



Kurikulum  
Merdeka

MERDEKA  
BELAJAR

# PEMANASAN GLOBAL: KONSEP DAN SOLUSI

## Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (2)

Penyusun:

**Nabila Salsabila Rakhmad Putri**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Tarzan Purnomo, M.Si.**



Untuk siswa kelas X SMA / MA



Science, Technology, Engineering,  
and Mathematics (STEM)

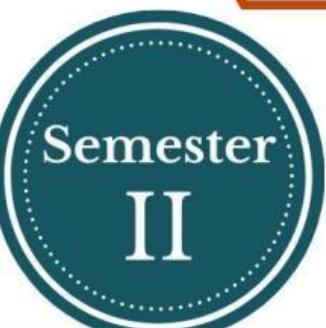
Asal sekolah: \_\_\_\_\_

Waktu: \_\_\_\_\_

Kelas: \_\_\_\_\_

Kelompok: \_\_\_\_\_

Anggota Kelompok:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



<i>Halaman Judul</i> .....	1
<i>Daftar Isi</i> .....	2
<i>Petunjuk Penggunaan E-LKPD</i> .....	2
<i>Capaian dan Tujuan Pembelajaran</i> .....	3
<i>Fitur-Fitur dalam E-LKPD</i> .....	4
<i>Peta Konsep</i> .....	5
<i>Materi Pembelajaran</i> .....	6
<i>Kegiatan Pembelajaran</i> .....	7
<i>Post-test</i> .....	16

## **PETUNJUK PENGGUNAAN E-LKPD**

Petunjuk Penggunaan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) berbasis *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM):

1. Pastikan perangkat Anda tersambung internet dan bisa membuka link atau memindai QR Code yang diberikan.
2. Baca terlebih dahulu tujuan pembelajaran dan panduan penggunaan di bagian awal E-LKPD agar Anda tahu langkah-langkah yang harus dilakukan.
3. Ikuti kegiatan pembelajaran secara berurutan sesuai dengan langkah-langkah STEM.
4. Gunakan video, artikel, atau data yang disediakan dalam E-LKPD untuk membantu memahami tugas.
5. Diskusikan bersama kelompokmu, tukar ide, dan selesaikan tantangan bersama.
6. Setelah selesai, kumpulkan laporan proyek dan siapkan presentasi berdasarkan panduan yang ada.
7. Jika kesulitan, jangan ragu bertanya ke guru untuk mendapat bantuan.

## Capaian Pembelajaran

Pada akhir Fase E, peserta didik memiliki kemampuan untuk mengembangkan produk ramah lingkungan berbasis teknologi dan mengujinya untuk mengatasi masalah pemanasan global.

## Tujuan Pembelajaran

- [1] Peserta didik dapat menelaah solusi teknologi yang telah dikembangkan untuk mitigasi pemanasan global.
- [2] Peserta didik dapat menghasilkan ide inovatif pengembangan teknologi ramah lingkungan untuk menyerap atau mengurangi emisi CO<sub>2</sub>.
- [3] Peserta didik dapat menyusun desain produk berbasis teknologi yang mengintegrasikan prinsip efisiensi energi dan pemanfaatan IoT.
- [4] Peserta didik dapat membuat dan menguji produk berbasis teknologi hijau secara sistematis untuk mitigasi pemanasan global.
- [5] Peserta didik dapat menganalisis efektivitas dan efisiensi produk melalui uji data dan evaluasi berdasarkan indikator lingkungan.
- [6] Peserta didik dapat menyempurnakan produk hasil uji berdasarkan evaluasi dan umpan balik.
- [7] Peserta didik dapat mempresentasikan produk akhir dan hasil evaluasi dalam bentuk digital interaktif.

## Sintaks STEM dan Indikator Berpikir Kritis

- |  |   |
|--|---|
| [1] Identifikasi Masalah                   | : Interpretasi (C4) dan Analisis (C5)   |
| [2] Pengembangan Ide dan Alternatif Solusi | : Inferensi (C5) dan Eksplanasi (C5)    |
| [3] Perancangan Solusi Terpilih            | : Analisis (C5) dan Eksplanasi (C6)     |
| [4] Penyusunan dan Pengujian Solusi        | : Regulasi Diri (C5) dan Evaluasi (C5)  |
| [5] Evaluasi dan Bandingkan Hasil          | : Evaluasi (C6) dan Inferensi (C6)      |
| [6] Penyempurnaan Rancangan                | : Regulasi Diri (C6) dan Analisis (C5)  |
| Berdasarkan Evaluasi Data                  |   |
| [7] Penyampaian Hasil Akhir                | : Eksplanasi (C6) dan Interpretasi (C5) |

## Profil Pelajar Pancasila

1. **Bernalar Kritis**, membantu memahami konsep biologi yang kompleks melalui kemampuan berpikir logis, analitis, dan pemecahan masalah.
2. **Kreatif**, mendorong eksplorasi ide dan pengembangan kreativitas peserta didik.
3. **Bergotong Royong**, mendukung kolaborasi peserta didik dalam menyelesaikan proyek bersama.
4. **Mandiri**, menguatkan pembelajaran intrakurikuler fleksibel yang memungkinkan peserta didik memahami konsep dan mengembangkan kompetensinya secara mandiri

# FITUR - FITUR DALAM E-LKPD

## A. Identifikasi Masalah (*Identify the Problem*)



### Problem Starter

Anda akan melihat data atau studi kasus terkini, seperti teknologi Oxypod atau pemanfaatan alga, untuk membantu memahami akar masalah pemanasan global.



### Literature Exploration

Anda akan mengeksplorasi artikel dan jurnal untuk memahami bagaimana teknologi ramah lingkungan saat ini bekerja, serta keterbatasannya.

## B. Pengembangan Ide dan Alternatif Solusi (*Generate Ideas*)



### Explore STEM

Anda akan diajak mengembangkan ide teknologi baru yang lebih ramah lingkungan berdasarkan hasil kajian dan eksplorasi sebelumnya.

## C. Perancangan Solusi Terpilih (*Design a Solution*)



### Design Thinking Canvas

Anda akan menggunakan kerangka berpikir kreatif dan sistematis untuk merancang alat berbasis IoT dan energi terbarukan.



### Virtual Prototyping

Di sini, Anda dapat membuat simulasi visual rancangan alat yang menggabungkan teknologi sensor dan panel surya.

## D. Penyusunan dan Pengujian Solusi (*Build and Test*)



### Implementation and Testing Module

Anda akan membangun dan menguji alat hasil rancanganmu untuk melihat bagaimana kinerjanya di lapangan.

## E. Evaluasi dan Bandingkan Hasil (*Evaluate*)



### Implementation and Testing Module

Anda akan menganalisis data hasil pengujian untuk menilai seberapa efektif alatmu dalam mengurangi dampak lingkungan.

## F. Penyempurnaan Rancangan Berdasarkan Evaluasi Data (*Redesign*)



### Collaborative Review and Optimization

Berdasarkan hasil evaluasi, Anda akan bekerja sama untuk memperbaiki kelemahan alat dan meningkatkan fungsinya.

## G. Penyampaian Hasil Akhir (*Communicate Results*)



### Digital Presentation Toolkit

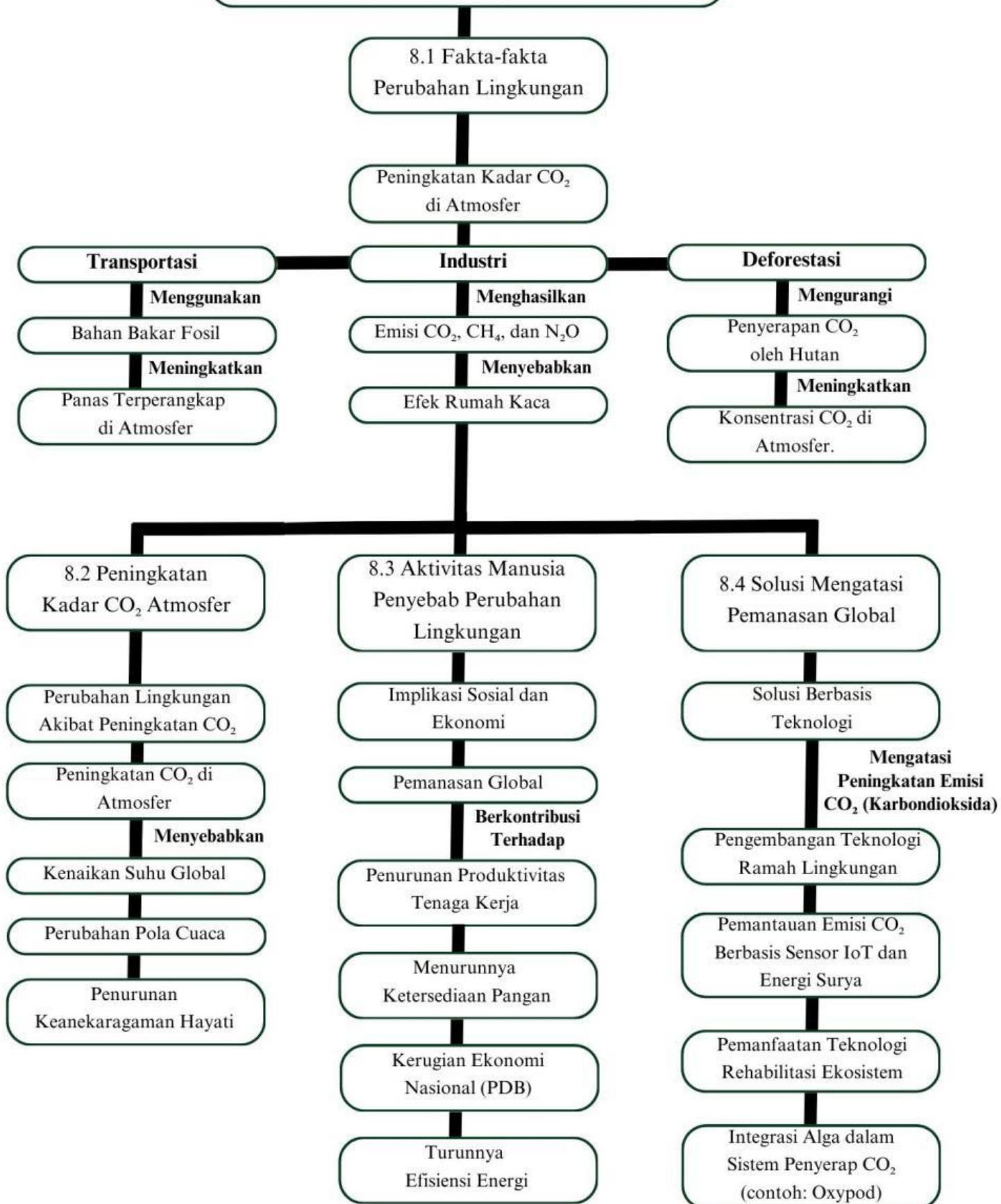
Anda akan membuat presentasi digital interaktif untuk menjelaskan proses, rancangan, dan hasil dari proyekmu.



### Peer Review and Feedback

Anda akan mendapatkan masukan dari teman sekelas untuk mengevaluasi hasil dan cara penyampaian proyekmu.

## Pemanasan Global: Konsep dan Solusi

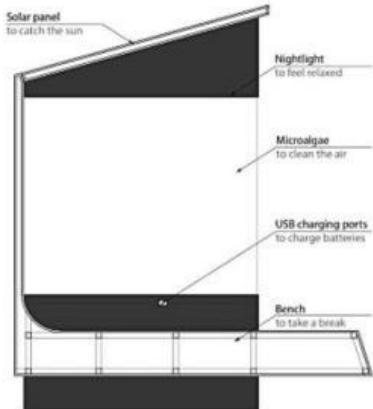


## Oxypod (Pohon Cair Alga)

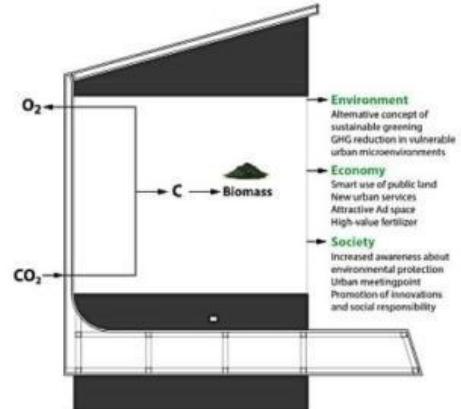
### Liquid Tree: Solusi Inovatif untuk Mengatasi Polusi Udara di Perkotaan



#### FUNCTIONS



#### BENEFITS



Gambar 1. Liquid Tree: Solusi Inovatif untuk Mengatasi Polusi Udara di Perkotaan. 2023. (Dokumentasi oleh Dhar, A., Dey, S. and Sarkar, S. 2023. Liquid Trees: A Novel Approach for Air Pollution Mitigation. *Vigyan Varta*, 4(11), 193-196.

Sumber: [www.vigyanvarta.com](http://www.vigyanvarta.com)

Pohon memiliki peran penting dalam menyerap karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan menghasilkan oksigen ( $\text{O}_2$ ) melalui fotosintesis, serta membantu menyaring partikel polutan dari udara. Namun, di daerah perkotaan yang padat, penanaman pohon sering terhambat oleh keterbatasan lahan dan kondisi tanah yang kurang mendukung, serta akar pohon yang dapat merusak bangunan dan jalan. Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkanlah fotobioreaktor yang disebut "Liquid Tree" atau "LIQUID 3", yang mengandung mikroalga air tawar dan nanofiber selulosa untuk menyerap  $\text{CO}_2$  dari udara dan menghasilkan  $\text{O}_2$  melalui fotosintesis. Fotobioreaktor ini memiliki tangki air berkapasitas 600 liter yang diisi dengan mikroalga yang tahan terhadap suhu ekstrem. Setiap 1,5 bulan, biomassa alga dipanen dan airnya diperbarui dengan tambahan mineral. Liquid Tree juga dilengkapi panel surya yang mengonversi energi matahari menjadi listrik untuk menggerakkan pompa udara dan pencahayaan, memastikan fotosintesis tetap berlangsung bahkan saat cahaya matahari minim. Selain itu, tangki ini dapat digunakan sebagai tempat duduk, memiliki fitur pengisian daya untuk ponsel, dan menyediakan penerangan di malam hari. Mikroalga dalam Liquid Tree memiliki efisiensi penyerapan  $\text{CO}_2$  10 hingga 50 kali lebih tinggi dibandingkan pohon. Satu unit Liquid Tree setara dengan dua pohon berusia 10 tahun atau lahan rumput seluas 200 m<sup>2</sup> dalam mengikat karbon. Keunggulan lainnya adalah mikroalga tetap aktif menyerap  $\text{CO}_2$  saat musim dingin, sementara pohon gugur kehilangan efisiensi fotosintesis...

**Pindai barcode berikut untuk mengakses materi pembelajaran secara online melalui perangkat Anda:**



# KEGIATAN PEMBELAJARAN

Identifikasi Masalah (*Identify the Problem*)

Problem Strater

Interpretasi (C4) dan Analisis (C5)

Science and Technology

## Kegiatan Pembelajaran 1

### (C4 Interpretasi – Fungsi Teknologi)

Telusuri prinsip kerja Oxypod dan potensi biologis alga dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub>. **Jelaskan** bagaimana kedua teknologi tersebut memanfaatkan prinsip ilmiah (misalnya fotosintesis atau dinamika udara) untuk menurunkan emisi, dan apa saja tantangan yang mungkin dihadapi saat implementasinya di daerah perkotaan.

**Jawab:**

### (C5 Analisis – Tinjauan Solusi Saat Ini)

Studi kasus menunjukkan dua solusi mitigasi CO<sub>2</sub>: teknologi Oxypod dan pemanfaatan alga. **Bandingkan** bagaimana masing-masing teknologi ini bekerja dalam menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara. **Jelaskan** pula keunggulan dan keterbatasan aplikasinya di wilayah tropis seperti Indonesia.

**Jawab:**

Identifikasi Masalah (*Identify the Problem*)

Literature Exploration

Interpretasi (C4) dan Analisis (C5)

Science and Technology

## Kegiatan Pembelajaran 2

### (C4 Interpretasi – Validitas Informasi)

**Interpretasikan** data dari jurnal atau laporan pemerintah (KLHK, BRIN, dll.) yang menjelaskan tingkat penurunan CO<sub>2</sub> setelah implementasi alat tertentu. **Apakah** hasilnya konsisten dan dapat dipercaya? **Apa** yang bisa kamu simpulkan dari pendekatan yang mereka gunakan?

**Jawab:**

### (C5 Analisis – Keterbatasan Teknologi Eksisting)

**Kaji** artikel dan jurnal ilmiah dari 2020–2024 tentang efektivitas alat penyerap CO<sub>2</sub>. **Identifikasi** aspek teknis dan sosial yang menjadi hambatan penerapan alat seperti Oxypod atau biofilter alga di sekolah, rumah, atau ruang publik.

**Jawab:**

Silahkan gunakan artikel ilmiah dibawah ini untuk membantu dalam menjawab pertanyaan diatas. Anda juga bisa menggunakan sumber ilmiah terpercaya lainnya untuk memperkuat opini Anda:



SCAN ME

Industrial CO<sub>2</sub>  
Capture by Algae:  
A Review and  
Recent Advances



SCAN ME

A Review of  
Algae-Based  
Carbon Capture,  
Utilization, and  
Storage (Algae-  
Based CCUS)



SCAN ME

Reduksi Gas CO<sub>2</sub> oleh  
Mikroalga Scenedesmus  
sp. pada Fotobioreaktor  
Tertutup dengan Variasi  
Konsentrasi Gas CO<sub>2</sub>

# KEGIATAN PEMBELAJARAN

Pengembangan Ide dan Alternatif Solusi (*Generate Ideas*)

Explore STEM

Inferensi (C5) dan Eksplanasi (C5)

Science, Technology, and Engineering

## Kegiatan Pembelajaran 3

### (C5 Inferensi – Mengembangkan Ide Solusi Inovatif)

Telaah kembali cara kerja sensor CO<sub>2</sub> bertenaga surya dan teknologi Liquid Tree dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> di lingkungan kota. Kembangkan ide awal alatmu sendiri yang menggabungkan minimal satu fitur dari keduanya, untuk mengurangi CO<sub>2</sub> secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Jawab:

### (C5 Eksplanasi – Memberikan Argumen Ilmiah dan Teknis)

Jelaskan alasan pemilihan ide alatmu tersebut. Gunakan pengetahuan ilmiah dan teknis yang sudah kamu pelajari tentang gas rumah kaca, teknologi sensor, dan energi terbarukan. Berikan argumen mengapa ide tersebut layak dikembangkan menjadi prototipe alat.

Jawab:

Perancangan Solusi Terpilih (*Design a Solution*)

Design Thinking Canvas

Analisis (C5) dan Eksplanasi (C6)

Engineering, Mathematics, and Technology

## Kegiatan Pembelajaran 4

### (C5 Analisis)

❖ **Tugas:** Identifikasi kembali komponen utama alatmu beserta fungsi dan relasinya untuk memastikan integrasi IoT dan efisiensi energi.

**Tabel 1.** Analisis Komponen, Fungsi, dan Efisiensi Energi dalam Rancangan Alat Sensor CO<sub>2</sub> Berbasis IoT dan Energi Terbarukan

No	Komponen Utama	Fungsi Utama	Hubungan dengan Komponen Lain	Dampak pada Efisiensi Energi & Pemantauan CO <sub>2</sub>
1.	Sensor MQ-135			
2.	ESP32 Devkit 1			
3.	Panel Surya			
4.	Baterai Li-ion			
5.	Modul TP4056			
6.	Boost Converter (DC Step Up 5V)			

# KEGIATAN PEMBELAJARAN

Perancangan Solusi Terpilih (*Design a Solution*)

*Design Thinking Canvas*

Analisis (C5) dan Eksplanasi (C6)

*Engineering, Mathematics, and Technology*

## Kegiatan Pembelajaran 4

### (C6 Eksplanasi)

📌 **Tugas:** Susun peta ide alatmu dalam kerangka *Design Thinking Canvas* yang memuat masalah, solusi, pengguna, dan manfaatnya.

**Tabel 2.** Pemetaan Ide Solusi Inovatif Menggunakan Kerangka *Design Thinking Canvas*

Elemen Canvas dan Isi	Elemen Canvas dan Isi
<b>Masalah (Problem)</b> Peningkatan emisi CO <sub>2</sub> di area padat kendaraan bermotor	<b>Solusi (Solution)</b> Alat pemantau CO <sub>2</sub> bertenaga surya berbasis IoT
<b>Pengguna (User)</b> Masyarakat kota, pemerintah daerah, pengelola lingkungan	<b>Teknologi (Tech)</b> Sensor MQ-135, Arduino IDE, ESP32, Blynk, panel surya, WiFi
<b>Manfaat (Benefit)</b> Pemantauan kualitas udara real-time, edukasi, kontrol dini polusi	<b>Keterbatasan (Constraints)</b> Cuaca berawan, jaringan internet tidak stabil
<b>Data (Evidence)</b> Data sensor ditampilkan di aplikasi Blynk secara real-time	

💡 **Instruksi:** Ambil tangkapan layar dari setiap langkah pekerjaan (sebaiknya dalam bentuk file unduhan). Uggah file dengan nama format: Nama Kelompok\_Judul Proyek\_Pemetaan Ide Design Thinking Canvas.



Perancangan Solusi Terpilih (*Design a Solution*)

*Virtual Prototyping*

Analisis (C5) dan Eksplanasi (C6)

*Engineering, Mathematics, and Technology*

## Kegiatan Pembelajaran 5

### (C5 – Analisis)

📌 **Tugas:** Tinjau kembali desain rangkaian sensor CO<sub>2</sub> berbasis IoT yang telah kamu buat pada E-LKPD 1. Analisis bagaimana hubungan antar komponen dapat dioptimalkan untuk efisiensi energi dan keandalan sistem.

**Tabel 3.** Analisis Logika dan Optimasi Rangkaian Alat Sensor CO<sub>2</sub>

No	Komponen Utama	Fungsi	Potensi Masalah	Solusi Optimasi	Efek terhadap Sistem
1.					
2.					

# KEGIATAN PEMBELAJARAN

Perancangan Solusi Terpilih (*Design a Solution*)

Virtual Prototyping

Analisis (C5) dan Eksplanasi (C6)

Engineering, Mathematics, and Technology

## Kegiatan Pembelajaran 5

(C5 – Analisis)

Tabel 3. Analisis Logika dan Optimasi Rangkaian Alat Sensor CO<sub>2</sub>

No	Komponen Utama	Fungsi	Potensi Masalah	Solusi Optimasi	Efek terhadap Sistem
3.					
4.					
5.					
6.					

(C6 – Eksplanasi)

❖ **Tugas:** Tampilkan kembali prototipe digital alat sensor CO<sub>2</sub> berbasis IoT. Jelaskan secara sistematis urutan kerja dan logika sistemnya, mulai dari pendektsian gas oleh sensor hingga pengiriman data ke aplikasi pemantau.

Tabel 4. Urutan Kerja dan Logika Sistem Sensor CO<sub>2</sub> Berbasis IoT

No	Tahap Proses	Komponen yang Aktif	Deskripsi Fungsi	Output
1.	Deteksi Gas			
2.	Pengolahan Data			
3.	Komunikasi			
4.	Feedback (Suara Buzzer, dll.)			

Penyusunan dan Pengujian Solusi (*Build and Test*)

Implementation and Testing Module

Regulasi Diri (C5) dan Evaluasi (C5)

Engineering, Technology, and Mathematics

## Kegiatan Pembelajaran 6

(C5 – Regulasi Diri)

❖ **Tugas:** Lakukan perakitan alat sensor CO<sub>2</sub> bertenaga surya berbasis IoT berdasarkan rancangan prototipe digital yang telah disepakati. Pastikan setiap komponen terhubung dengan benar sesuai dengan diagram rangkaian, lalu kelola proses penyolderan dan perakitan dengan hati-hati. Setelah semua komponen terpasang, lakukan koneksi dengan aplikasi pemantau (Blynk).