

## การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับระบบติดตามรอยเท้าคาร์บอนในการศึกษาระดับมัธยมศึกษา

**Jeanne D'Arc Amara Hanieka**

School of Electrical Engineering and Informatics

Institut Teknologi Bandung

Bandung, Indonesia

amarahanieka30@gmail.com

**Kridanto Surendro**

School of Electrical Engineering and Informatics

Institut Teknologi Bandung

Bandung, Indonesia

endro@itb.ac.id

### บทคัดย่อ—

การวิจัยนี้นำเสนอโซลูชันที่ครอบคลุมสำหรับความท้าทายที่สำคัญเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผสมผสานเทคโนโลยีอย่างแพร่หลายในการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โดยเสนอเว็บแอปพลิเคชันที่ปรับปรุงการตัดสินใจด้านการจัดซื้อให้สอดคล้องกับเป้าหมายความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ระบบใช้แนวทางขับเคลื่อนด้วยข้อมูลโดยใช้ข้อมูลโรงเรียนที่มีอยู่เพื่อติดตามและลดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แอปพลิเคชันนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการตัดสินใจด้านการจัดซื้ออย่างมีข้อมูลเท่านั้น แต่ยังช่วยในการจัดการสินค้าคงคลังและรูปแบบการใช้งาน ทำให้สามารถลดรอยเท้าคาร์บอนได้อย่างมีนัยสำคัญ กรอบงานนี้เป็นแบบจำลองสำหรับโรงเรียนทั่วโลกในการผสมผสานการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมเข้ากับกลยุทธ์การดำเนินงาน เพื่อส่งเสริมอนาคตที่ยั่งยืนในการศึกษา

**คำสำคัญ**—รอยเท้าคาร์บอน, การปล่อยก๊าซ, การติดตาม, การปรับปรุง, การศึกษาระดับมัธยมศึกษา

### I. บทนำ

ในช่วงสองสามทศวรรษที่ผ่านมา การผสมผสานเทคโนโลยีในการศึกษาได้เพิ่มขึ้นอย่างน่าทึ่ง โดยเปลี่ยนแปลงการเข้าถึงประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของกระบวนการศึกษาทั่วโลก เทคโนโลยีไม่เพียงแต่ให้การเข้าถึงวัสดุการเรียนรู้ที่หลากหลายและทันสมัยเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มการโต้ตอบระหว่างนักเรียนและครูในภูมิภาคต่างๆ [1] การนำเครื่องมือดิจิทัล ซอฟต์แวร์ และแพลตฟอร์มมาใช้อย่างแพร่หลายมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มคุณภาพการศึกษาและตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของนักเรียน

นอกจากนี้ ความมุ่งมั่นของรัฐบาลอินโดนีเซียต่อการดิจิทัลในการศึกษาได้รับการพิสูจน์โดยการจัดสรรงบประมาณ 3 พันล้านรูเปียห์สำหรับการจัดหาเครื่องมือการเรียนรู้ ICT โดยมีผู้ได้รับประโยชน์ 1,753,445 คน ในโรงเรียน 36,281 แห่งในปี 2019 [2] เครื่องมือเหล่านี้ประกอบด้วยเซิร์ฟเวอร์ แท็บเล็ต แล็ปท็อป LCD เราเตอร์ และฮาร์ดดิสก์ภายนอก

อย่างไรก็ตาม ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้นในโรงเรียนมักเป็นข้อกังวลที่ถูกละเลย [3] การอัปเดตและการนำเทคโนโลยีมาใช้อย่างต่อเนื่องในโรงเรียน โดยเฉพาะในอินโดนีเซีย อาจส่งผลกระทบต่อคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญหากไม่มีการจัดการด้วยการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม สถานการณ์นี้ก่อให้เกิดปัญหาร้ายแรงที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคพลังงานสูง ขยะอิเล็กทรอนิกส์ และรอยเท้าคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น

การรับมือกับความท้าทายเหล่านี้ต้องการการควบคุมและการจัดการใช้เทคโนโลยีการศึกษาอย่างรอบคอบ โดยมีการติดตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างละเอียด การเข้าใจทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานที่เทคโนโลยีการศึกษาใช้เป็นสิ่งสำคัญ ข้อมูลเชิงลึกดังกล่าวจะช่วยให้สามารถระบุพื้นที่ที่สามารถปรับปรุงการใช้เทคโนโลยีโดยไม่ลดทอนคุณภาพการศึกษา

ในขณะที่การวิจัยก่อนหน้านี้ได้สำรวจความสำคัญของการลดรอยเท้าคาร์บอนในบริบทของการพัฒนาที่ยั่งยืนและการปกป้องสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมการศึกษา แต่มีช่องโหว่ที่สำคัญในการพัฒนาแอปพลิเคชันการติดตามที่เฉพาะเจาะจงสำหรับสถาบันการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ตัวอย่างเช่น การศึกษาในปี 2021 [4] เน้นย้ำถึงความสำคัญของการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนเพื่อสร้างความตระหนักรู้ในหมู่นักเรียนเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและพัฒนาขั้นตอนที่สามารถดำเนินการได้เพื่อการปกป้องสภาพภูมิอากาศ ผลงานของพวกเขาเสนอเครื่องมือ Schools4Future ซึ่งช่วยให้นักเรียนสามารถคำนวณและลดการปล่อยคาร์บอนของโรงเรียนได้อย่างแข็งขันผ่านเครื่องมือประเมินบน Excel ในทำนองเดียวกัน การวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับการปล่อยคาร์บอนถูกดำเนินการที่โรงเรียนมัธยมใน Bulancak, Giresun, ประเทศตุรกี [5] ซึ่งรวมถึงการปล่อยจากกิจกรรมต่างๆ โดยนักเรียนและครูรวมถึงการปล่อยของสถาบัน อย่างไรก็ตาม ทั้งสองการศึกษามุ่งเน้นหลักในการประเมินและสร้างความตระหนักรู้มากกว่าการสร้างแอปพลิเคชันเฉพาะที่ออกแบบมาสำหรับสถาบันการศึกษาระดับมัธยมศึกษา

เพื่อติดตามและจัดการรอยเท้าคาร์บอนอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ ช่องโหว่นี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการพัฒนาแอปพลิเคชันดังกล่าวเพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดการสิ่งแวดล้อมและการศึกษาอย่างต่อเนื่องในระดับการศึกษาระดับมัธยมศึกษา

การศึกษานี้สำรวจความจำเป็นในการจำกัดการใช้เทคโนโลยีในโรงเรียนโดยการติดตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป้าหมายคือเพื่อให้โซลูชันพื้นฐานที่แนะนำผู้กำหนดนโยบาย นักการศึกษา และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการผสมผสานหลักการความยั่งยืนเข้ากับการพัฒนาและการใช้เทคโนโลยีในการศึกษาระดับมัธยมศึกษา การศึกษานี้มีเป้าหมายที่จะมีส่วนช่วยอย่างมีนัยสำคัญในการสร้างระบบการศึกษาที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับรุ่นลูกหลานในอนาคต

## II. บทวิจารณ์วรรณกรรม

### A. รอยเท้าคาร์บอน

ก๊าซเรือนกระจก (GHGs) ประกอบด้วยก๊าซต่างๆ ที่กักรังสีความร้อนและความร้อน ทำให้อุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดภาวะโลกร้อน GHG หลักประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) และฟลูออโรคาร์บอน เช่น CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub> และ NF<sub>3</sub> ซึ่งถูกระบุว่าเป็นผู้มีส่วนร่วมสำคัญต่อแนวโน้มการปล่อยก๊าซทั่วโลกตลอดหลายปีที่ผ่านมา [6]

ภาวะโลกร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวโลกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลานาน เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้น GHG ในบรรยากาศ ทำให้เอฟเฟกต์เรือนกระจกธรรมชาติรุนแรงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้มีผลกระทบร้ายแรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก อาจนำไปสู่เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้วเช่นอุทกภัย ภัยแล้ง และระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น รอยเท้าคาร์บอนโดยการคำนวณปริมาณแล้วคือการปล่อย GHG ทั้งหมดที่ผลิตโดยบุคคล องค์กร หรือกิจกรรมเฉพาะ [7] การวัดรอยเท้าคาร์บอนเป็นขั้นตอนแรกในการรับรู้ผลกระทบของกิจกรรมประจำวันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเริ่มดำเนินการเพื่อลดการปล่อย GHG

การปล่อย GHG สามารถจำแนกได้เป็นสามกลุ่มตามแหล่งที่มาและผลกระทบของกิจกรรมที่ผลิตการปล่อยเหล่านี้ [8]:

- Scope 1 หมายถึงการปล่อยโดยตรงจากแหล่งที่องค์กรเป็นเจ้าของหรือควบคุม เช่นการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- Scope 2 ครอบคลุมการปล่อยโดยอ้อมจากการผลิตพลังงานที่ซื้อมาซึ่งองค์กรใช้ เช่นพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากโรงไฟฟ้าภายนอก
- Scope 3 รวมถึงการปล่อยโดยอ้อมอื่นๆ ที่เกิดจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับองค์กรแต่ไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมโดยตรง รวมถึงการดำเนินงานห่วงโซ่อุปทาน การเดินทางเพื่อธุรกิจ และการใช้ผลิตภัณฑ์ของลูกค้า โดยทั่วไป การปล่อย Scope 3 เป็นแหล่งที่ใหญ่ที่สุดสำหรับองค์กรส่วนใหญ่

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งและองค์กร การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การปล่อย Scope 2 โดยเฉพาะจากการใช้เทคโนโลยีในโรงเรียนมัธยม การคำนวณที่จะใช้ในการวิจัยนี้มีดังนี้ โดยที่ Eelectricity แทนการปล่อยที่ผลิตโดยการใช้ไฟฟ้า Eelectricity แทนตัวคูณการปล่อยของกริดไฟฟ้าในอินโดนีเซียซึ่งมีค่า 0.7848 กก. CO<sub>2</sub>e/กิโลวัตต์ ชั่วโมง ในปี 2022 [9] P แทนพลังงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (วัตต์) และ t แทนเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)

(1)

### B. การสร้างแบบจำลองการปรับปรุง

การสร้างแบบจำลองการปรับปรุงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาโซลูชันที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่กำหนดโดยการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดเป้าหมายเฉพาะด้วยข้อจำกัดเฉพาะ [10] แบบจำลองการปรับปรุงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการตัดสินใจ โมเดลเหล่านี้มักถูกสร้างขึ้นเพื่อสะท้อนเป้าหมายของระบบ—ไม่ว่าจะเป็นการลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการปรับปรุงที่ออกแบบสำหรับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการซื้อเครื่องมือโรงเรียนรวมถึงตัวแปรและข้อจำกัดที่ปรับให้เหมาะสมกับความต้องการและทรัพยากรเฉพาะของสถาบันการศึกษา ฟังก์ชันเป้าหมายรวมต้นทุนและการปล่อยที่เกี่ยวข้องกับแต่ละรายการ โดยปรับตามลำดับความสำคัญของพวกเขา โดยมั่นใจว่ารายการที่สำคัญที่สุดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดจะได้รับความสำคัญ ข้อจำกัดถูกจัดรูปแบบเพื่อให้มั่นใจว่าความต้องการของแต่ละห้องได้รับการตอบสนองโดยไม่เกินงบประมาณหรือขีดจำกัดการปล่อย แนวทางที่เป็นโครงสร้างนี้ช่วยให้โรงเรียนสามารถตัดสินใจด้านการจัดซื้อที่มีข้อมูลและยั่งยืนมากขึ้นโดยการประเมินความสมดุลระหว่างต้นทุน ความจำเป็น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายในกรอบคณิตศาสตร์ วิธีการนี้เน้นย้ำถึงศักยภาพของการปรับปรุงในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรในสภาพแวดล้อมการศึกษา

## III. การกำหนดปัญหาและโซลูชัน

### A. ปัญหาการวิจัย

การผสมผสานเทคโนโลยีอย่างแพร่หลายในโรงเรียนมัธยมทั่วโลกนำมาซึ่งประโยชน์ที่สำคัญในการศึกษาแต่ไม่ได้มีการ

ตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพียงพอ โรงเรียนมักนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้โดยไม่ได้พิจารณาอย่างเต็มที่ถึงการปล่อยคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการบริโภคพลังงานและการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การขาดความตระหนักนี้ป้องกันการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมการศึกษา

ปัจจุบัน ไม่มีระบบเฉพาะที่ติดตามการปล่อยคาร์บอนจากเทคโนโลยีการศึกษาที่ใช้ในการศึกษาระดับมัธยมศึกษาโดยเฉพาะ ช่องโหว่นี้ทำให้โรงเรียนประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้เทคโนโลยีหรือทำตัวเลือกเทคโนโลยีที่ยั่งยืนได้ยาก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนสำหรับระบบที่ไม่เพียงแต่ติดตามและคาดการณ์การปล่อยก๊าซเท่านั้น แต่ยังแนะนำโรงเรียนในการดำเนินกลยุทธ์เพื่อลดรอยเท้าคาร์บอนของพวกเขา เพื่อส่งเสริมการปฏิบัติการศึกษาที่ยั่งยืนมากขึ้น

## B. โซลูชันที่เสนอ

โรงเรียนต้องการระบบในการจัดการการซื้อสินค้าตามข้อมูลการปล่อยก๊าซที่รวบรวมจากผู้ใช้ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการดำเนินกลยุทธ์การลดการปล่อยก๊าซ ระบบนี้จะรวมฟังก์ชันการปรับปรุงเพื่อจัดลำดับความสำคัญของการซื้อที่สอดคล้องกับเป้าหมายรอยเท้าคาร์บอนของโรงเรียน ฟังก์ชันนี้จะถูกรวมเข้ากับเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้งานง่ายบนอุปกรณ์ต่างๆ ผู้ใช้หลักของเว็บแอปพลิเคชันนี้รวมถึงผู้ดูแลระบบโรงเรียนและเจ้าหน้าที่จัดซื้อที่รับผิดชอบในการจัดการทรัพยากรของโรงเรียน แอปพลิเคชันได้รับการออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการของพวกเขาโดยให้เครื่องมือสำหรับการติดตามการปล่อยก๊าซ การติดตามการใช้ทรัพยากร และการปรับปรุงการตัดสินใจด้านการจัดซื้อตามเป้าหมายที่ยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติของระบบ เช่น การจัดการสินค้าคงคลังและการปรับปรุงการซื้อ ถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจของผู้ใช้เหล่านี้ โซลูชันที่เสนอสามารถดูได้ในรูปที่ 1

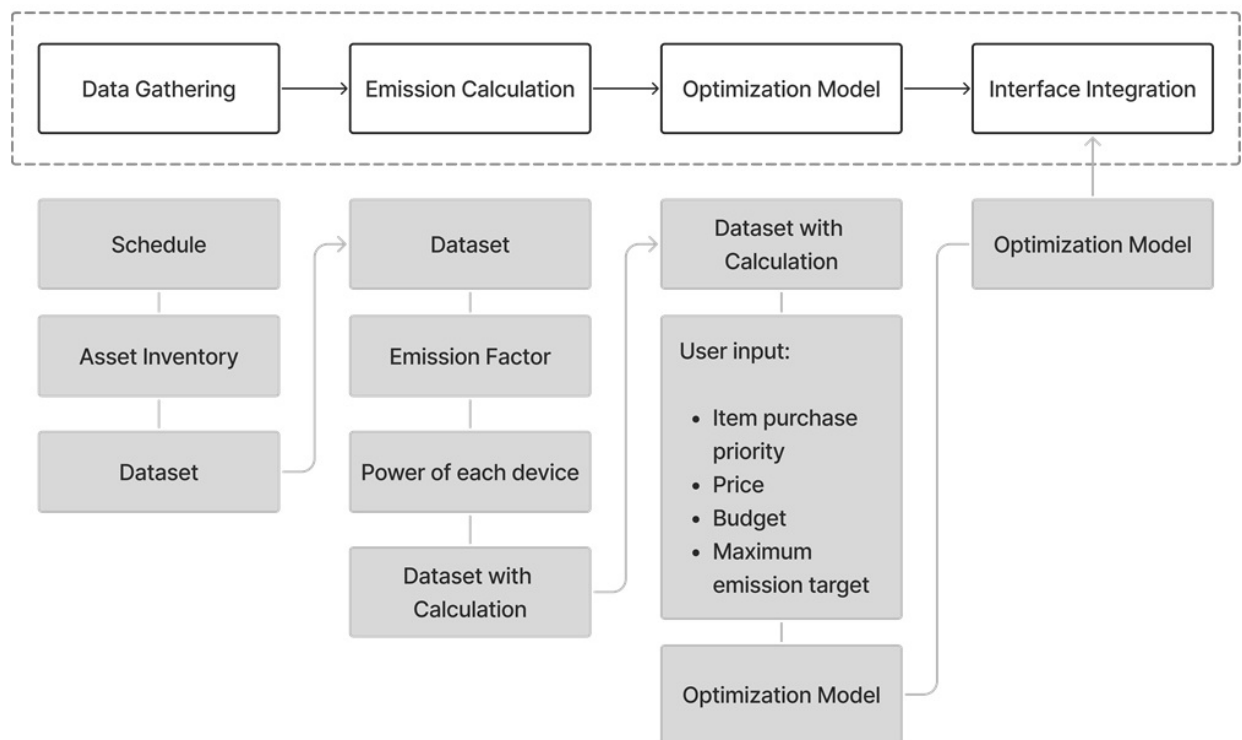


Fig. 1. กระบวนการทำงานของโซลูชันที่เสนอ

แอปพลิเคชันนี้จะใช้ข้อมูลที่มีอยู่ เช่น ตารางเรียนของโรงเรียน สินค้าคงคลัง และข้อมูลพลังงานของอุปกรณ์ เพื่อปรับปรุงการตัดสินใจด้านการซื้อ ข้อมูลนำเข้าเช่น ลำดับความสำคัญของการซื้อ ราคาสินค้า งบประมาณ และเป้าหมายการปล่อยก๊าซจะแนะนำการปรับปรุงเพื่อให้มั่นใจว่าการซื้อไม่เกินขีดจำกัดคาร์บอนหรือข้อจำกัดทางการเงิน การตั้งค่านี้นี้มีเป้าหมายเพื่อเตรียมเครื่องมือให้โรงเรียนในการตัดสินใจอย่างมีข้อมูลที่มีส่วนช่วยต่อความยั่งยืน ลดการปล่อยคาร์บอนในอนาคต และเพิ่มความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม

## IV. การวิจัยและการวิเคราะห์

### A. ความเข้าใจทางธุรกิจ

การปล่อยคาร์บอนเป็นปัญหาระดับโลกที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด โดยภาคการศึกษาทั่วโลกมีส่วนช่วยอย่างมีนัยสำคัญผ่านการใช้เทคโนโลยีอย่างกว้างขวาง ในขณะที่การศึกษาได้รับความสำคัญสูงจากทั้งรัฐบาลและชุมชน นำไปสู่สภาพแวดล้อมที่มีเงินทุนและอุดมไปด้วยเทคโนโลยี แต่การปรับปรุงเหล่านี้มักมองข้ามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ของโรงเรียน

ปัจจุบัน ในขณะที่มีข้อบังคับของรัฐบาลที่ระบุโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับโรงเรียน [11] เหล่านี้ไม่รวมถึงแนวทางใน

การจัดการการปล่อยคาร์บอนหรือส่งเสริมการปฏิบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การสัมภาษณ์กับโรงเรียนหลายแห่งเผยให้เห็นถึง การขาดมาตรการที่กำกับดูแลในการซื้อและใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ซึ่งมักขับเคลื่อนโดยความต้องการทันทางที่หรือข้อ เสนอพิเศษจากผู้ขาย มีการขาดการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการจัดซื้อเหล่านี้ บ่งชี้ถึงพื้นที่สำคัญที่ต้องมีการ แทรกแซง การนำการประเมินการปล่อยคาร์บอนในช่วงการจัดซื้ออาจทำหน้าที่เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้มั่นใจว่า ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมได้รับการพิจารณาในการดำเนินงานของโรงเรียน

**B. ความเข้าใจและการเตรียมข้อมูล**

กระบวนการสร้างแบบจำลองสำหรับการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากโรงเรียน X โรงเรียนมัธยมต้นแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่ง ถูกเลือกเนื่องจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวางในการสอนและรายการสิ่งของที่ละเลียดในห้องเรียนแต่ละห้อง การเลือกนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลากหลายและรายการห้องเรียนที่ครอบคลุมของโรงเรียน ให้ฐานที่ มั่นคงสำหรับการพัฒนาระบบที่โรงเรียนอื่นอาจใช้ได้ มีสามข้อมูลที่โรงเรียน X ให้มา

- **ตารางการใช้ห้อง:** มีในรูปแบบ PDF โดยละเอียดว่าห้องใดใช้ห้องไหนและนานเท่าไร รองรับระบบห้องเรียนเคลื่อนที่ ของโรงเรียนซึ่งห้องหนึ่งใช้สอนหลายชั้นเรียนและหลายวิชา
- **ข้อมูลชั้นเรียน:** ให้ในรูปแบบสเปรดชีต รวมถึงจำนวนนักเรียนต่อห้อง
- **รายการสิ่งของ:** เอกสาร PDF รายการสิ่งของทั้งหมดในห้องเรียนแต่ละห้อง รวมถึงจำนวนและยี่ห้อ ซึ่งสำคัญสำหรับการ คำนวณการปล่อยคาร์บอนตามการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การปล่อยคาร์บอนในโรงเรียนเกี่ยวข้องกับหลายขั้นตอนสำคัญ

- **การประมวลผลข้อมูลล่วงหน้า:** ข้อมูลที่มีอยู่ถูกจัดรูปแบบใหม่เป็นตารางโดยใช้ซอฟต์แวร์สเปรดชีตเพื่อให้สามารถใช้งาน ได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดโครงสร้างข้อมูลรอบสามหน่วยงานหลัก: ห้อง ชั้นเรียน และอุปกรณ์
- **การรวมข้อมูล:** หน่วยงานเหล่านี้ถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างมุมมองที่ครอบคลุมของการบริโภคพลังงานสำหรับแต่ละห้อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์เช่น 'การใช้ห้อง' โดยชั้นเรียนเฉพาะ และ 'อุปกรณ์ในห้อง' เพื่อระบุว่าอุปกรณ์ใดอยู่ในห้อง ใด ข้อมูลที่รวมนี้จะถูกนำเข้าไปยัง Jupyter Notebook โดยใช้ไลบรารี pandas เพื่อจัดการเป็น DataFrame
- **การคำนวณการปล่อยก๊าซ:** ตารางเดียวถูกสร้างจากข้อมูลที่รวมกัน และการปล่อยคาร์บอนถูกคำนวณโดยใช้สูตรเฉพาะ ส่ง ผลให้ได้ DataFrame สุดท้ายที่รวมรายละเอียดการปล่อยก๊าซ

กระบวนการเตรียมข้อมูลส่งผลให้ได้ชุดข้อมูลที่มีข้อกำหนดระบุไว้ในตารางที่ I แต่ละหน่วยงานแทนไฟล์ .csv ใหม่ที่สร้าง จากกระบวนการเตรียมข้อมูล

ตารางที่ I. หน่วยงานขั้นสุดท้าย		
หน่วยงาน	แอตทริบิวต์	รายละเอียด
Room	room_name (string)	ข้อมูลเกี่ยวกับห้องในโรงเรียนที่สามารถใช้สำหรับกิจกรรมการ ศึกษา
Class	class_name (string) number_of_students (string)	ข้อมูลเกี่ยวกับชั้นเรียนในปีการศึกษาปัจจุบัน คำว่า 'ชั้นเรียน' หมายถึงกลุ่มของนักเรียน
Device	device_name (string) device_brand (string) price (float) watt (float)	ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโรงเรียน
Room_Class	room_name (string) day (string) start_time (string) end_time (string) class_name (string)	ข้อมูลเกี่ยวกับห้องที่ใช้โดยชั้นเรียนพร้อมกับตารางการใช้งาน ของพวกเขา
Room_Device	room_name (string) device_name (string) device_brand (string) device_quantity (string)	ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องเรียนแต่ละห้อง

**C. การสร้างแบบจำลอง**

แบบจำลองการปรับปรุงถูกนำไปใช้โดยใช้ฟังก์ชัน SciPy optimize ใน Python เป้าหมายของฟังก์ชันนี้คือการปรับปรุง การจัดสรรการจัดซื้ออุปกรณ์โรงเรียนตามลำดับความสำคัญ ต้นทุน และการปล่อยคาร์บอนที่เกิดขึ้น พารามิเตอร์สำคัญเช่น ความต้องการห้อง สินค้าคงคลังที่มีอยู่ การปล่อยคาร์บอน และต้นทุนของแต่ละชั้นถูกกำหนดและจัดระเบียบเป็นข้อมูลที่เหมาะ สม

ข้อมูลนี้เป็นรากฐานของปัญหาการปรับปรุงแบบไบนารีโดยที่ตัวแปรการตัดสินใจแบบไบนารี  $\in \{0,1\}$  แทนว่าสินค้าแต่ละ ชิ้นซื้อ (1) หรือไม่ (0) ฟังก์ชันเป้าหมายด้านล่างถูกออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพิ่มลำดับความสำคัญสูงสุด โดยแสดง เป็นคณิตศาสตร์ด้วยลอการิทึมติดลบของหนึ่งบวกค่าลำดับความสำคัญของแต่ละรายการ สิ่งนี้แปลเป็นการลดค่าลบของนิพจน์นี้ โดยมั่นใจว่ารายการที่มีลำดับความสำคัญสูงจะได้รับความนิยม ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณและการปล่อยก๊าซ

$$\text{Minimize} - \sum_i \log(1 + \text{priority}_i)$$

(2)

ข้อจำกัดด้านงบประมาณ

$$\sum_i P_i \cdot X_i \leq \text{Max Budget}$$

(3)

ข้อจำกัดด้านการปล่อยก๊าซ

$$\sum_i (E_{\text{embodied}} \cdot X_i + E_{\text{electricity}} \cdot X_i) + \text{Total Emissions} \leq \text{Max Emissions}$$

(4)

กระบวนการปรับปรุงที่ดำเนินการโดยใช้วิธี SLSQP พยายามหาชุดรายการที่เหมาะสมที่สุดที่ตรงตามเกณฑ์เหล่านี้ หากการปรับปรุงประสบความสำเร็จ ผลลัพธ์จะให้การตัดสินใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับจำนวนของแต่ละรายการที่จะซื้อ อำนาจความสะดวกในการจัดซื้อเชิงกลยุทธ์ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดทางการเงินและเป้าหมายความยั่งยืน

แบบจำลองการปรับปรุงที่พัฒนาขึ้นเป็นคุณสมบัติสำคัญภายในเว็บแอปพลิเคชัน ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจอย่างมีข้อมูลเกี่ยวกับการจัดซื้อ โดยการฝังโมเดลลงในแอปพลิเคชัน ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (เช่น งบประมาณ เป้าหมายการปล่อยก๊าซ และลำดับความสำคัญของรายการ) และรับคำแนะนำที่ปรับปรุงสำหรับการจัดซื้อ การรวมนี้ช่วยให้มั่นใจว่าแอปพลิเคชันไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือติดตามเท่านั้น แต่ยังช่วยอย่างแข็งขันในการลดการปล่อยคาร์บอนโดยการแนะนำการตัดสินใจด้านการซื้อที่ยั่งยืน

#### D. ผลลัพธ์และการประเมิน

หลังจากรันโมเดลแล้ว ผลลัพธ์จะได้รับการประเมินเพื่อกำหนดความสำเร็จของการปรับปรุง ตัวแปรแต่ละตัวในซอลูชันถูกตีความเพื่อประเมินจำนวนสิ่งของที่ซื้อและผลกระทบต่องบประมาณและการปล่อยทั้งหมด สถานะของซอลูชัน ซึ่งสามารถเป็นไปได้หรือไม่เป็นไปได้ ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของโซลูชันที่เสนอตามเกณฑ์ที่กำหนด

โมเดลแสดงว่าควรซื้อรายการใด พร้อมกับห้องใดที่จะมีรายการนั้นและจำนวนของมัน ตัวอย่างของผลลัพธ์ฟังก์ชันแสดงในรูปที่ 2

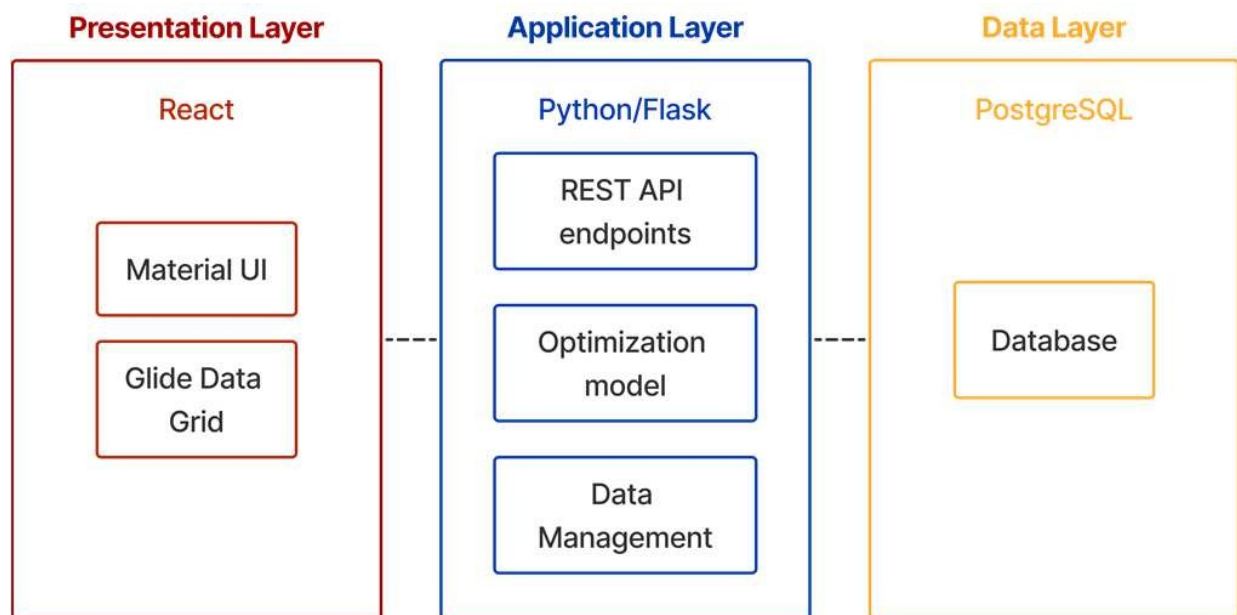


Fig. 2. ตัวอย่างฟังก์ชันการปรับปรุง

#### E. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

ตามคุณสมบัติหลักของระบบซึ่งคือการติดตามและปรับปรุงการตัดสินใจด้านการซื้อสินค้าใหม่ สามารถกำหนดความต้องการด้านฟังก์ชันการทำงานได้ พีเจอาร์เหล่านี้มาพร้อมกับพีเจอาร์เพิ่มเติมอื่นๆ ที่สามารถช่วยโรงเรียนในการติดตามการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซได้ ในระหว่างการพัฒนาแอปพลิเคชัน ความต้องการที่คาดการณ์ไว้ของผู้ดูแลระบบโรงเรียนและเจ้าหน้าที่จัดซื้อถูกพิจารณาตามความพร้อมของข้อมูลที่ให้มาโดยโรงเรียน X อย่างไรก็ตาม การรวบรวมความต้องการของผู้ใช้อย่างเป็นทางการและการทดสอบไม่ได้ดำเนินการในการศึกษานี้ ความต้องการด้านฟังก์ชันการทำงานมีดังนี้

- ผู้ใช้สามารถลงทะเบียนเพื่อเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชัน
- ผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบเว็บไซต์ได้
- ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลสินค้าคงคลังที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

- ผู้ใช้สามารถอัปโหลดและแก้ไขข้อมูลห้อง ข้อมูลอุปกรณ์ ข้อมูลชั้นเรียน ข้อมูลห้องและชั้นเรียน และข้อมูลห้องและอุปกรณ์
- ผู้ใช้สามารถดูปริมาณการปล่อยก๊าซในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับโรงเรียน
- ผู้ใช้สามารถดูจำนวนห้องที่ใช้ในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับโรงเรียน
- ผู้ใช้สามารถดูจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับโรงเรียน
- ผู้ใช้สามารถดูปริมาณการปล่อยก๊าซในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับห้อง
- ผู้ใช้สามารถดูจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในช่วงเวลาที่กำหนดในระดับห้อง
- ผู้ใช้สามารถดูการคาดการณ์การปล่อยคาร์บอนในระดับโรงเรียนสำหรับช่วงเวลาที่ผู้ใช้ระบุ
- ผู้ใช้สามารถป้อนลำดับความสำคัญของการซื้อ ราคาสินค้าใหม่ งบประมาณการซื้อ และเป้าหมายการปล่อยสูงสุดเพื่อรับผลการตัดสินใจด้านการซื้อ

ตามความต้องการด้านฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชัน สามารถกำหนดสถาปัตยกรรมสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้ดังที่เห็นในรูปที่ 3 ข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนจะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลและดึงขึ้นมาโดยระบบอินเทอร์เน็ตเฟส การพัฒนาซอฟต์แวร์แบ่งออกเป็นสามส่วน: frontend, backend และฐานข้อมูล การคำนวณและการคาดการณ์จะดำเนินการใน backend ซึ่งดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล ในขณะที่ frontend จัดการการแสดงผลโต้ตอบสำหรับผู้ใช้

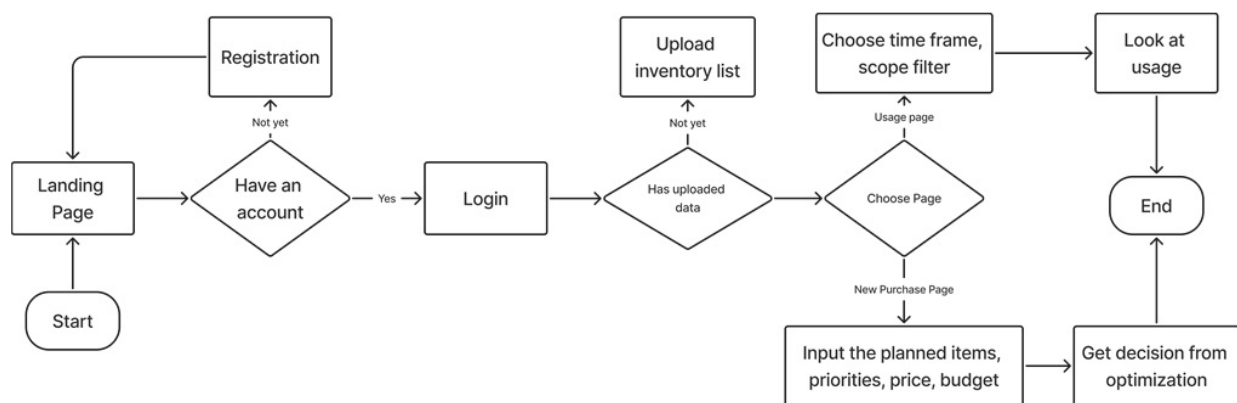


Fig. 3. สถาปัตยกรรมของแอปพลิเคชัน

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันใช้ React กับ TypeScript โดยรวมคอมโพเนนต์การโต้ตอบของผู้ใช้จาก Material UI เช่น ปุ่ม ช่องข้อความ เมนูรูดตัว เป็นต้น ตารางข้อมูลที่สืบทอดมาจาก backend แสดงโดยใช้ Glide Data Grid ซึ่งเป็นไลบรารีโอเพนซอร์สจาก Glide ที่ช่วยให้มุมมองตารางที่น่าสนใจสำหรับการจัดการข้อมูลได้ง่าย การพัฒนาใช้ภาษาอินโดนีเซียเป็นภาษาหลักเพื่อให้สอดคล้องกับโรงเรียนในอินโดนีเซีย รูปที่ 4 แสดงแผนภาพการไหลของผู้ใช้ของแอปพลิเคชันที่วางแผนไว้

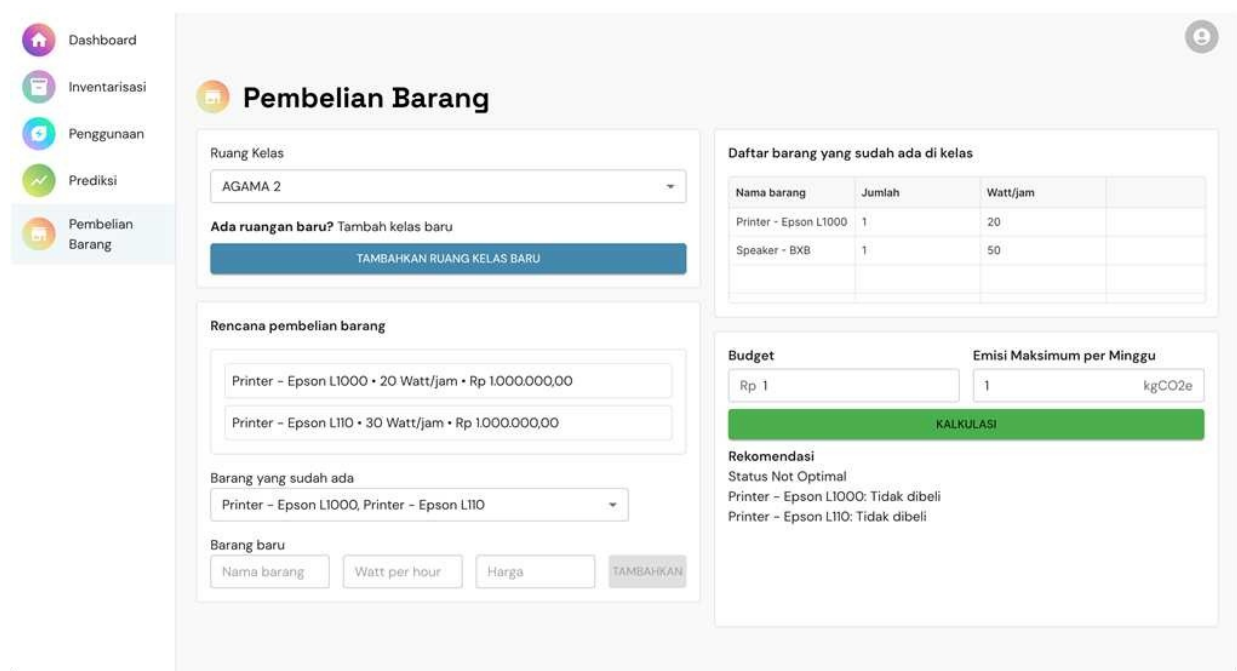


Fig. 4. แผนภาพการไหลของผู้ใช้ของแอปพลิเคชัน

การพัฒนา backend ใช้ Python Flask เพื่อให้ endpoints ดำเนินการคำนวณ การคาดการณ์ และรันการทำงานของฟังก์ชัน

กัขั้นตอนการปรับปรุงตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ ผลลัพธ์จากการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลและตรรกะการเขียนโปรแกรมอื่นๆ ถูกส่งออกเป็น JSON ผ่าน endpoints ที่ให้โดย Flask ฐานข้อมูลของซอฟต์แวร์จัดการโดยใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูล PostgreSQL

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันใช้สถาปัตยกรรมฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยหลายตาราง แต่ละตารางมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกันในการจัดการการดำเนินงานของโรงเรียน ตาราง 'users' จัดการรายละเอียดการยืนยันตัวตนของผู้ใช้ ในขณะที่ตาราง 'inventory' และ 'locations' เก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์โรงเรียนและตำแหน่งทางกายภาพตามลำดับ ตาราง 'classes' บันทึกข้อมูลชั้นเรียน และตารางความสัมพันธ์เช่น 'location\_class' และ 'inventory\_location' เชื่อมโยงหน่วยงานเหล่านี้เพื่อจัดการตารางเวลาและการจัดสรรอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

F. ผลลัพธ์เว็บแอปพลิเคชัน

ดังที่เห็นในรูปที่ 5 แบบจำลองการปรับปรุงประสบความสำเร็จในการแสดงว่าสินค้าไม่ควรซื้อ สถานะไม่เหมาะสมเพราะมีข้อจำกัดที่ไม่ได้รับการปฏิบัติตาม และนั่นคือการซื้อทั้งหมด แอปพลิเคชันแสดงสถานะเพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่าเป้าหมายเริ่มต้นของพวกเขาอาจไม่บรรลุ แต่มีทางเลือกที่พวกเขาสามารถทำได้ เนื่องจากแอปพลิเคชันยังสามารถแสดงอุปกรณ์ที่ควรซื้อได้

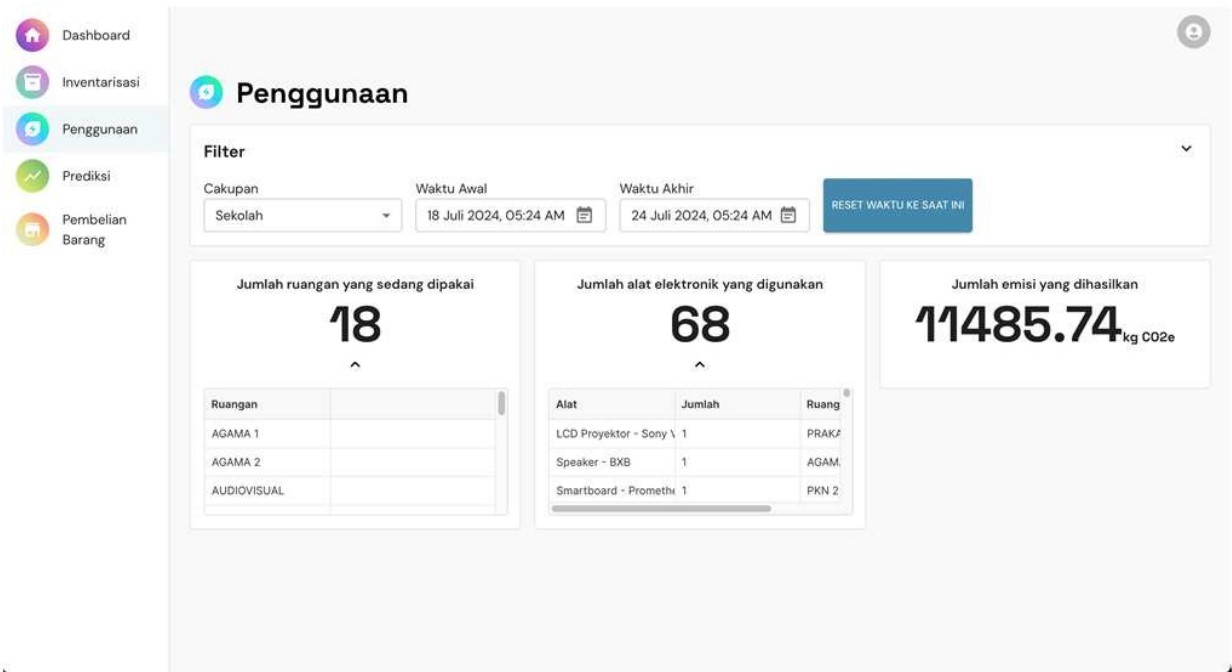


Fig. 5. หน้าการตัดสินใจด้านการซื้อ

นอกจากหน้าการตัดสินใจด้านการซื้อแล้ว ยังมีหน้าที่แสดงการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องต่างๆ ซึ่งแสดงว่ามีห้องใช้กี่ห้อง มีอุปกรณ์ใช้กี่ชิ้น และการปล่อยก๊าซเกิดจากการใช้อุปกรณ์เท่าไรตามการคำนวณจากช่วงเวลา queเลือกในส่วนกรอง หน้าการใช้งานสามารถดูได้ในรูปที่ 6

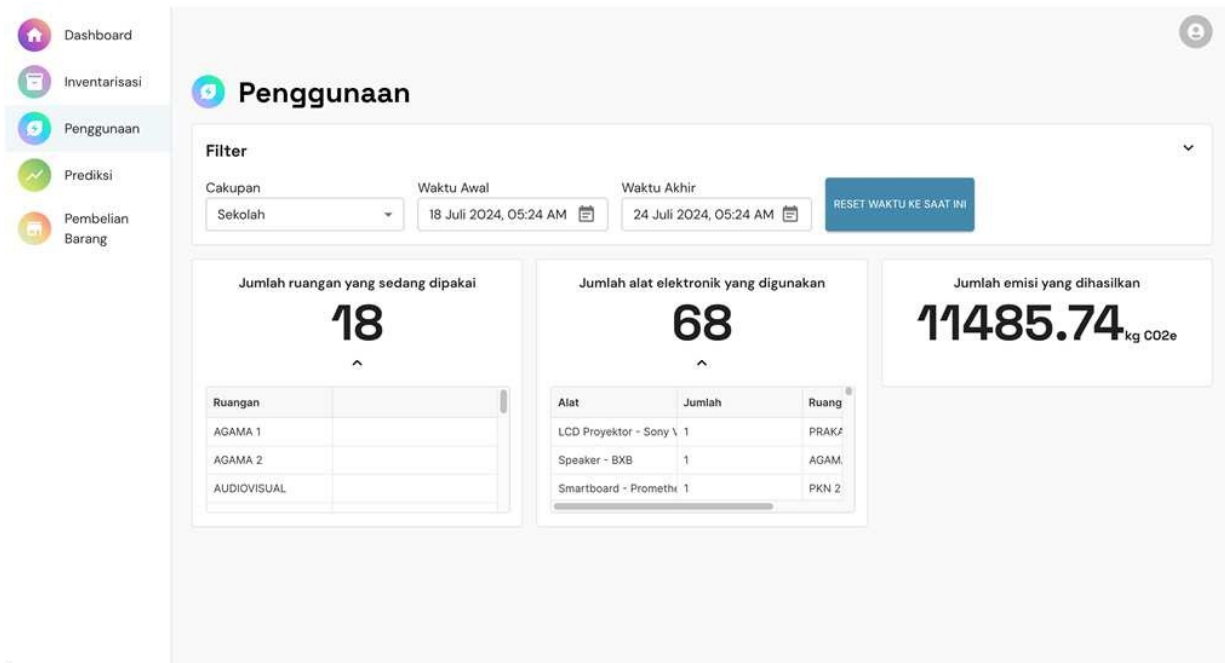


Fig. 6. หน้าการใช้งาน

ในขณะที่แอปพลิเคชันนี้ให้รากฐานสำหรับการลดการปล่อยคาร์บอนในโรงเรียน แนะนำให้มีการพัฒนาเพิ่มเติมสำหรับการรวบรวมความต้องการของผู้ใช้และกระบวนการทดสอบ ขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยให้มั่นใจว่าระบบตอบสนองความต้องการในทางปฏิบัติของผู้ดูแลระบบโรงเรียนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่น ๆ

## V. บทสรุป

การวิจัยนี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นที่สำคัญของระบบที่ติดตามและจัดการการปล่อยคาร์บอนในสภาพแวดล้อมการศึกษาระดับมัธยมศึกษา เว็บแอปพลิเคชันที่เสนอแก้ไขช่องโหว่ในความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีการศึกษาผ่านฟังก์ชันการทำงานของมัน เช่น การติดตามการปล่อยก๊าซและการปรับปรุงการจัดซื้อทรัพยากร แอปพลิเคชันสนับสนุนโรงเรียนในการตัดสินใจอย่างมีข้อมูล โดยการผสมผสานระบบดังกล่าว โรงเรียนสามารถก้าวไปสู่ความยั่งยืนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมั่นใจว่าพวกเขามีส่วนช่วยในเชิงบวกต่อทั้งผลลัพธ์การศึกษาและการดูแลสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้วางรากฐานสำหรับการวิจัยเพิ่มเติมในการปฏิบัติที่ยั่งยืนในสภาพแวดล้อมการศึกษาและการพัฒนาระบบที่ก้าวหน้ามากขึ้นเพื่อสนับสนุนความพยายามเหล่านี้

## คำขอบคุณ

เราขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีบัณฑิต และทุน Ganesha Talent Assistantship สำหรับการสนับสนุนการวิจัยนี้

## การอ้างอิง

- [1] F. Mikre, "The Roles of Information Communication Technologies in Education: Review Article with Emphasis to the Computer and Internet," *Ethiopian Journal of Education and Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 109-126, 2011, doi: <https://doi.org/10.4314/ejesc.v6i2>.
- [2] Sekretariat GTK. "Kemendikbud Luncurkan Program Digitalisasi Sekolah," [gtk.kemdikbud.go.id](https://gtk.kemdikbud.go.id/read-news/kemendikbud-luncurkanprogram-digitalisasi-sekolah) [Online], 2019. <https://gtk.kemdikbud.go.id/read-news/kemendikbud-luncurkanprogram-digitalisasi-sekolah> (accessed Jul. 20, 2024).
- [3] N. Selwyn, "Reality check: EdTech Is Killing the Planet," *Monash Lens*, Oct. 25, 2018. <https://lens.monash.edu/@education/2018/10/25/1363185/edtech-iskilling-us-all>
- [4] O. Wagner, L. Tholen, L. Nawothnig, and S. Albert-Seifried, "Making School-Based GHG-Emissions Tangible by Student-Led Carbon Footprint Assessment Program," *Energies*, vol. 14, no. 24, p. 8558, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14248558>.
- [5] P. Rüya Uludağ and B. Kiliç Taşeli, 'Perspective chapter: Quantifying the Carbon Footprint of a High School: A Three Part Study', *Global Warming - A Concerning Component of Climate Change* [Working Title]. IntechOpen, Jul. 06, 2023. doi: 10.5772/intechopen.1001883.
- [6] R. K. Pachauri et al., *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. Available: <https://epic.awi.de/id/eprint/37530/>
- [7] University of Michigan, "Carbon Footprint Factsheet," Center for Sustainable Systems, 2023. <https://css.umich.edu/publications/factsheets/sustainabilityindicators/carbon-footprint-factsheet>
- [8] Greenhouse gas protocol : corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard : supplement to the GHG



protocol corporate accounting and reporting standard. Washington, Dc: World Resources Institute ; [Geneva, Switzerland, 2011.

- [9] "Carbon Footprint Country Specific Electricity Grid Greenhouse Gas Emission Factors," Carbon Footprint Ltd, Hampshire, UK. Accessed: Jul. 20, 2024. [Online]. Available: [https://www.carbonfootprint.com/docs/2023\\_02\\_emissions\\_factors\\_sources\\_for\\_2022\\_electricity\\_v10.pdf](https://www.carbonfootprint.com/docs/2023_02_emissions_factors_sources_for_2022_electricity_v10.pdf)
- [10] B. Guenin, J. Könnemann, and L. Tunçel, A Gentle Introduction to Optimization. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [11] Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, "Standar Sarana dan Prasarana pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah," Mar. 10, 2023. <https://peraturan.go.id/files/permendikbudristek-no-22-tahun2023.pdf> (accessed Jul. 19, 2024).

979-8-3315-2031-1/24/\$31.00 ©2024 IEEE

Authorized licensed use limited to: Burapha University provided by UniNet. Downloaded on January 13, 2026 at 06:12:03 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.