปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนลำต้นปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Trunk) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นโดยการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยตัวทำละลายยูเทคติกเชิงลึก (Deep Eutectic Solvents) ซึ่งประกอบด้วยเอทิลแอมโมเนียม คลอไรด์ (Ethylammonium Chloride) และเอทิลีน ไกลคอล (Ethylene Glycol) เพื่อกำจัดลิกนิน และเซลลูโลสเพื่อเตรียมเป็นเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกสูง จากนั้นจะนำมาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เพื่อผลิตกลูโคส [106] รวมไปถึงมีการศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพในระบบซัลไฟต์ (Sulfite Pretreatment to Overcome Recalcitrance of Lignocellulose; SPORL) ก่อนที่จะนำมาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เพื่อผลิตกลูโคส [107] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และนำมาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เพื่อให้ได้น้ำตาลรีดิซ และนำมาใช้ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดย *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* KKU19 และน้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรด (Acidic Effluent) ที่ได้หลังจากการหมักให้เกิดไฮโดรเจนจะถูกนำมาใช้เป็นสารป้อนเพื่อใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน [108] รวมถึงมีการศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยกรดเจือจาง (Dilute Acid Pretreatment) ก่อนขั้นตอนการทำให้เกิดแซคคาไรด์ด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Saccharification) เพื่อใช้สำหรับการผลิตเอทานอล [109] และการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาผ่านกระบวนการปรับสภาพทางความร้อน การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และการหมักเพื่อเตรียมเป็นกรดแลคติก (Lactic Acid) [110] มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนลำต้นปาล์มน้ำมันเพื่อใช้ในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ผ่านกระบวนการสตีมน แก๊สซิฟิเคชัน (Steam Gasification) [111] และศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาเตรียมเป็นเซลลูโลสที่เป็นผลึกขนาดนาโน (Cellulose Nanocrystal) โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลด้วยกรด (Acid Hydrothermal) [112] รวมถึงการศึกษาการเตรียมเซลลูโลสที่เป็นผลึกขนาดนาโนจากลำต้นปาล์มน้ำมันโดยวิธีที่ปราศจากคลอรีน (Total Chlorine Free Method) โดยนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาไฮโดรไลซิสด้วยน้ำ (Water Pre-Hydrolysis) จากนั้นนำมาผ่านขั้นตอนการทำเยื่อด้วยโซดา (Soda Pulping) แขนในกรดซัลฟิวริก และฟอกขาวด้วยโอโซน (Ozone Bleaching) [113] ในกรณีของการศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาใช้เตรียมวัสดุมีการศึกษาการนำลำต้นปาล์มน้ำมันมาปรับสภาพด้วยน้ำร้อน (Hot Water) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้เป็นปาร์ติเกิลบอร์ด (Particleboard) โดยใช้ยูเรีย ฟอรัลดีไฮด์ [114] นอกจากนี้ยังสามารถเตรียมปาร์ติเกิลบอร์ดโดยใช้แป้งคาร์บอกซีเมทิล (Carboxymethyl starch) ที่เตรียมได้จากการปรับสภาพทางเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมัน [115] รวมถึงการเตรียมแป้งจากลำต้นปาล์มน้ำมันด้วยการสกัดด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium Metabisulphite;  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) ร่วมกับการเติมกรดแลคติก [116] มากไปกว่านั้น

ยังมีการศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนที่มีสมบัติเป็นกรดจากลำต้นปาล์มน้ำมันโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และนำมาเติมแต่งหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดโดยการทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก นอกจากนี้ยังมีการเติมแต่งตำแหน่งกรดโดยการฝังตัวด้วยกรดฟอสฟอรัส (Phosphotungstic Acid) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะถูกนำมาศึกษาปฏิกิริยาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [117]

จากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ กากสลัดจ์ ปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม คือ น้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันชีวภาพ ถ่านชีวภาพ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ส่วนในกรณีของการเปลี่ยนเส้นใยปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม สามารถทำได้โดยการผลิตเป็นน้ำมันชีวภาพ ถ่านชีวภาพ เซลลูโลสขนาดนาโน ไซโลส กลูโคส อะซิโตน กลูโคส และแก๊สชีวภาพ ในขณะที่การศึกษางานวิจัยสำหรับการเปลี่ยนลำต้นปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม คือ การศึกษาการเปลี่ยนเป็นเอทานอล กรดแลคติก แป้งคาร์บอกซีเมทิล วัสดุสำหรับเตรียมปาร์ติเกิลบอร์ด ตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนที่มีสมบัติเป็นกรด เซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกสูง กลูโคส น้ำตาลรีเวิร์ซ แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สมีเทน ส่วนในกรณีของการศึกษางานวิจัยสำหรับการเปลี่ยนทะลายปาล์มเปล่า ได้แก่ การศึกษาการเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ เส้นลวดขนาดนาโนของซิลิกอนคาร์ไบด์ ไลเปส กรดซัคซินิก น้ำมันไบโอดีเซล พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรต เอทานอล กลูโคส วัสดุในการดูดซับเสียง สารตัวเติมสำหรับการเตรียมวัสดุคอมโพสิตของอีพอกซี วัสดุคาร์บอนสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา เซลลูโลส/เซลลูโลสขนาดนาโน เซลลูโลส อะซิเตต ลิกโนเซลลูโลส 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรอล กรดเลวูลินิก/เอทิล เลวูลิเนต สารประกอบฟีนอล เมทิล ปาล์มเตต 4-เมทิลเฮกเซน-2-โอน เมทิล สเตียเรต และ 4-ไฮดรอกซีเบนโซอิก มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาการเปลี่ยนกะลาปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซล วัสดุในการดูดซับเสียง สารทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ สารตัวเติมในยางธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์ ถ่านชาร์โคล แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำมันชีวภาพ และแคลเซียมออกไซด์ (รูปที่ 3)

## สรุป

ในบทความวิชาการนี้ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ข้าว อ้อย และปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเครื่องมือขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยผ่านการพัฒนาเศรษฐกิจฐานชีวภาพ กระบวนการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเหล่านี้ใช้กระบวนการทางความร้อน กระบวนการทางชีวเคมี และกระบวนการทางเคมี โดยการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจำเป็นที่จะต้องได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล รวมถึงเป็นโจทย์ที่ท้าทายความรู้ความสามารถของนักวิจัย เพื่อให้สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่เป็นทรัพยากรของประเทศมาใช้เพื่อการพึ่งพาตนเองได้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเพื่อแก้ไขปัญหาความเหลื่อมล้ำในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรไทยผ่านการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจฐานชีวภาพ

## References

- [1] Division of Research Administration and Educational Quality Assurance, University of Phayao. (2016). **Blueprint Thailand 4.0 Model Drive of Thailand Towards Wealth, Stability and Sustainable**. Access (10 February 2018). Available (<http://www.libarts.up.ac.th/v2/img/Thailand-4.0.pdf>) (in Thai)
- [2] Ministry of Industry. (2016). **20-Year Development Strategy for Thailand Industry 4.0 (2017-2036)**. Access (10 February 2018). Available ([http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry\\_plan/thailandindustrialdevelopmentstrategy4.0.pdf](http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_plan/thailandindustrialdevelopmentstrategy4.0.pdf)) (in Thai)
- [3] Office of Agricultural Economics. (2017). **Agricultural Statistics of Thailand 2016**. Access (10 February 2018). Available (<http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/yearbook59.pdf>)
- [4] Kulruengsup, N. (2013). Study on Influence of Burning-No Burning of Rice Stubble Before Harvesting on Yield Per Rai, Outgoing and Income of Farmers. **Journal of Agricultural Economics**. Vol. 59, pp. 2-4 (in Thai)
- [5] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2012). **Feasibility Study for the Commercial Production of Cellulosic Ethanol**. Access (10 February 2018). Available (<http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Final%20Report.pdf>)
- [6] Rodsamran, P. and Sothornvit, R. (2017). Rice Stubble as a New Biopolymer Source to Produce Carboxymethyl Cellulose-Blended Films. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 171, pp. 94-101. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.05.003
- [7] Tansatit, T., Rotchanamekha, S., and Thepwoong, R. (2016). Biochar Production from Stubble and Rice Straw for Water Holding in Soil. In **The 1<sup>st</sup> National RMUTR Conference**. RMUTR: Nakhonpathom. (in Thai)
- [8] Zahed, O., Jouzani, G. S., Abbasalizadeh, S., Khodaiyan, F., and Tabatabaei, M. (2016). Continuous Co-Production of Ethanol and Xylitol from Rice Straw Hydrolysate in a Membrane Bioreactor. **Folia Microbiologica**. Vol. 61, Issue 3, pp. 179-189. DOI: 10.1007/s12223-015-0420-0
- [9] Amiri, H., Karimi, K., and Zilouei, H. (2014). Organosolv Pretreatment of Rice Straw for Efficient Acetone, Butanol, and Ethanol Production. **Bioresource Technology**. Vol. 152, pp. 450-456. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.11.038
- [10] Zhou, J., Yang, J., Yu, Q., Yong, X., Xie, X., Zhang, L., Wei, P., and Jia, H. (2017). Different Organic Loading Rates on the Biogas Production During the Anaerobic Digestion of Rice Straw: A pilot study. **Bioresource Technology**. Vol. 244, Part 1, pp. 865-871. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.07.146
- [11] Sashikala, M. and Ong, H. K. (2007). Synthesis and Identification of Furfural from Rice Straw. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**. Vol. 35, Issue 1, pp. 165-172

- [12] Shen, Y., Zhao, P., and Shao, Q. (2014). Porous Silica and Carbon Derived Materials from Rice Husk Pyrolysis Char. **Microporous and Mesoporous Materials**. Vol. 188, pp. 46-76. DOI: 10.1016/j.micromeso.2014.01.005
- [13] Yoomun, P. (2013). Analysis the Potential of Bio-Energy from Residual Biomasses in Lampang Province. Case study: Mae-Tha District. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 6, No. 2, pp. 35-45 (in Thai)
- [14] Lee, J. H., Kwon, J. H., Lee, J. -W., Lee, H. -S., Chang, J. H., and Sang, B. -I. (2017). Preparation of High Purity Silica Originated from Rice Husks by Chemically Removing Metallic Impurities. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Vol. 50, pp. 79-85. DOI: 10.1016/j.jiec.2017.01.033
- [15] Khoshbin, R. and Karimzadeh, R. (2017). The Beneficial use of Ultrasound in Free Template Synthesis of Nanostructured ZSM-5 Zeolite from Rice Husk ash used in Catalytic Cracking of Light Naphtha: Effect of Irradiation Power. **Advanced Powder Technology**. Vol. 28, Issue3, pp. 973-982. DOI: 10.1016/j.appt.2017.01.001
- [16] Khoshbin, R. and Karimzadeh, R. (2017). Synthesis of Mesoporous ZSM-5 from Rice Husk ash with Ultrasound Assisted Alkali-Treatment Method used in Catalytic Cracking of Light Naphtha. **Advanced Powder Technology**. Vol. 28, Issue 8, pp. 1888-1897. DOI: 10.1016/j.appt.2017.04.024
- [17] Suyanta and Kuncaka, A. (2011). Utilization of Rice Husk as Raw Material in Synthesis of Mesoporous Silicates MCM-41. **Indonesian Journal of chemistry**. Vol. 11, Issue 3, pp. 279-284
- [18] Srivastava, V. C., Mall, I. D., and Mishra, I. M. (2006). Characterization of Mesoporous Rice Husk Ash (RHA) and Adsorption Kinetics of Metal Ions from Aqueous Solution onto RHA. **Journal of Hazardous Materials**. Vol. B134, Issue 1-3, pp. 257-267. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.052
- [19] Boonpoke, A., Chiarakorn, S., Laosiripojana, N., and Chidthaisong A. (2016). Enhancement of Carbon Dioxide Capture by Amine-Modified Rice Husk Mesoporous Material. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. Vol. 35, Issue 6, pp. 1716-1723. DOI: 10.1002/ep.12423
- [20] Ghafoorian, N. S., Bahramian, A. R., and Seraji, M. M. (2015). Investigation of the Effect of Rice Husk Derived Si/SiC on the Morphology and Thermal Stability of Carbon Composite Aerogels. **Materials and Design**. Vol. 86, pp. 279-288. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.07.093
- [21] Sobrosa, F. Z., Stochero, N. P., Marangon, E., and Tier, M. D. (2017). Development of Refractory Ceramics from Residual Silica Derived from Rice Husk Ash. **Ceramics International**. Vol. 43, Issue 9, pp. 7142-7146. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.02.147
- [22] Husni, H., Nazari, M. R., Yee, H. M., Rohim, R., Yusuff, A., Ariff, M. A. M., Ahmad, N. N. R., Leo, C. P., and Junaidi, M. U. M. (2017). Superhydrophobic Rice Husk ash Coating on Concrete. **Construction and Building Materials**. Vol. 144, pp. 385-391. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.078



- [23] Geraldo, R. H., Fernandes, L. F. R., and Camarini, G. (2017). Water Treatment Sludge and Rice Husk Ash to Sustainable Geopolymer Production. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 149, pp. 146-155. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.076
- [24] Guo, M. -L., Yin, X. -Y. and Huang, J. (2017). Preparation of Novel Carbonaceous Solid Acids from Rice Husk and Phenol. **Materials Letters**. Vol. 196, pp. 23-25. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.03.025
- [25] Zhang, W., Lin, N., Liu, D., Xu, J., Sha, J., Yin, J., Tan, X., Yang, H., Lu, H., and Lin, H. (2017). Direct Carbonization of Rice Husk to Prepare Porous Carbon for Supercapacitor Applications. **Energy**. Vol. 128, pp. 618-625. DOI: 10.1016/j.energy.2017.04.065
- [26] Jorapur, R. and Rajvanshi, A. K. (1997). Sugarcane Leaf-Bagasse Gasifiers for Industrial Heating Applications. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 13, Issue 3, pp. 141-146. DOI: 10.1016/S0961-9534(97)00014-7
- [27] Boochapun, S., Lamamorphanth, W., and Kamwilaisak, K. (2014). The Acid Hydrolysis of Sugarcane Leaves as a Biofeedstock for Bioethanol Production. **Advanced Materials Research**. Vols. 931-932, pp. 194-199
- [28] Moodley, P. and Gueguim Kana, E. B. (2017). Microwave-Assisted Inorganic Salt Pretreatment of Sugarcane Leaf Waste: Effect on Physiochemical Structure and Enzymatic Saccharification. **Bioresource Technology**. Vol. 235, pp. 35-42. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.03.031
- [29] Attard, T. M., McElroy, C. Rob, Rezende, C. A., Polikarpov, I., Clark, J. H., and Hunt, A. J. (2015). Sugarcane Waste as a Valuable Source of Lipophilic Molecules. **Industrial Crops and Products**. Vol. 76, pp. 95-103. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.05.077
- [30] Arumugam, A. and Ponnusami, V. (2013). Modified SBA-15 Synthesized Using Sugarcane Leaf Ash for Nickel Adsorption. **Indian Journal of Chemical Technology**. Vol. 20, pp. 101-105
- [31] Kumari, S. and Das, D. (2016). Biologically Pretreated Sugarcane Top as a Potential Raw Material for the Enhancement of Gaseous Energy Recovery by Two Stage Biohythane Process. **Bioresource Technology**. Vol. 218, pp. 1090-1097. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.070
- [32] Maurya, D. P., Vats, S., Rai, S., and Negi, S. (2013). Optimization of Enzymatic Saccharification of Microwave Pretreated Sugarcane Tops Through Response Surface Methodology for Biofuel. **Indian Journal of Experimental Biology**. Vol. 51, pp. 992-996
- [33] Cunha, J. A., Pereira, M. M., Valente, L. M. M., de la Piscina, P. R., Homs, N., and Santos, M. R. L. (2011). Waste Biomass to Liquids: Low Temperature Conversion of Sugarcane Bagasse to Bio-Oil. The Effect of Combined Hydrolysis Treatments. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 35, Issue 5, pp. 2106-2116. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.02.019
- [34] Goncalves, G. C., Pereira, N. C., and Veit, M. T. (2016). Production of Bio-Oil and Activated Carbon from Sugarcane Bagasse and Molasses. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 85, pp. 178-186. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.12.013

- [35] Golbaghi, L., Khamforoush, M., and Hatami, T. (2017). Carboxymethyl Cellulose Production from Sugarcane Bagasse with Steam Explosion Pulping: Experimental, Modeling, and Optimization. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 174, pp. 780-788. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.06.123
- [36] Candido, R. G., Godoy, G. G., and Goncalves, A. R. (2017). Characterization and Application of Cellulose Acetate Synthesized from Sugarcane Bagasse. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 167, pp. 280-289. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.03.057
- [37] Brar, K. K., Sarma, A. K., Aslam, M. Polikarpov, I., and Chadha, B. S. (2017). Potential of Oleaginous Yeast *Trichosporon* sp., for Conversion of Sugarcane Bagasse Hydrolysate Into Biodiesel. **Bioresource Technology**. Vol. 242, pp. 161-168. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.03.155
- [38] Chen, P., Tao, S., and Zheng, P. (2016). Efficient and Repeated Production of Succinic Acid by Turning Sugarcane Bagasse Into Sugar and Support. **Bioresource Technology**. Vol. 211, pp. 406-413. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.03.108
- [39] Phachan, N., Fiala, K., and Apirakakorn, J. (2017). Isolation of Cellulolytic Clostridia and Their Performance for One-Step Butanol Production from Sugarcane Bagasse. **Energy Procedia**. Vol. 138, pp. 163-168. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.144
- [40] Um, J., Kim, D. G., Jung, M. -Y., Saratale, G. D., and Oh, M. -K. (2017). Metabolic Engineering of *Enterobacter aerogenes* for 2,3-butanediol Production from Sugarcane Bagasse Hydrolysate. **Bioresource Technology**. Vol. 245, Part B, pp. 1567-1574. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.05.166
- [41] Adarme, O. F. H., Baeta, B. E. L., Lima, D. R. S., Gurgel, L. V. A., and de Aquino, F. (2017). Methane and Hydrogen Production from Anaerobic Digestion of Soluble Fraction Obtained by Sugarcane Bagasse Ozonation. **Industrial Crops and Products**. Vol. 109, pp. 288-299. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.08.040
- [42] Esfandiar, N., Naserneja, B., and Ebadi, T. (2014). Removal of Mn(II) from Groundwater by Sugarcane Bagasse and Activated Carbon (A Comparative Study): Application of Response Surface Methodology (RSM). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Vol. 20, Issue 5, pp. 3726-3736. DOI: 10.1016/j.jiec.2013.12.072
- [43] Alves, M. J., Cavalcanti, I. V., de Resende, M. M., Cardoso, V. L., and Reis, M. H. (2016). Biodiesel Dry Purification with Sugarcane Bagasse. **Industrial Crops and Products**. Vol. 89, pp. 119-127. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.05.005
- [44] Moises, M. P., da Silva, C. T. P., Meneguim, J. G., Girotto, E. M., and Radovanovic, E. (2013). Synthesis of Zeolite NaA from Sugarcane Bagasse Ash. **Materials Letters**. Vol. 108, pp. 243-246. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.06.086
- [45] Thuadaij, P. and Mukda, P. (2016). Synthesis and Characterization of Zeolite Derived from Buriram Sugarcane Bagasse Ash and Narathiwat Kaolinite. **SNRU Journal of Science and Technology**. Vol. 8, No. 3, pp. 320-326

- [46] Norsuraya, S., Fazlena, H., and Norhasyimi, R. (2016). Sugarcane Bagasse as a Renewable Source of Silica to Synthesize Santa Barbara Amorphous-15 (SBA-15). **Procedia Engineering**. Vol. 148, pp. 839-846. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.627
- [47] Shen, Z., Han, G., Liu, C. Wang, X., and Sun, R. (2016). Green Synthesis of Silver Nanoparticles with Bagasse for Colorimetric Detection of Cysteine in Serum Samples. **Journal of Alloys and Compounds**. Vol. 686, pp. 82-89. DOI: 10.1016/j.jallcom.2016.05.348
- [48] Silalertruksa, T., Gheewala, S. H., and Pongpat, P. (2015). Sustainability Assessment of Sugarcane Biorefinery and Molasses Ethanol Production in Thailand Using Eco-Efficiency Indicator. **Applied Energy**. Vol. 160, pp. 603-609. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.08.087
- [49] Khatiwada, D., Venkata, B. K., Silveira, S., and Johnson, F. X. (2016). Energy and GHG Balances of Ethanol Production from Cane Molasses in Indonesia. **Applied Energy**. Vol. 164, pp. 756-768. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.11.032
- [50] Meng, X., Yuan, X., Ren, J., Wang, X., Zhu, W., and Cui, Z. (2017). Methane Production and Characteristics of the Microbial Community in a Two-Stage Fixed-Bed Anaerobic Reactor Using Molasses. **Bioresource Technology**. Vol. 241, pp. 1050-1059. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.05.181
- [51] Amado, I. R., Vazquez, J. A., Pastrana, L., and Teixeira, J. A. (2017). Microbial Production of Hyaluronic Acid from Agro-industrial by-products: Molasses and Corn Steep Liquor. **Biochemical Engineering Journal**. Vol. 117, Part A, pp. 181-187. DOI: 10.1016/j.bej.2016.09.017
- [52] Sharma, M., Patel, S. N., Lata, K., Singh, U., Krishania, M., Sangwan, R. S., and Singh, S. P. (2016). A Novel Approach of Integrated Bioprocessing of Cane Molasses for Production of Prebiotic and Functional Bioproducts. **Bioresource Technology**. Vol. 219, pp. 311-318. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.131
- [53] Martinez, O., Sanchez, A., Font, X., and Barrena, R. (2017). Valorization of Sugarcane Bagasse and Sugar Beet Molasses Using *Kluyveromyces marxianus* for Producing Value-Added Aroma Compounds Via Solid-State Fermentation. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 158, pp. 8-17. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.155
- [54] Wechgama, K., Laopaiboon, L., and Laopaiboon, P. (2017). Enhancement of Batch Butanol Production from Sugarcane Molasses Using Nitrogen Supplementation Integrated with Gas Stripping for Product Recovery. **Industrial Crops and Products**. Vol. 95, pp. 216-226. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.10.012
- [55] Glinwong, C., Lertsriwong, S., and Chulalaksananukul, W. (2017). Hydrogen Producer Isolated from Agricultural Wastewater and Molasses. **Energy Procedia**. Vol. 138, pp. 140-144. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.081

- [56] Abd-Alla, M. H., Bagy, M. M. K., Morsy, F. M., and Hassan, E. A. (2017). Enhancement of Biodiesel, Hydrogen and Methane Generation from Molasses by *Cunninghamella echinulata* and Anaerobic Bacteria Through Sequential Three-Stage Fermentation. **Energy**. Vol. 78, pp. 543-554. DOI: 10.1016/j.energy.2014.10.041
- [57] Guan, Y., Tang, Q., Fu, X., Yu, S., Wu, S., and Chen, M. (2014). Preparation of Antioxidants from Sugarcane Molasses. **Food Chemistry**. Vol. 152, pp. 552-557. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.12.016
- [58] Gomes, G. R., Rampon, D. S., and Ramos, L. P. (2017). Production of 5-(hydroxymethyl)-furfural from Water-Soluble Carbohydrates and Sugarcane Molasses. **Applied Catalysis A: General**. Vol. 545, pp. 127-133. DOI: 10.1016/j.apcata.2017.07.049
- [59] Srenseck-Nazzal, J., Kaminska, W., Michalkiewicz, B., and Koren Z. C. (2013). Production, Characterization and Methane Storage Potential of KOH-Activated Carbon from Sugarcane Molasses. **Industrial Crops and Products**. Vol. 47, pp. 153-159. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.03.004
- [60] Alvarez, E. D., Laffita, Y. M., Montoro, L. A., Mohallem, N. D. S., Cabrera, H., Pérez, G. M., Frutis, M. A., and Cappe, E. P. (2015). Electrical, Thermal and Electrochemical Properties of Disordered Carbon Prepared from Palygorskite and Cane Molasses. **Journal of Solid State Chemistry**. Vol. 246, pp. 404-411. DOI: 10.1016/j.jssc.2016.09.024
- [61] Li, H., Jiang, Z., Yang, X., Yu, L., Zhang, G., and Wu, J. (2015). Sustainable Resource Opportunity for Cane Molasses: use of Cane Molasses as a Grinding Aid in the Production of Portland cement. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 93, pp. 56-64. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.027
- [62] Saowapark, T., Plao-le, S., Chaichana, E., and Jaturapiree, A. (2017). Role of Eco-Friendly Molasses Carbon Powder as a Filler in Natural Rubber Vulcanizates. **Materials Today: Proceedings**. Vol. 4, Issue 5, pp. 6450-6457. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.06.152
- [63] Osman, N. B., Shamsuddin, N., and Uemura, Y. (2016). Activated Carbon of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB): Core and shaggy. **Procedia Engineering**. Vol. 148, pp. 758-764. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.610
- [64] Chiew, Y. L. and Cheong, K. Y. (2012). Growth of SiC Nanowires Using Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibres Infiltrated with Tetraethyl Orthosilicate. **Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures**. Vol. 44, Issue 10, pp. 2041-2049. DOI: 10.1016/j.physe.2012.06.008
- [65] Musa, H., Han, P. C., Kasim, F. H. and Gopinath, S. C. B. (2017). Turning Oil Palm Empty Fruit Bunch Waste Into Substrate for Optimal Lipase Secretion on Solid State Fermentation by *Trichoderma* Strains. **Process Biochemistry**. Vol. 63, pp. 35-41. DOI: 10.1016/j.procbio.2017.09.002

- [66] Akhtar, J. and Idris, A. (2017). Oil Palm Empty Fruit Bunches a Promising Substrate for Succinic Acid Production Via Simultaneous Saccharification and Fermentation. **Renewable Energy**. Vol. 114, Part B, pp. 917-923. DOI: 10.1016/j.renene.2017.07.113
- [67] Ahmad, F. B., Zhang, Z., Doherty, W. O. S., Te'o, V. S. J., and O'Hara, I. M. (2017). Improved Microbial Oil Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch by *Mucor plumbeus*. **Fuel**. Vol. 194, pp. 180-187. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.01.013
- [68] Zhang, Y., Sun, W., Wang, H., and Geng, A. (2013). Polyhydroxybutyrate Production from Oil Palm Empty Fruit Bunch Using *Bacillus megaterium* R11. **Bioresource Technology**. Vol. 147, pp. 307-314. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.08.029
- [69] Duangwang, S. and Sangwichien, C. (2015). Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate for Ethanol Production by Baker's Yeast and Loog-Pang. **Energy Procedia**. Vol. 79, pp. 157-162. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.455
- [70] Palamag, S., Dechatiwongse, P., Choorit, W., Chisti, Y., and Prasertsan, P. (2017). Cellulose and Hemicellulose Recovery from Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Fibers and Production of Sugars from the Fibers. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 155, pp. 491-497. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.09.004
- [71] Or, K. H., Putra, A., and Selamat, M. Z. (2017). Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibres as Sustainable Acoustic Absorber. **Applied Acoustics**. Vol. 119, pp. 9-16. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.12.002
- [72] Saba, N., Jawaid, M., Paridah, M. T., and Alothman, O. (2017). Physical, Structural and Thermomechanical Properties of Nano Oil Palm Empty Fruit Bunch Filler Based Epoxy Nanocomposites. **Industrial Crops & Products**. Vol. 108, pp. 840-843. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.07.048
- [73] Rahmi, Lelifajri, Julinawati, and Shabrina. (2017). Preparation of Chitosan Composite Film Reinforced with Cellulose Isolated from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Application in Cadmium Ions Removal from Aqueous Solutions. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 170, pp. 226-233. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.04.084
- [74] Abdullah, M. A., Nazir, M. S., Raza, M. R., Wahjoedi, B. A., and Yussof, A. W. (2016). Autoclave and Ultra-Sonation Treatments of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibers for Cellulose Extraction and Its Polypropylene Composite Properties. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 126, pp. 686-697. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.107
- [75] Azrina, Z. A. Z., Beg, M. D. H., Rosli, M. Y., Ramli, R., Junadi, N., and Alam, A. K. M. M. (2017). Spherical Nanocrystalline Cellulose (NCC) from Oil Palm Empty Fruitbunch Pulp Via Ultrasound Assisted Hydrolysis. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 162, pp. 115-120. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.01.035



- [76] Daud, W. R. W. and Djuned, F. M. (2015). Cellulose Acetate from Oil Palm Empty Fruit Bunch Via a One Step Heterogeneous Acetylation. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 132, pp. 252-260. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.06.011
- [77] Mohtar, S. S., Busu, T. N. Z. T. M., Noor, A. M. M. N., Shaari, N., and Mat, H. (2017). An Ionic Liquid Treatment and Fractionation of Cellulose, Hemicellulose and Lignin from Oil Palm Empty Fruit Bunch. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 166, pp. 291-299. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.02.102
- [78] Tiong, Y. W., Yap, C. L., Gan, S., and Yap, W. S. P. (2017). One-Pot Conversion of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Mesocarp Fiber Biomass to Levulinic Acid and Upgrading to Ethyl Levulinate Via Indium Trichloride-Ionic Liquids. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 168, pp. 1251-1261. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.050
- [79] Lee, H. -S., Lee, H., Ha, J. -M., Kim, J., and Suh, D. J. (2015). Production of Aromatic Compounds from Oil Palm Empty Fruit Bunches by Hydro- and Solvothermolysis. **Industrial Crops and Products**. Vol. 76, pp. 104-111. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.05.083
- [80] Koriakin, A., Moon, S., Kim, D. -W., and Lee, C. -H. (2017). Liquefaction of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Sub- and Supercritical Tetralin, *n*-dodecane, and Their Mixture. **Fuel**. Vol. 208, pp. 184-192. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.07.010
- [81] Rasmussen, H., Mogensen, K. H., Jeppesen, M. D., Sorensen, H. R., and Meyer, A. S. (2016). 4-Hydroxybenzoic acid from hydrothermal pretreatment of oil palm empty fruit bunches - Its origin and influence on biomass conversion. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 93, pp. 209-216
- [82] Ahmad, N., Ibrahim, N., Ali, U. F. M., Yusuf, S. Y., and Ridwan, F. M. (2016). Carbon-Supported CuO Catalyst Prepared from Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) for Low-Temperature NO removal. **Procedia Engineering**. Vol. 148, pp. 823-829. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.623
- [83] Ismail, K., Yarmo, M. A. Taufiq-Yap, Y. H., and Ahmad, A. (2012). The Effect of Particle Size of CaO and MgO as Catalysts for Gasification of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Produce Hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**. Vol. 37, pp. 3639-3644. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.05.100
- [84] Abdullah, Sianipar, R. N. R., Ariyani, D., and Nata, I. F. (2017). Conversion of Palm Oil Sludge to Biodiesel Using Alum and KOH as Catalysts. **Sustainable Environment Research**. Vol. 27, Issue 6, pp. 291-295. DOI: 10.1016/j.serj.2017.07.002
- [85] Nasaruddin, R. R., Alam, M. Z., and Jami, M. S. (2014). Evaluation of Solvent System for the Enzymatic Synthesis of Ethanol-Based Biodiesel from Sludge Palm Oil (SPO). **Bioresource Technology**. Vol. 154, pp. 155-161. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.11.095

- [86] Thangalazhy-Gopakumar, S., Al-Nadheri, W. M. A., Jegarajan, D., Sahu, J. N., Mubarak, N. M., and Nizamuddin, S. (2015). Utilization of Palm Oil Sludge Through Pyrolysis for Bio-Oil and Bio-Char Production. **Bioresource Technology**. Vol. 178, pp. 65-69. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.09.068
- [87] Lee, X. J., Lee, L. Y., Hiew, B. Y. Z., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., and Ng, H. K. (2017). Multistage Optimizations of Slow Pyrolysis Synthesis of Biochar from Palm Oil Sludge for Adsorption of Lead. **Bioresource Technology**. Vol. 245, Part A, pp. 944-953. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.175
- [88] Nawawi, W. M. F. W., Jamal, P., and Alam, M. Z. (2010). Utilization of Sludge Palm Oil as a Novel Substrate for Biosurfactant Production. **Bioresource Technology**. Vol. 101, Issue 23, pp. 9241-9247. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.024
- [89] Khankhaje, E., Salim, M. R., Mirza, J., Salmiati, Hussin, M. W., Khan, R., and Rafieizonooz, M. (2017). Properties of Quiet Pervious Concrete Containing Oil Palm Kernel Shell and Cockleshell. **Applied Acoustics**. Vol. 122, pp. 113-120. DOI: 10.1016/j.apacoust.2017.02.014
- [90] Gibigaye, M., Godonou, G. F., Katte, R., and Degan, G. (2017). Structured Mixture Proportioning for Oil Palm Kernel Shell Concrete. **Case Studies in Construction Materials**. Vol. 6, pp. 219-224. DOI: 10.1016/j.cscm.2017.04.004
- [91] Bediako, M., Gawu, S. K., Adjaottor, A. A., Ankrah, J. S., and Atiemo, E. (2016). Analysis of Co-Fired Clay and Palm Kernel Shells as a Cementitious Material in Ghana. **Case Studies in Construction Materials**. Vol. 5, pp. 46-52. DOI: 10.1016/j.cscm.2016.06.001
- [92] Daud, S. Ismail, H. and Bakar, A. A. (2016). The Effect of 3-aminopropyltrimethoxysilane (AMEO) as a Coupling Agent on Curing and Mechanical Properties of Natural Rubber/ Palm Kernel Shell Powder Composites. **Procedia Chemistry**. Vol. 19, pp. 327-334. DOI: 10.1016/j.proche.2016.03.019
- [93] Rashidi, N. A. and Yusap, S. (2017). Potential of Palm Kernel Shell as Activated Carbon Precursors Through Single Stage Activation Technique for Carbon Dioxide Adsorption. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 168, pp. 474-486. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.045
- [94] Zainal, N. H., Aziz, A. A., Idris, J., Mamat, R., Hassan, M. A., Bahrin, E. K. and Abd-Aziz, S. (2017). Microwave-Assisted Pre-Carbonisation of Palm Kernel Shell Produced Charcoal with High Heating Value and Low Gaseous Emission. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 142, pp. 2945-2949. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.176
- [95] Karri, R. R. and Sahu, J. N. (2018). Modeling and Optimization by Particle Swarm Embedded Neural Network for Adsorption of Zinc(II) by Palm Kernel Shell Based Activated Carbon from Aqueous Environment. **Journal of Environmental Management**. Vol. 206, pp. 178-191. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.026

- [96] Hussain, M., Tufa, L. D., Azlan, R. N. A. R., Yusup, S. and Zabiri, H. (2016). Steady State Simulation Studies of Gasification System Using Palm Kernel Shell. **Procedia Engineering**. Vol. 148, pp. 1015-1021. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.523
- [97] Asadullah, M., Rasid, N. S. A., Kadir, S. A. S. A. and Azdarpour, A. (2013). Production and Detailed Characterization of Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Palm Kernel Shell. **Biomass and Bioenergy**. Vol. 59, pp. 316-324. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.08.037
- [98] Bazargan, A., Kostic, M. D., Stamenkovic, O. S., Veljkovic, V. B., and McKay, G. (2015). A Calcium Oxide-Based Catalyst Derived from Palm Kernel Shell Gasification Residues for Biodiesel Production. **Fuel**. Vol. 150, pp. 519-525. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.02.046
- [99] Khanday, W. A., Kabir, G. and Hameed, B. H. (2016). Catalytic Pyrolysis of Oil Palm Mesocarp Fibre on a Zeolite Derived from Low-Cost Oil Palm Ash. **Energy Conversion and Management**. Vol. 127, pp. 265-272. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.08.093
- [100] Kabir, G., Din, A. T. M. and Hameed, B. H. (2017). Pyrolysis of Oil Palm Mesocarp Fiber and Palm Frond in a Slow-Heating Fixed-Bed Reactor: A Comparative Study. **Bioresource Technology**. Vol. 241, pp. 563-572. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.05.180
- [101] de Campos, A., de Sena Neto, A. R., Rodrigues, V. B., Luchesi, B. R., Moreira, F. K. V., Correa, A. C., Mattoso, L. H. C., and Marconcini, J. M. (2017). Bionanocomposites Produced from Cassava Starch and Oil Palm Mesocarp Cellulose Nanowhiskers. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 175, pp. 330-336. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.07.080
- [102] Zakaria, M. R., Hirata, S., and Hassan, M. A. (2014). Combined Pretreatment Using Alkaline Hydrothermal and Ball Milling to Enhance Enzymatic Hydrolysis of Oil Palm Mesocarp Fiber. **Bioresource Technology**. Vol. 169, pp. 236-243. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.06.095
- [103] YuSoff, M. Z. M., Akita, H., Hassan, M. A., Fujimoto, S., Yoshida, M., Nakashima, N., and Hoshino, T. (2017). Production of Acetoin from Hydrothermally Pretreated Oil Mesocarp Fiber Using Metabolically Engineered *Escherichia coli* in a Bioreactor System. **Bioresource Technology**. Vol. 245, Part A, pp. 1040-1048. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.08.131
- [104] Zakaria, M. R., Norrrahim, M. N. F., Hirata, S., and Hassan, M. A. (2015). Hydrothermal and Wet Disk Milling Pretreatment for High Conversion of Biosugars from Oil Palm Mesocarp Fiber. **Bioresource Technology**. Vol. 181, pp. 263-269. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.01.072
- [105] Saidu, M., Yuzir, A., Salim, M. R., Salmiati, Azman, S., and Abdullah, N. (2014). Biological Pre-Treated Oil Palm Mesocarp Fibre with Cattle Manure for Biogas Production by Anaerobic Digestion During Acclimatization Phase. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 95, Part A, pp. 189-194. DOI: 10.1016/j.ibiod.2014.06.014
- [106] Zulkefli, S., Abdulmalek, E., and Rahman, M. B. A. (2017). Pretreatment of Oil Palm Trunk in Deep Eutectic Solvent and Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Pretreated Oil Palm Trunk. **Renewable Energy**. Vol. 107, pp. 36-41. DOI: 10.1016/j.renene.2017.01.037

- [107] Noparat, P., Prasertsan, P., O-Thong, S., and Pan, X. (2017). Sulfite Pretreatment to Overcome Recalcitrance of Lignocellulose for Enzymatic Hydrolysis of Oil Palm Trunk. **Energy Procedia**. Vol. 138, pp. 1122-1127. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.209
- [108] Sitthikitpanya, S., Reungsang, A., Prasertsan, P., and Khanal, S. K. (2017). Two-Stage Thermophilic Bio-Hydrogen and Methane Production from Oil Palm Trunk Hydrolysate Using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* KCU19. **International Journal of Hydrogen Energy**. Vol. 42, Issue 47, pp. 28222-28232. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.09.136
- [109] Noparat, P., Prasertsan, P., O-Thong, S., and Pan, X. (2015). Dilute Acid Pretreatment of Oil Palm Trunk Biomass at High Temperature for Enzymatic Hydrolysis. **Energy Procedia**. Vol. 79, pp. 924-929. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.588
- [110] Eom, I. -Y., Oh, Y. -H., Park, S. J., Lee, S. -H., and Yu, J. -H. (2015). Fermentative L-Lactic Acid Production from Pretreated whole Slurry of Oil Palm Trunk Treated by Hydrothermolysis and Subsequent Enzymatic Hydrolysis. **Bioresource Technology**. Vol. 185, pp. 143-149. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.02.060
- [111] Nipattummakul, N., Ahmed, I. I., Kerdsuwan, S., and Gupta, A. K. (2012). Steam Gasification of Oil Palm trunk Waste for Clean Syngas Production. **Applied Energy**. Vol. 92, pp. 778-782. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.08.026
- [112] Lamaming, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Leh, C. P., Sugimoto, T., and Nordin, N. A. (2015). Cellulose Nanocrystals Isolated from Oil Palm Trunk. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 127, pp. 202-208. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.03.043
- [113] Lamaming, J., Hashim, R., Leh, C. P., and Sulaiman, O. (2017). Properties of Cellulose Nanocrystals from Oil Palm Trunk Isolated by Total Chlorine Free Method. **Carbohydrate Polymers**. Vol. 156, pp. 409-416. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.09.053
- [114] Jumhuri, N., Hashim, R., Sulaiman, O., Nadhari, W. N. A. W., Salleh, K. M., Khalid, I., Saharudin, N. Z., and Razali, M. Z. (2014). Effect of Treated Particles on the Properties of Particleboard Made from Oil Palm Trunk. **Materials and Design**. Vol. 64, pp. 769-774. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.08.053
- [115] Selamat, M. E., Sulaiman, O., Hashim, R., Hiziroglu, S., Nadhari, W. N. A. W., Sulaiman, N. S. and Razali, M. Z. (2014). Measurement of Some Particleboard Properties Bonded with Modified Carboxymethyl Starch of Oil Palm Trunk. **Measurement**. Vol. 53, pp. 251-259
- [116] Tay, P. W., H'ng, P. S., Chin, K. L., Wong, L. J., and Luqman, A. C. (2013). Effects of Steeping Variables and Substrate Mesh Size on Starch Yield Extracted from Oil Palm Trunk. **Industrial Crops and Products**. Vol. 44, pp. 240-245. DOI: 10.1016/j.measurement.2014.04.001
- [117] Ezebor, F., Khairuddean, M. Abdullah, A. Z., and Boey, P. L. (2014). Oil Palm Trunk and Sugarcane Bagasse Derived Heterogeneous Acid Catalysts for Production of Fatty Acid Methyl Esters. **Energy**. Vol. 70, pp. 493-503. DOI: 10.1016/j.energy.2014.04.024