

การบำบัดสีจากน้ำเสียผ้าบาติกในชุมชนจังหวัดนราธิวาสโดยกระบวนการทางเคมี

The Color Treatment from Batik Wastewater in Narathiwat Community by using Chemical Process

ปิยะวรรณ หลีชาติ^{1*} และ ชูรียานา ดอเฮะ¹
Piyawan Leechart^{1*} and Sureeyana Doheh¹

(Received: 9 August 2024; Revised: 8 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตผ้าบาติกทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีและโลหะหนักเป็นส่วนประกอบของสี ย้อมที่มาจากขั้นตอนการย้อมและการล้างผ้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีใน น้ำเสียผ้าบาติกจากกลุ่มผลิตผ้าบาติกของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดนราธิวาสจำนวน 2 กลุ่ม การศึกษาการบำบัดสี ในน้ำเสียโดยใช้สารเคมีจำนวน 12 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไอรอน (II) ซัลเฟต ($FeSO_4$) กรดไนตริก (HNO_3) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ($NaClO$) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) และ โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$) ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% เพื่อให้ ได้ชนิดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงสุด จากนั้นนำชนิดสารเคมีที่ได้จากผลการทดลองมาศึกษาผล ของเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีลงในน้ำเสียเป็นเวลา 10 20 30 40 60 และ 90 นาที ผลการศึกษาพบว่า สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้ดีที่สุดคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ($NaClO$) ที่ความเข้มข้น 3% กวนผสมกับน้ำเสียผ้าบาติกเป็นระยะเวลา 90 นาที ประสิทธิภาพสูงสุดของการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกของ ชุมชนที่ 1 และชุมชนที่ 2 คือ 90.15 และ 76.90% ตามลำดับ โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบอยู่ในช่วง 10.00–11.20

คำสำคัญ : น้ำเสียผ้าบาติก การบำบัดสี สารเคมี

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author, E-mail: piyawan.l@pnu.ac.th

Abstract

The batik production process led to the wastewater that are contaminated with color and heavy metals ion inclusion in a dye molecule from dyeing and washing process. The objective of the project was study the color treatment efficiency in batik wastewater from two batik production communities of the small and micro community enterprise (SMCE) in Narathiwat province. The study of color treatment in batik wastewater by using the twelve chemical reagents such as Aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), Calcium chloride (CaCl_2), Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Hydrogen peroxide (H_2O_2), Iron (II) sulphate (FeSO_4), Nitric acid (HNO_3), Potassium chloride (KCl), Potassium hydroxide (KOH), Sulphuric acid (H_2SO_4), Sodium hypochlorite (NaClO), Sodium metabisulphite, ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) and Sodium nitrate (NaNO_3) concentration 1, 3 and 5% were investigated for the type of chemical reagents that have the highest color treatment efficiency. Then, the type of chemical reagents from the experiment results were studied the effect of stirring duration time of the mixing chemical reagents in wastewater at 10, 20, 30, 40, 60 and 90 minutes. The results were shown that 3% of sodium hypochlorite (NaClO) with stirring duration time 90 minutes was the highest color removal. The highest color treatment efficiency of batik wastewater from the community 1 and community 2 were about 90.15 and 76.90%, respectively. The pH of the system after wastewater treatment were about 10.00–11.20.

Keywords : Batik wastewater, Color treatment, Chemical reagents

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตผ้าบาติกมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นอุตสาหกรรมที่มีในหลายประเทศของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย เป็นต้น การผลิตผ้าบาติกในประเทศไทยมักจะเป็นการผลิตโดยสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก วิชาหกิจชุมชน และกลุ่มชุมชนท้องถิ่น กระบวนการผลิตทำให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อมผ้าและสารเคมี จึงทำให้คุณลักษณะของน้ำเสีย เช่น สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids : TSS) บีโอดี (Biochemical oxygen demand : BOD) และ ซีโอดี (Chemical oxygen demand : COD) มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งตามที่

กฎหมายกำหนดไว้ (Zakaria et al., 2023; Istirokhatun et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) สารหนู (As) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมผ้าอีกด้วย (Juliani et al., 2021) กระบวนการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment process) กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical treatment process) กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process) และกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี (Physical-chemical treatment process) (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) โดยระบบบำบัดน้ำเสียมักจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การบำบัดก่อนเบื้องต้น (Pretreatment) การบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) การบำบัดขั้นที่ 2 (Secondary treatment) และการบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary treatment) (Tchobanoglous et al., 2004; David & Bele, 1999; Crini & Lichtfouse, 2019) ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียหนึ่งระบบอาจมีการใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียมากกว่าหนึ่งประเภทที่นำไปใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบบำบัด การพิจารณากระบวนการและขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียต้องพิจารณาให้ครอบคลุมปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด การควบคุมและบำรุงรักษาระบบ ปัญหาที่เกิดจากการทำงานของระบบ พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายการทำงานของระบบ และการบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อให้ได้วิธีการบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องมีค่าดัชนีคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic degradation) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ (Aerobic granular sludge technology) การใช้โอโซน (Ozonation) การใช้แสงยูวี (UV Irradiation) (Fadzli et al., 2024; Qomariyah et al., 2024; Utami et al., 2023; Fatimah et al., 2021; Oktavia et al., 2024; Soedjono et al., 2021; Setianingsih et al., 2024; Salim & Prihandrijanti, 2023) ซึ่งสามารถช่วยบำบัดสีและสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียผ้าบาติกได้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกด้วยการบำบัดทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำ และกลุ่มชุมชนในท้องถิ่นสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียด้วยสารเคมี 12 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไอรอน (II) ซัลเฟต ($FeSO_4$) กรดไนตริก (HNO_3) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) และ โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$) และศึกษาความ

เข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมของสารเคมี เพื่อให้ได้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียได้ดีที่สุด

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำผ้าบาติกจากกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาส
2. นำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไปศึกษาเพื่อใช้ในขั้นตอนการพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ
3. เป็นทางเลือกในการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำผ้าบาติกของชุมชนท้องถิ่นอีกทางหนึ่ง

วิธีการวิจัย

1. น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก

น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลองจะทำการเก็บรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาสจำนวน 2 กลุ่ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าบาติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำมาตรวจวัดเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2. สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

การทดสอบการบำบัดสีด้วยสารเคมีจะใช้สารเคมีจำนวน 12 ชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไอรอน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) กรดไนตริก (HNO_3) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) และโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Katheresan et al., 2018; Piaskowski et al., 2018; Dawood & Sen, 2014)

3. การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

การศึกษานี้ของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยการใส่สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1 และ 5 % (v/v) ทดสอบกับน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ทดลอง 3 ซ้ำ) นำไปกวนด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที จากนั้นรอให้สารเคมีทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำส่วนที่ใสไปวัดค่า

ดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 1 และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำส่วนที่ใสที่ได้จากการทดลองในขวดพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนที่เป็นตะกอนให้กรองด้วยกระดาษกรอง นำไปอบให้แห้ง และเก็บใส่ในถุงพลาสติกที่มีซิปล็อกวางไว้ในตู้ดูดความชื้น

4. การศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมี

การศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีทำการทดสอบโดยใช้ชนิดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียมากที่สุดจากผลการทดสอบในข้อ 3 ที่มีปริมาณความเข้มข้น 1 3 และ 5% (% v/v) ทดสอบกับน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ทดลอง 3 ข้าง) นำไปกวนด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมสารเคมีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที จากนั้นรอให้สารเคมีทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 1 และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสที่ได้จากการทดลองในขวดพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนที่เป็นตะกอนให้กรองด้วยกระดาษกรอง นำไปอบให้แห้ง และเก็บใส่ในถุงพลาสติกที่มีซิปล็อกวางไว้ในตู้ดูดความชื้น

5. การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสี

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดสี (\%)} = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0} \quad (1)$$

โดย C_0 คือ ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียก่อนการบำบัด (mg/L)

C คือ ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียหลังการบำบัด (mg/L)

6. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม SPSS โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One-way analysis of variance (ANOVA) โดยวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาน้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก

ผลการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น (λ_{max}) 526 นาโนเมตร และ 402 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียของสารเคมีชนิดต่าง ๆ เมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.48 และ 7.89 ตามลำดับ โดยลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นแสดงดังในภาพที่ 1 สีของน้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 มีสีแดงเข้ม ขณะที่น้ำเสียจากชุมชนกลุ่มที่ 2 มีสีแดงอ่อน โดยสีของน้ำเสียผ้าบาติกจะขึ้นอยู่กับการใช้สีต่าง ๆ ในการวาดลายบนผ้าบาติกและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก (Syed Shaharuddin et al., 2021)



น้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1



น้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2

ภาพที่ 1 น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาส

2. ผลการศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

ผลการศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1, 3 และ 5% พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มากที่สุดคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 3% มีประสิทธิภาพการบำบัดสี 90.70% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.21 (ตารางที่ 1 และ 2) การบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 ความเข้มข้นโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1% มีประสิทธิภาพการบำบัดสี 76.97% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.21 (ตารางที่ 3 และ 4) นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

การบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ พบว่าสารเคมีบางชนิดที่ไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1% ไอรอน (II) ซัลเฟต และโซเดียมไนเตรต สารเคมีที่ไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไอรอน (II) ซัลเฟต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไนเตรตที่ความเข้มข้น 5% โดยสารเคมีดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนทั้ง 2 กลุ่ม ได้ 0% ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีไม่สามารถบำบัดโมเลกุลของสีในน้ำเสียผ้าบาติกและทำให้สีในน้ำเสียผ้าบาติกมีสีเข้มขึ้นหลังจากใส่สารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติก

ตารางที่ 1 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ประสิทธิภาพการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 (%)		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	0.00 ^a	2.52 ± 0.55 ^a	12.20 ± 0.85 ^{ab}
Calcium chloride (CaCl_2)	11.40 ± 0.32 ^a	8.39 ± 0.55 ^a	20.40 ± 0.85 ^b
Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	63.00 ± 0.10 ^d	68.20 ± 0.12 ^d	66.40 ± 0.32 ^d
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	13.50 ± 0.44 ^{ab}	21.00 ± 0.55 ^b	20.80 ± 0.44 ^b
Iron (II) sulphate (FeSO_4)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Nitric acid (HNO_3)	22.00 ± 0.73 ^b	20.10 ± 0.95 ^b	22.40 ± 0.31 ^b
Potassium chloride (KCl)	36.80 ± 0.95 ^c	37.80 ± 0.64 ^c	36.20 ± 0.32 ^c
Potassium hydroxide (KOH)	8.39 ± 0.55 ^a	15.20 ± 0.32 ^{ab}	24.60 ± 0.32 ^b
Sulphuric acid (H_2SO_4)	1.26 ± 0.21 ^a	10.50 ± 0.55 ^a	1.47 ± 0.21 ^a
Sodium hypochlorite (NaClO)	76.20 ± 0.64 ^{de}	90.70 ± 0.24 ^e	88.70 ± 0.21 ^e
Sodium metabisulphit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	1.82 ± 0.32 ^a	2.73 ± 0.42 ^a	10.30 ± 0.53 ^a
Sodium nitrate (NaNO_3)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, S.E.) ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	pH ของระบบหลังการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	10.00 ± 0.06	10.03 ± 0.02	9.89 ± 0.21
Calcium chloride (CaCl_2)	10.31 ± 0.02	10.21 ± 0.02	10.15 ± 0.02
Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	10.49 ± 0.01	10.75 ± 0.02	11.22 ± 0.02
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	10.51 ± 0.01	10.41 ± 0.04	10.25 ± 0.06
Iron (II) sulphate (FeSO_4)	2.12 ± 0.11	2.03 ± 0.05	1.85 ± 0.11
Nitric acid (HNO_3)	10.92 ± 0.08	10.49 ± 0.02	9.98 ± 0.33
Potassium chloride (KCl)	11.00 ± 0.01	10.94 ± 0.02	10.93 ± 0.01
Potassium hydroxide (KOH)	12.23 ± 0.03	12.68 ± 0.05	12.88 ± 0.02
Sulphuric acid (H_2SO_4)	10.80 ± 0.09	10.32 ± 0.12	9.11 ± 0.04
Sodium hypochlorite (NaClO)	11.21 ± 0.01	11.21 ± 0.04	11.27 ± 0.02
Sodium metabisulphit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	9.90 ± 0.11	6.17 ± 0.07	5.75 ± 0.06
Sodium nitrate (NaNO_3)	11.21 ± 0.01	11.11 ± 0.02	11.06 ± 0.01

ตารางที่ 3 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ประสิทธิภาพการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 (%)		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Calcium chloride (CaCl_2)	14.34 ± 0.62 ^{ab}	29.93 ± 0.82 ^{bc}	18.28 ± 0.54 ^b
Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	19.35 ± 0.54 ^b	41.22 ± 0.82 ^c	54.03 ± 0.27 ^{cd}
Iron (II) sulphate (FeSO_4)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Nitric acid (HNO_3)	11.47 ± 0.31 ^{ab}	13.98 ± 0.54 ^{ab}	21.77 ± 0.24 ^b
Potassium chloride (KCl)	22.44 ± 0.35 ^b	19.03 ± 0.46 ^b	11.74 ± 0.41 ^{ab}
Potassium hydroxide (KOH)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
Sulphuric acid (H_2SO_4)	17.74 ± 0.54 ^b	15.13 ± 0.43 ^{ab}	23.76 ± 0.39 ^b
Sodium hypochlorite (NaClO)	76.97 ± 0.41 ^d	72.40 ± 0.82 ^d	32.26 ± 0.54 ^{bc}
Sodium metabisulphit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	15.68 ± 0.86 ^{ab}	14.52 ± 0.54 ^{ab}	14.34 ± 0.31 ^{ab}
Sodium nitrate (NaNO_3)	14.70 ± 0.62 ^{ab}	46.95 ± 0.31 ^{cd}	0.00 ^a

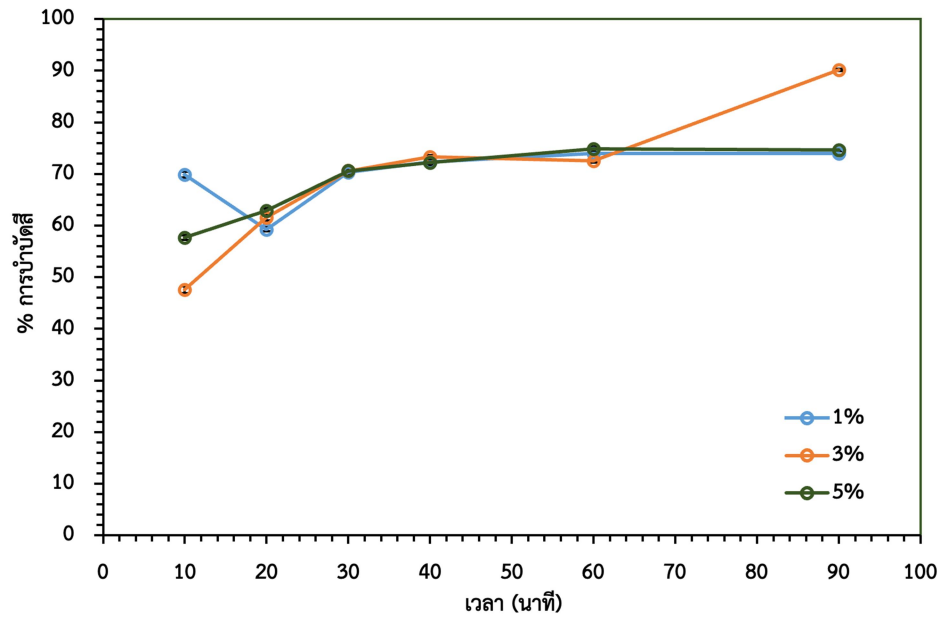
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย $\pm$ คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, S.E.) ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

ตารางที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

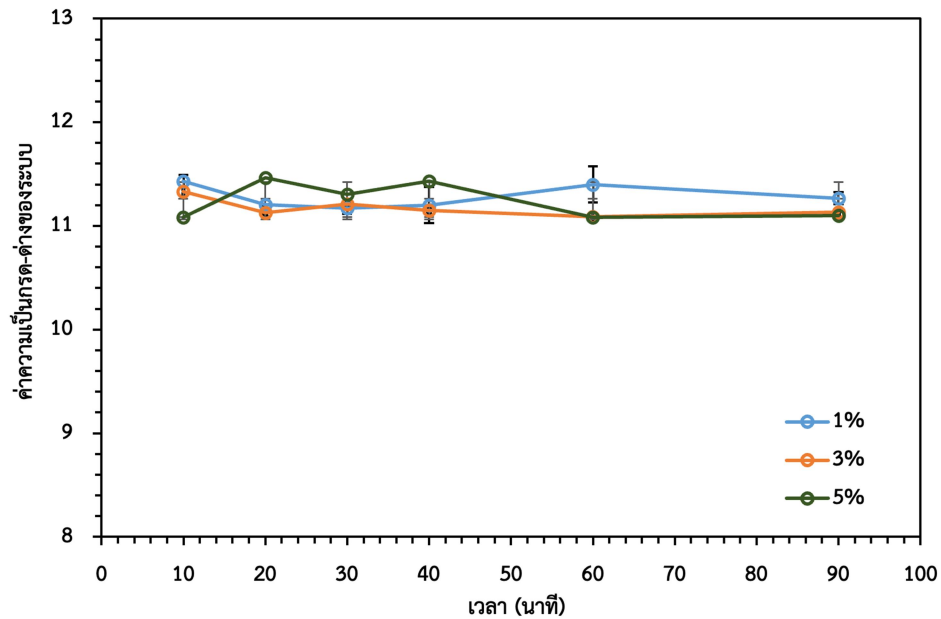
ชนิดของสารเคมี	pH ของระบบหลังการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	3.37 ± 0.03	3.54 ± 0.05	3.28 ± 0.03
Calcium chloride (CaCl_2)	8.79 ± 0.04	8.48 ± 0.05	8.44 ± 0.05
Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	10.00 ± 0.06	9.96 ± 0.04	9.98 ± 0.04
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	9.73 ± 0.05	9.54 ± 0.04	9.32 ± 0.01
Iron (II) sulphate (FeSO_4)	2.02 ± 0.02	1.41 ± 0.01	1.16 ± 0.01
Nitric acid (HNO_3)	8.92 ± 0.03	7.51 ± 0.04	6.77 ± 0.09
Potassium chloride (KCl)	10.00 ± 0.01	9.98 ± 0.01	9.97 ± 0.01
Potassium hydroxide (KOH)	12.35 ± 0.05	12.97 ± 0.01	12.75 ± 0.02
Sulphuric acid (H_2SO_4)	2.41 ± 0.18	1.42 ± 0.06	1.11 ± 0.02
Sodium hypochlorite (NaClO)	10.48 ± 0.01	10.75 ± 0.02	11.24 ± 0.03
Sodium metabisulphit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	5.94 ± 0.03	5.04 ± 0.05	4.92 ± 0.06
Sodium nitrate (NaNO_3)	10.31 ± 0.02	10.21 ± 0.02	10.15 ± 0.02

3. ผลการศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมี

การศึกษ ปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก โดยใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 1 3 และ 5% ทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมสารเคมีระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที จากผลการศึกษาพบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมี 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 ได้สูงสุดคือ 90.15% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.13 ดังภาพที่ 2 และ 3

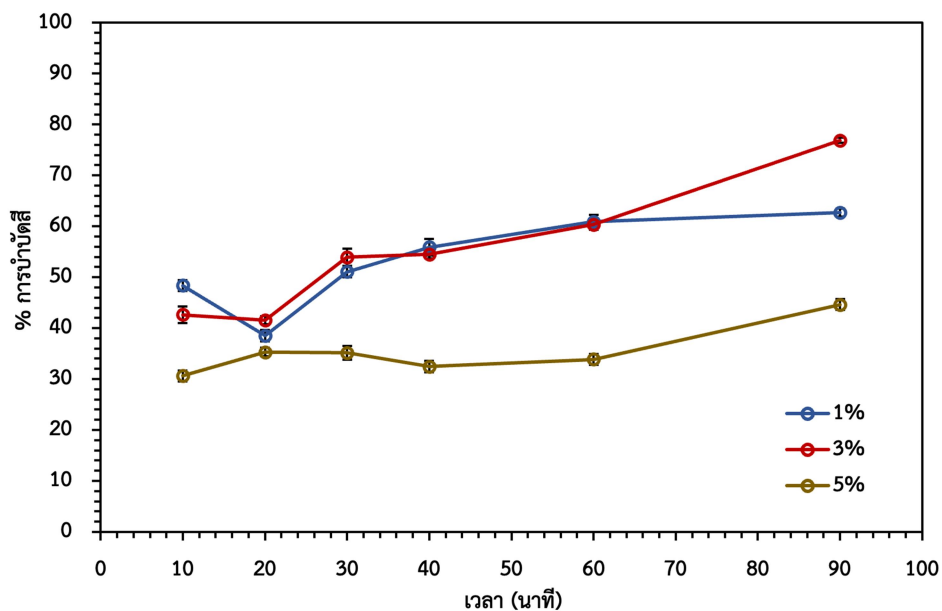


ภาพที่ 2 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์

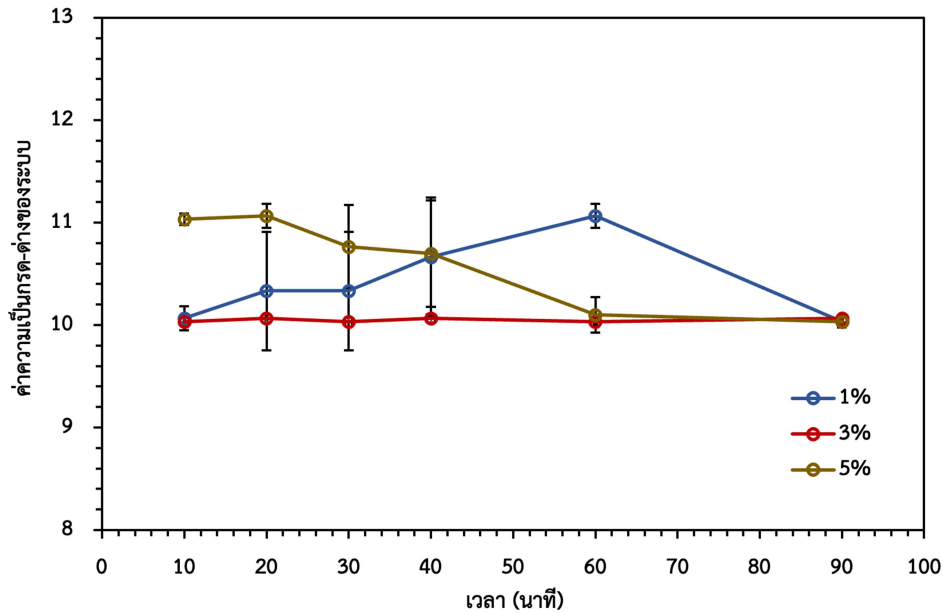


ภาพที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ผลการศึกษาปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 พบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการบำบัดสี 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้สูงสุดคือ 76.90% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 10.07 ดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์



ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

อภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนท้องถิ่นใน จังหวัดนราธิวาสได้ทำการคัดเลือกมา 2 กลุ่ม จากหลาย ๆ ชุมชนที่มีการผลิตผ้าบาติกในช่วงที่กำลังทำ โครงการวิจัย ซึ่งจากการสำรวจการผลิตผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนในจังหวัดนราธิวาสจะผลิตผ้าบาติกในช่วงเวลา ที่ว่างจากการทำงานประจำหรือมีการสั่งผลิตผ้าบาติกจากลูกค้า ทำให้ได้ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาจากกลุ่ม ชุมชนเพียง 2 กลุ่ม คุณสมบัติของน้ำเสียและสีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่ม ที่ 2 จะขึ้นอยู่กับการใช้สีต่าง ๆ ในการวาดลายบนผ้าบาติกและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก (Shaharuddin et al., 2021) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกโดยส่วนมากมักมีค่า เป็นด่าง (Zakaria et al., 2023) ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาพบว่า น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.48 และ 7.89 ตามลำดับ สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการบำบัดสีทั้ง 12 ชนิด เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดสาร ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยวิธีทางเคมีจะนำมาใช้ในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) ของระบบบำบัด น้ำเสีย (Crini & Lichtfouse, 2019) การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยใช้สารเคมีชนิด ต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่

1 และกลุ่มที่ 2 มากที่สุดคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีอยู่ในช่วง 32.36 – 90.70% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีเท่ากับ 10.48 - 11.27

การทดสอบสารเคมีชนิดต่าง ๆ ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการบำบัดขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสีที่อยู่ในน้ำเสียผ้าบาติก (Crini & Lichtfouse, 2019) จากงานวิจัยนี้การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติก โดยทำให้เกิดการออกซิเดชันทางเคมีปฏิกิริยา (Chemical oxidation) (Crini & Lichtfouse, 2019; Hu et al., 2020) โซเดียมไฮโปคลอไรต์จะช่วยเร่งให้เกิดการแยกออกจากกันของ Azo bond ของโมเลกุลสีที่เป็น Azo dye ได้เร็วขึ้น (Crini & Lichtfouse, 2019; Cheung et al., 2023) นอกจากนี้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ยังเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มโครโมฟอร์ของสีทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของสี และกำจัดสีออกจากน้ำได้ (Urano & Fukuzaki, 2011; Pizzolato et al., 2002)

การศึกษาโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% ในระยะเวลาการผสมสารเคมีกับน้ำเสียผ้าบาติกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที พบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติกเป็นเวลา 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ได้สูงสุด จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มโซเดียมไฮโปคลอไรต์ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารเคมี ดังนั้นวิธีการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกโดยการใช้สารเคมีควรทำการทดสอบปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียผ้าบาติกในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะทำการบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกในระบบบำบัดน้ำเสียจริง เนื่องจากการศึกษาระยะเวลาการผสมโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีการทดสอบระยะเวลาการผสมมากกว่า 90 นาที พบว่าน้ำหลังการบำบัดมีสีเข้มขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติก 0% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ไม่สามารถบำบัดโมเลกุลของสีในน้ำเสียผ้าบาติกที่ระยะเวลาการผสมมากกว่า 90 นาทีได้ ดังนั้นการศึกษาระยะเวลาการผสมจึงแสดงผลประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกในช่วงระยะเวลา 10-90 นาที

สรุป

การศึกษานิตและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์และที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติกเป็นเวลา 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้ 76.90 - 90.15% โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบอยู่ในช่วง 10.00 – 11.20 การเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกเพิ่มขึ้น ข้อดีในการศึกษานิตและความ

เข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกทำให้ได้สารเคมีที่มีความสามารถในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกและสามารถนำขั้นตอนนี้ไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกที่จะพัฒนาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีขั้นตอนหนึ่งที่จะนำมาใช้ในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) ของระบบบำบัดน้ำเสียผ้าบาติก การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ทำให้น้ำหลังการบำบัดมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปของระบบบำบัดน้ำเสียควรมีขั้นตอนในปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัด เพื่อให้มีคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนดไว้

อ้างอิง

- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. *ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป*, 127, ตอนพิเศษ 69ง.
- สันหัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). *ระบบบำบัดน้ำเสีย : Wastewater treatment system*. ท้อป.
- Cheung, P. C. W., Williams, D. R., Kirk, D. W., Murphy, P. J., Barton, S. J., & Barker, J. (2023). Decolourisation of metal-azo dyes in wastewaters by sodium peroxodisulphate : A template for experimental investigations. *The Open Environmental Research Journal*, 16, 1-18. <http://doi.org/10.2174/25902776-v16-e230216-2022-2>
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 145–155.
- David, H. F. L., & Bele, G. L. (1999). *Wastewater treatment*. CRC Press.
- Dawood, S., & Sen, T. K. (2014). Review on dye removal from its aqueous solution into alternative cost effective and non-conventional adsorbents. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 1(104), 1-11. <https://doi.org/10.17303/jce.2014.105>
- Fadzli, J., Puasa, S.W., Him N.R.N., Hamid, K.H.K., & Amri, N. (2024). Electrocoagulation : Removing colour and COD from simulated and actual batik wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 320(1), 2100658. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100658>

- Fatimah, I., Sahroni, I., Dahlyani, M. S. E., Oktaviyani, A. M. N., & Nurillahi, R. (2021). Surfactant-modified *Salacca zalacca* skin as adsorbent for removal of methylene blue and batik's wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 44(3), 3211-3216. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.440>
- Hu, X., Meneses, Y. E., & Hassan, A. A. (2020). Integration of sodium hypochlorite pretreatment with co-immobilized microalgae/ bacteria treatment of meat processing wastewater. *Bioresource Technology*, 304(12), 122953. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122953>
- Istirokhatun, T., Susanto, H., Budihardjo, M. A., Septiyani, E., Wibowo, A. R., & Karamah, E. F. (2021). Treatment of batik industry wastewater plant effluent using nanofiltration. *International Journal of Technology*, 12(4), 770-780. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4645>
- Juliani, A., Rahmawati, S., & Yoneda, M. (2021). Heavy metal characteristics of wastewater from batik industry in Yogyakarta area, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 20(80), 59-67. <https://doi.org/10.21660/2021.80.6271>
- Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4676-4697. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
- Oktavia, S., Rohmah, S., & Novi, C. (2024). Application of chitosan from *Litopenaeus vannamei* and baglog waste from *Pleurotus ostreatus* for decolorizing batik wastewater. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(2), 638-647. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.5859>
- Piaskowski, K., Dąbrowska, R. S., & Zarzycki, P. K. (2018). Dye removal from water and wastewater using various physical, chemical, and biological processes. *Journal of AOAC international*, 101(5), 1371-1384. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0051>
- Pizzolato, T. M., Carissimi, E., Machado, E. L. & Schneider, I. A. H. (2002). Colour removal with NaClO of dye wastewater from an agate-processing plant in Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Mineral Processing*, 65(3), 203-211. [http://doi.org/10.1016/S0301-7516\(01\)00082-5](http://doi.org/10.1016/S0301-7516(01)00082-5)
- Qomariyah, L., Kadir, A., Hirano, T., Tejamaya, M., Fauziyah, M., Putra, N. R., Sunarno, S. D. A. M., & Atmajaya, H. (2024) Sustainable removal of pigment dye from traditional batik textile

- wastewater using ZnO photocatalysis. *South African Institution of Chemical Engineers*, 50, 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.010>
- Salim, C., & and Prihandrijanti, M. (2023). The potential of ozone/UV system in the treatment of batik wastewater in Indonesia. *Journal of Applied Science and Advanced Engineering*, 1(2), 42-46. <https://doi.org/10.59097/jasae.v1i2.14>
- Setianingsih, N. I., Hadiyanto, Budihardjo, M. A., Yuliasni, R., Vistanty, H., Mukimin, A., & Sudarno. (2024). Characteristics and performance of aerobic granular sludge technology in the treatment of real batik textile wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05832-0>
- Shaharuddin, S. I. S., Shamsuddin, M. S., Drahman, M. H., Hasan, Z., Mohd Asri, N. A., Nordin, A. A., & Shaffiar, N. M. (2021). A review on the Malaysian and Indonesian batik production, challenges, and innovations in the 21st century. *SAGE Open*, 11(3), 1-19. <https://doi.org/10.1177/21582440211040128>
- Soedjono, E. S., Slamet, A., Fitriani, N., Sumarlan, M. S., Supriyanto, A., Isnadina, D. R. M., & Othman, N. B. (2021). Residual seawater from salt production (bittern) as a coagulant to remove lead (Pb²⁺) and turbidity from batik industry wastewater. *Heliyon*, 7(11), e08268. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08268>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2004). *Wastewater engineering treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Urano, H., & Fukuzaki, S. (2011). The mode of action of sodium hypochlorite in the decolorization of azo dye orange II in aqueous solution. *Biocontrol Science*, 16(3), 123-126. <https://doi.org/10.4265/bio.16.123>
- Utami, M., Wang, S., Musawwa, M. M., Mafruhah, L., a, Fitri, M., Wijaya, K., Johnravindar, D., Abd-Elkader, O. H., Yadav, K. K., Ravindran, B., Chung, W. J., Chang, S. W., & Ramanujam, G. M. (2023). Photocatalytic degradation of naphthol blue from Batik wastewater using functionalized TiO₂-based composites. *Chemosphere*. 337, 139224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139224>
- Zakaria, N., Rohani, R., Wan Mohtar, W. H. M., Purwadi, R., Sumampouw, G. A., & Indarto, A. (2023). Batik effluent treatment and decolorization : A review. *Water*, 15(7), 1-24. <https://doi.org/10.3390/w15071339>