สารบัญชื่อเรื่อง

บทคัดย่อ (5)

ABSTRACT (6)

กิตติกรรมประกาศ (7)

สารบัญชื่อเรื่อง (8)

สารบัญตาราง (10)

สารบัญรูปภาพ (12)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมติฐาน 5

2.1.1 กระบวนการในการสกัดน้ำมันปาล์ม 5

2.1.2 สาหร่ายพุงชะโด 6

2.1.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ 7

2.1.4 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศแบบแยกเฟสที่อุณหภูมิต่างกัน 8

2.1.5 ถังปฏิกรณ์ย่อยสลายแบบไร้อากาศ 10

2.1.6 เถ้าปาล์ม 11

2.1.7 หลักการวิเคราะห์เชื้อด้วย PCR-DGGE 11

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

2.2.1 การย่อยสลายไร้อากาศพรรณไม้ใต้น้ำและการย่อยสลายร่วมกับซับสเตรตชนิดต่าง ๆ 12

2.2.2 การผลิตแก๊สชีวภาพหรือแก๊สไฮโดรเจนจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 14

2.2.3 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศสองขั้นตอนสำหรับการผลิตไฮโดรเจนและมีเทน 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของ POME และสาหร่ายพุงชะโด 18

3.1.1 ศึกษาสมบัติน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม 18

Prince of Songkla University Pattani Campus

3.1.2 ศึกษาสมบัติสาหร่ายพุงชะโด 19
3.2 ศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและมีเทนจากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศ 21
3.2.1 การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับหมัก 21
3.2.2 ศึกษาศักยภาพการผลิตไฮโดรเจน (BHP) จากการหมักร่วม 23
3.2.3 ศึกษาศักยภาพในการผลิตแก๊สมีเทน (BMP) จากน้ำทิ้งขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจน 23
3.3 การศึกษาการย่อยสลายแบบป้อนต่อเนื่องสองขั้นตอนด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR และ PFR 24
3.3.1 ศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนแบบป้อนต่อเนื่องด้วย POME และสาหร่ายพุงชะโด 25
3.3.2 ศึกษาการผลิตแก๊สมีเทนแบบป้อนต่อเนื่องด้วยน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตไฮโดรเจน 28
3.3.3 สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ 30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล
4.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และทางกายภาพของ POME และสาหร่ายพุงชะโด 31
4.2 ศักยภาพการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและมีเทนในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์จากซับสเตรตที่อัตราส่วนผสมของ POME และสาหร่ายต่างกัน 32
4.2.1 ศักยภาพการผลิตไฮโดรเจน (BHP) จากการหมักร่วม 32
4.2.2 ศักยภาพการผลิตแก๊สมีเทน (BMP) จากน้ำหมักขั้นตอนผลิตไฮโดรเจน 36
4.3 การผลิตแก๊สไฮโดรเจนแบบป้อนต่อเนื่องด้วย POME และสาหร่ายพุงชะโด 40
4.4 การผลิตแก๊สมีเทนแบบป้อนต่อเนื่องด้วยน้ำทิ้งจากขั้นตอนผลิตไฮโดรเจน 46
4.5 สมรรถนะกระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศสองขั้นตอนของ POME และสาหร่ายพุงชะโด 50
4.6 กลุ่มจุลินทรีย์หลักในระหว่างการดำเนินงานกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสองขั้นตอน 54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
บรรณานุกรม 59
ภาคผนวก ก 67
ภาคผนวก ข 77
ประวัติผู้เขียน 83

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สมีเทนที่ผลิตได้จาก POME ด้วยถังปฏิกรณ์แบบป้อนต่อเนื่องต่างชนิด 15
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำเสียขาออกโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและสาหร่ายพุงชะโด 20
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบสำหรับเตรียม BA medium ที่ปริมาตรการทำงานรวมรวม 1 L 22
ตารางที่ 3.3 การเตรียมซับสเตรตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ POME กับ สาหร่าย และการใช้สารละลาย BA, โซเดียมไบคาร์บอเนต และเถ้า ปรับความเป็นบัฟเฟอร์ในระบบของถังปฏิกรณ์ CSTR ที่ HRT 7, 5, 4, 3, 2 และ 1 วัน 27
ตารางที่ 3.4 สภาวะและปัจจัยที่ควบคุมของกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR และ PFR 30
ตารางที่ 3.5 สารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง 30
ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 30
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (POME) และสาหร่ายพุงชะโด 32
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์หลังการหมักร่วมแบบแบทช์ระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดที่ความเข้มข้นซับสเตรตร่วมเริ่มต้น 10 g-VS/L 36
ตารางที่ 4.3 ผลผลิตของมีเทนจากการหมักด้วยสารตั้งต้นต่าง ๆ ที่อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่างกัน 38
ตารางที่ 4.4 ศักยภาพผลผลิตไฮโดรเจนและมีเทนจากกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสองขั้นตอนของ POME และสาหร่ายพุงชะโดที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ 40
ตารางที่ 4.5 สมรรถนะของระบบถังปฏิกรณ์ CSTR ผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากการย่อยสลายร่วม POME และสาหร่ายพุงชะโด 51
ตารางที่ 4.6 สมรรถนะของระบบถังปฏิกรณ์ PFR ผลิตแก๊สมีเทนจากการย่อยสลายร่วม POME และสาหร่ายพุงชะโด 52
ตารางที่ 4.7 ศักยภาพผลผลิตไฮโดรเจนและมีเทนจากกระบวนการย่อยสลายร่วมไร้อากาศสองขั้นตอนของ POME และสาหร่ายพุงชะโดที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ 53
ตารางที่ 4.8 ผลการ blast ของแบนที่ตัดจาก DGGE เจลของกลุ่มจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศสองขั้นตอนของ POME และสาหร่ายพุงชะโดแบบป้อนต่อเนื่อง 55
ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการทางกายภาพ และทางเคมีของ POME 77
ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการทางกายภาพ และทางเคมีของสาหร่ายพุงชะโด 78
ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์ COD, TKN, Total phenolic content และ SO_4^{2-} ของน้ำหมักขาออกที่ HRT ต่าง ๆ 79

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลเปอร์เซนไฮโดรเจนจากการศึกษาศักยภาพของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนในขั้นตอนแรกของกระบวนการหมักสองขั้นตอน จากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของ POME และสาหร่ายพุงชะโด ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 80
ตารางที่ ข.5 ข้อมูลไฮโดรเจนรวม จากการศึกษาศักยภาพของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนในขั้นตอนแรกของกระบวนการหมักสองขั้นตอน จากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของ POME และสาหร่ายพุงชะโด ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 80
ตารางที่ ข.6 ข้อมูลเปอร์เซนมีเทน จากการศึกษาศักยภาพของการผลิตมีเทนในขั้นตอนสองของกระบวนการหมักสองขั้นตอน จากน้ำหมักของขั้นตอนแรกจากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของ POME และสาหร่ายพุงชะโด ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 81
ตารางที่ ข.7 ข้อมูลผลมีเทนรวม จากการศึกษาศักยภาพของการผลิตมีเทนในขั้นตอนสองของกระบวนการหมักสองขั้นตอน จากน้ำหมักของขั้นตอนแรกจากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของ POME และสาหร่ายพุงชะโด ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 81
ตารางที่ ข.8 ข้อมูลผลรวม และผลผลิตของไฮโดรเจนและมีเทนสุดท้าย จากการศึกษาศักยภาพของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและมีเทน ในกระบวนการหมักสองขั้นตอนจากการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศของ POME และสาหร่ายพุงชะโด ที่อัตราส่วนต่าง ๆ 82

Prince of Songkla University Pattani Campus

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ 2.1 ลักษณะส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของสาหร่ายพุงชะโด ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป (Stereo Microscope) 6
ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ 7
ภาพที่ 3.1 แผนผังลำดับการทดลอง 17
ภาพที่ 3.2 น้ำทิ้งที่เก็บจากท่อน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่บ่อพักน้ำเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากบริษัทปาล์มพัฒนาชายแดนใต้ จำกัด 18
ภาพที่ 3.3 สาหรายพุงชะโดบริเวณสวนสาธารณะ เทศบาลเมือง จ.ปัตตานี 19
ภาพที่ 3.4 สาหร่ายพุงชะโด (*Ceratophyllum demersum*) 20
ภาพที่ 3.5 ขวดซีรัมบรรจุเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตกรด 22
ภาพที่ 3.6 จุดดึงตะกอนของถังปฏิกรณ์ Chanel plug flow reactor 23
ภาพที่ 3.7 ขวดซีรัมบรรจุเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตมีเทน 24
ภาพที่ 3.8 ระบบสำหรับกระบวนการย่อยสลายขั้นตอนแรกเพื่อผลิตไฮโดรเจนด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR 25
ภาพที่ 3.9 ระบบถังปฏิกรณ์ CSTR สำหรับผลิตไฮโดรเจน 27
ภาพที่ 3.10 ระบบสำหรับกระบวนการย่อยสลายขั้นที่สองเพื่อผลิตมีเทนด้วยถังปฏิกรณ์ PFR 28
ภาพที่ 3.11 ระบบถังปฏิกรณ์ PFR สำหรับผลิตมีเทน 29
ภาพที่ 4.1 ปริมาณผลผลิตแก๊สไฮโดรเจนรวมจากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโด แบบแบทช์ที่ความเข้มข้นซับสเตรตร่วมเริ่มต้น 10 g-VS/L 34
ภาพที่ 4.2 ผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนจากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดแบบแบทช์ที่ความเข้มข้นซับสเตรตร่วมเริ่มต้น 10 g-VS/L 34
ภาพที่ 4.3 ปริมาณผลผลิตมีเทนรวมจากการหมักด้วยน้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจนจากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ 37
ภาพที่ 4.4 ผลผลิตมีเทนจากน้ำหมักจากขั้นตอนการผลิตไฮโดรเจนด้วยการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ 38
ภาพที่ 4.5 ผลผลิตไฮโดรเจนจากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR ที่สภาวะสภาวะ HRT 7, 5, 4, 3, 2 และ 1 วัน 43
ภาพที่ 4.6 อัตราผลผลิตไฮโดรเจนและ pH ขาเข้า และขาออก จากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR ที่สภาวะ HRT 7, 5, 4, 3, 2 และ 1 วัน 44
ภาพที่ 4.7 กรดอินทรีย์จากการหมักร่วมระหว่าง POME และสาหร่ายพุงชะโดด้วยถังปฏิกรณ์ CSTR ที่สภาวะ (I) เริ่มต้นป้อน POME สารละลาย $NaHCO_3$ 2.5 g/L และ ป้อน POME ที่ HRT 7, 5, 4, 3, 2 และ 1 วัน ตามลำดับ 46
ภาพที่ 4.8 ผลผลิตมีเทนด้วยถังปฏิกรณ์ PFR ที่สภาวะการดำเนินการที่ HRT 52.5, 40 และ 30 วัน 47

ภาพที่ 4.9 อัตราผลผลิตมีเทน pH ขาเข้าและขาออก ด้วยถังปฏิกรณ์ PFR ที่สภาวะดำเนินการที่ HRT 52.5, 40 และ 30 วัน 48
ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของแก๊สมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์จากการหมักด้วยถังปฏิกรณ์ PFR ที่อุณหภูมิห้อง จากน้ำหมักขาออกของการผลิตไฮโดรเจนจากการหมักร่วมระหว่าง POME กับสาหร่ายพุงชะโด 49
ภาพที่ 4.11 กรดอินทรีย์ในถัง PFR ที่ควบคุมสภาวะที่ HRT 52.5, 40 และ 30 วัน 50
ภาพที่ 4.12 โครงสร้างกลุ่มจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศสองขั้นตอนของ POME และสาหร่ายพุงชะโดแบบป้อนต่อเนื่อง 55
ภาพที่ 4.13 ลักษณะการเกิดโฟมในถังปฏิกรณ์ PFR 56
ภาพที่ 4.14 โครงสร้างกลุ่มจุลินทรีย์ที่พบในตะกอนโฟม 57

Prince of Songkla University
Pattani Campus