

## LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA 1

# KONSEP KIMIA LINGKUNGAN DAN RUANG LINGKUPNYA

LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA (LKM) KIMIA LINGKUNGAN  
DENGAN STRATEGI PEMBELAJARAN COLLABORATIVE PROBLEM  
SOLVING YANG MENGINTEGRASIKAN SOCIOSCIENTIFIC ISSUE

### IDENTITAS

Kelompok :

Anggota

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

**LEMBAR KEGIATAN MAHASISWA (LKM) KIMIA LINGKUNGAN  
DENGAN STRATEGI PEMBELAJARAN *COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING*  
YANG MENGINTEGRASIKAN *SOCIOSCIENTIFIC ISSUE***

**A. Tujuan Lembar Kegiatan**

Lembar kegiatan ini dirancang untuk membantu mahasiswa dalam memahami dan menerapkan konsep kimia lingkungan melalui strategi *Collaborative Problem Solving*. Mahasiswa akan bekerja dalam kelompok untuk menganalisis, mendiskusikan, dan menyelesaikan permasalahan lingkungan yang relevan dengan ilmu kimia lingkungan.

**B. Petunjuk Penggerjaan**

1. Pembentukan Kelompok
  - a. Mahasiswa akan dibagi menjadi beberapa kelompok kecil (5-6 orang per kelompok).
  - b. Setiap kelompok akan diberikan isu sosiosaintifik yang berkaitan dengan kimia lingkungan untuk dianalisis.
  - c. Setiap anggota kelompok diharapkan berkontribusi secara aktif dalam diskusi dan penyelesaian masalah.
2. Seluruh aktivitas mahasiswa dalam memecahkan permasalahan dilakukan secara berkelompok dan mengikuti pada tahapan sebagai berikut.
  - a. Representasi Permasalahan SSI  
Di dalam lembar kegiatan mahasiswa dipaparkan wacana *socioscientific issue*. Pada tahap ini, mahasiswa berkolaborasi dalam kelompok untuk dapat mendefinisikan masalah dalam wacana tersebut.
  - b. Penentuan Peran dan Tanggung Jawab Anggota Kelompok  
Mahasiswa menetapkan peran yang diperlukan untuk memecahkan permasalahan dan menentukan anggota kelompok yang bertanggung jawab atas peran tersebut.
  - c. Penentuan Solusi Permasalahan  
Selanjutnya, mahasiswa berkolaborasi untuk menyusun pemecahan masalah sesuai permasalahan yang teridentifikasi.
  - d. Penyusunan Justifikasi  
Pada tahap ini, mahasiswa berkolaborasi untuk menyusun justifikasi atas solusi permasalahan yang telah disusun.
  - e. Evaluasi Solusi SSI  
Selanjutnya, mahasiswa mengevaluasi solusi permasalahan yang telah disusun melalui kolaborasi dengan anggota kelompok.
3. Setelah selesai mengerjakan lembar kegiatan, mahasiswa mempresentasikan hasil diskusi, menyimpulkan materi pembelajaran, dan diminta untuk melakukan refleksi mengenai proses pembelajaran yang telah mereka lalui.

**Kegiatan Pembelajaran 1 dan 2**  
**KONSEP KIMIA LINGKUNGAN DAN RUANG LINGKUPNYA**

**TUJUAN PEMBELAJARAN**

**CPMK**

Mampu menganalisis terjadinya pencemaran udara, air dan tanah serta mengetahui cara penanggulangannya.

**Sub CPMK 1**

Mahasiswa mampu menjelaskan kimia lingkungan dan ruang lingkupnya.

**Indikator**

- 1.1 Menganalisis konsep kimia lingkungan dan ruang lingkupnya.
- 1.2 Menyusun pemecahan masalah lingkungan global dengan tepat.

**Kemampuan Akhir yang Diharapkan:**

Melalui implementasi strategi pembelajaran CPS yang mengintegrasikan SSI, mahasiswa mampu menganalisis dan memecahkan masalah terkait kimia lingkungan dan ruang lingkupnya, serta permasalahan lingkungan global.

**MATERI PEMBELAJARAN**

**KONSEP KIMIA LINGKUNGAN DAN RUANG LINGKUPNYA**

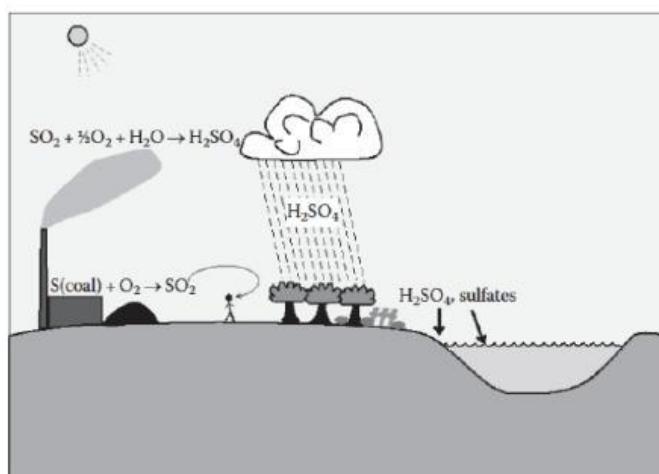
**DEFINISI KIMIA LINGKUNGAN**

Lingkungan Bumi dapat dianggap terdiri dari lima lingkungan yang saling terkait dan berinteraksi: (1) hidrosfer, yang terdiri dari air; (2) atmosfer, yang sebagian besar terdiri dari udara yang menyelimuti permukaan Bumi, yang sebagian besar terletak di dekat permukaan; (3) geosfer, yang menyusun batuan, materi mineral, dan tanah di atas atau di bawah permukaan Bumi; (4) antrosfer, yang terdiri dari banyak bagian Bumi yang telah dibuat, dimodifikasi, dan dioperasikan oleh manusia dengan menggunakan kecerdikan dan teknologi mereka; dan (5) biosfer, yang terdiri dari organisme hidup. Kimia lingkungan adalah disiplin ilmu yang menjelaskan asal, transportasi, reaksi, efek, dan nasib spesies kimia dalam hidrosfer, atmosfer, geosfer, biosfer, dan antroposfer. Akan lebih mudah untuk mempertimbangkan kimia lingkungan berdasarkan lima bidang utama sistem bumi tersebut dan tiap komponen tidak dapat dipisahkan.

Di antara lima lingkungan utama dalam sistem bumi tersebut terjadi pertukaran materi dan energi melalui jalur siklus biogeokimia. Siklus ini umumnya dinyatakan dalam bentuk unsur-unsur utama termasuk unsur-unsur nutrisi esensial, di antaranya: siklus air, siklus karbon, siklus oksigen, siklus nitrogen, dan siklus sulfur. Sering kali, seperti halnya siklus nitrogen, siklus-siklus ini mengandung komponen atmosfer, meskipun dalam beberapa kasus, seperti siklus fosfor, komponen atmosfer tidak signifikan.

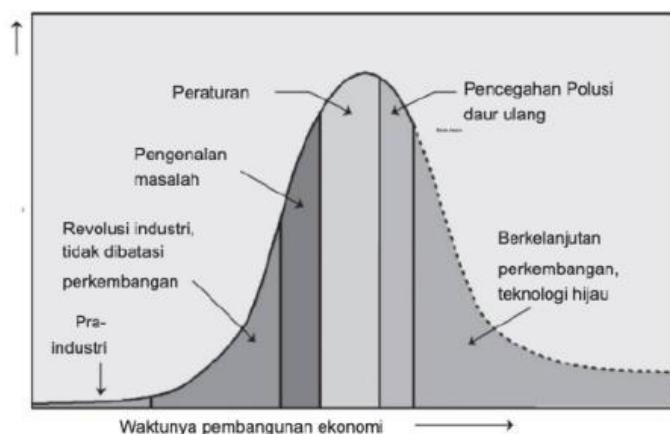
Definisi kimia lingkungan yang disebutkan di atas dapat diilustrasikan dengan contoh pada Gambar 1, yang menunjukkan siklus hidup polutan sulfur dioksida, yang diproduksi dan

dilepaskan ke atmosfer dalam pembakaran batu bara. Polutan udara sulfur dioksida dapat memengaruhi pernapasan manusia dan dapat menjadi racun bagi tanaman. Sulfur dioksida di atmosfer dapat teroksidasi menjadi asam sulfat, bahan utama hujan asam. Presipitasi asam dapat berdampak buruk pada tanaman, material, dan air, sedangkan keasaman yang berlebihan dapat membunuh ikan. Akhirnya, asam sulfat atau garam sulfat berakhir di air atau tanah. Kimia lingkungan pertama kali mempelajari bagaimana cara kerja lingkungan yang tak terkontaminasi, zat kimia yang terkandung, jumlah konsentrasi yang ada secara alami, dan apa efeknya. Tanpa hal ini, mustahil untuk mempelajari secara akurat efek manusia terhadap lingkungan dengan proses yang terjadi pada pelepasan zat kimia.



Gambar 1. Ilustrasi *life cycle* polutan yang berasal dari batubara

Pada dasarnya, bumi memiliki kapasitas yang baik untuk menangani produk limbah yang dibuang ke atmosfer, ke dalam air, atau ke geosfer. Kapasitas sistem bumi untuk menyediakan bahan, perlindungan, dan kondisi yang mendukung kehidupan dikenal sebagai modal alamnya (*natural capital*), yang dapat dianggap sebagai jumlah dari dua komponen utama: sumber daya alam (*natural resources*) dan layanan ekosistem (*ecosystem services*).



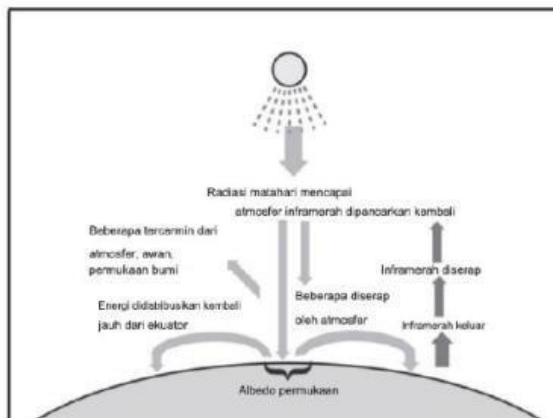
Gambar 2. Tahapan pembangunan ekonomi berkenaan dengan pemanfaatan modal alam Bumi

Masyarakat pada awalnya hanya menuntut sedikit sumberdaya alam bumi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, seiring berkembangnya revolusi industri sejak sekitar tahun 1800, sumber daya alam melimpah dan produksi barang-barang material sebagian besar dibatasi oleh tenaga kerja dan kapasitas mesin untuk memproses bahan. Namun kini populasi berlebih, mesin-mesin terkomputerisasi memiliki kapasitas yang sangat besar untuk memproses bahan-bahan, perekonomian negara-negara yang pernah miskin termasuk India dan Cina telah menjadi sangat terindustrialisasi, dan ketersediaan modal alam merupakan faktor pembatas dalam produksi termasuk ketersediaan sumber daya alam, kemampuan pendukung kehidupan yang vital dari sistem ekologi, dan kapasitas lingkungan alam untuk menyerap produk sampingan dari produksi industri, terutama gas rumah kaca karbon dioksida.

Ketika revolusi industri mulai menguat sejak sekitar tahun 1800, pembangunan tanpa batas memberikan beban yang meningkat pesat pada modal alam, yang berlanjut selama era ketika masalah tersebut mulai diakui. Hal ini akhirnya mengarah pada peraturan yang mulai sedikit mengurangi dampak pada sumber daya alam. Sampai batas tertentu, pendekatan peraturan dilengkapi dengan pencegahan polusi dan daur ulang. Dalam pandangan optimis terhadap masa depan, pembangunan berkelanjutan dan teknologi hijau akan semakin mengurangi beban pada modal alam bahkan dengan peningkatan pembangunan ekonomi.

### PEMANASAN GLOBAL DAN UPAYA PENANGGULANGANNYA

Dapat dikatakan bahwa ancaman terbesar yang dihadapi atmosfer dan Sistem Bumi secara keseluruhan adalah emisi karbon dioksida dan gas-gas lain yang memiliki efek pemanasan pada atmosfer. Gambar 3 menggambarkan keseimbangan panas atmosfer Bumi, terutama di troposfer. Energi matahari elektromagnetik yang mengenai Bumi masuk terutama sebagai cahaya tampak dalam rentang panjang gelombang 400–800 nm dengan intensitas maksimum pada panjang gelombang sekitar 500 nm. Jumlah energi yang sama persis harus meninggalkan Sistem Bumi, yang terutama terjadi sebagai radiasi inframerah dengan intensitas maksimum. Spesies penyerap inframerah (yakni gas rumah kaca yang meliputi uap air ( $H_2O$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), metana ( $CH_4$ ), ozon ( $O_3$ ), dan spesies minor lainnya di atmosfer) menyerap sebagian inframerah yang keluar, yang akhirnya semuanya terpancar ke luar angkasa. Penyerapan sementara radiasi inframerah menghangatkan atmosfer (yang disebut efek rumah kaca) yang tanpanya suhu permukaan bumi rata-rata akan menjadi sekitar  $18^{\circ}C$  dan tidak cocok untuk kehidupan.



Gambar 3. Kesimbangan Panas Atmosfer Bumi

Jumlah karbon dioksida yang berkontribusi terhadap pemanasan global terus meningkat. Selain itu CFC, fluorokarbon, hidroklorofluorokarbon (HCFC), hidrofluorokarbon, N<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub> turut berkontribusi dalam pemanasan global. Selain bertindak sebagai gas rumah kaca, metana memiliki dampak signifikan pada kimia atmosfer. Gas ini menghasilkan CO atmosfer sebagai produk oksidasi antara dan memengaruhi konsentrasi radikal hidroksil atmosfer dan ozon. Di stratosfer, gas ini menghasilkan hidrogen dan H<sub>2</sub>O, tetapi bertindak untuk menghilangkan klorin yang merusak ozon.

Dampak utama pemanasan global yang dirasakan langsung adalah peningkatan suhu, hilangnya lapisan es, penyusutan gletser (mengakibatkan banjir), kekeringan, serangan hama, hujan asam, dan kerusakan terumbu karang akibat turunnya pH air laut.

Ada tiga prinsip yang dapat dilakukan untuk menghafapi permasalahan lingkungan, yakni, minimalisasi, penanggulangan, dan adaptasi. Dalam konteks mengurangi pemanasan global yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Minimalisasi

Minimalisasi berhubungan dengan produksi dan pemanfaatan energi, karena sebagian besar gas rumah kaca berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Selain itu, penerapan prinsip *green chemistry* seperti pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar atau bahan baku produk juga dapat ditempuh sebagai langkah efisiensi energi. Pembakaran bahan bakar biomassa memang melepaskan karbon dioksida ke atmosfer, tetapi jumlah karbon dioksida yang sama persis dikeluarkan dari atmosfer dalam proses fotosintesis yang dilakukan saat biomassa dibuat, jadi tidak ada penambahan CO<sub>2</sub> bersih. Potensi *green chemistry* lainnya adalah mencegah penambahan karbon dioksida ke atmosfer adalah melalui penyerapan karbon, di mana karbon dioksida diproduksi tetapi terikat dalam bentuk sedemikian rupa sehingga tidak dilepaskan ke atmosfer. Pendekatan teknologi hijau untuk mengurangi emisi karbon dioksida adalah dengan mengembangkan metode alternatif produksi energi. Satu hal yang akan sangat bermanfaat adalah pengembangan sel fotovoltaik yang lebih efisien. Perangkat ini telah menjadi kompetitif untuk menghasilkan listrik, menggantikan sumber bahan bakar fosil untuk pembangkitan listrik. Salah satu penerapan *green biochemistry* yang juga dapat mengurangi emisi karbon dioksida adalah pengembangan tanaman dengan efisiensi fotosintesis yang jauh lebih tinggi.

Cara efektif lain untuk mengurangi emisi karbon dioksida adalah sistem pembatasan dan perdagangan di mana perusahaan dialokasikan jumlah karbon tertentu yang dapat mereka keluarkan. Jika mereka mengeluarkan emisi kurang dari batas, mereka dapat menjual hak untuk mengeluarkan karbon kepada perusahaan yang melebihi batasnya. Semua langkah ini memiliki keuntungan karena tidak mendikte teknologi yang akan digunakan, sehingga aspek tersebut bergantung pada kecerdikan sektor swasta.

b. Penanggulangan

Untuk tindakan penanggulangan yang dapat dilakukan adalah modifikasi permukaan Bumi dengan menghadirkan vegetasi yang sesuai dengan jenis hutan di wilayah tersebut dan pertanian yang menyerap cahaya. Namun dibutuhkan dalam skala besar agar berdampak signifikan.

c. Adaptasi

Pemanasan global pada kenyataannya akan terjadi dan baik upaya minimalisasi maupun penanggulangan tidak akan cukup untuk menghentikannya, adaptasi terhadap pemanasan iklim akan diperlukan. Kekurangan air dan kekeringan mungkin merupakan aspek yang paling menyusahkan dari pemanasan iklim. Air, yang sudah langka di banyak bagian dunia, akan semakin langka. Diperlukan penerapan praktik irigasi yang lebih efisien dan menanam tanaman yang membutuhkan lebih sedikit irigasi.

### AKTIVITAS PEMECAHAN MASALAH KOLABORATIF

Seluruh aktivitas mahasiswa dalam memecahkan permasalahan dilakukan secara berkelompok dan didasarkan pada tahapan yang meliputi: a) merepresentasi permasalahan SSI, b) pembagian peran dan tugas, c) penentuan solusi permasalahan SSI, d) penyusunan justifikasi, dan e) evaluasi solusi permasalahan SSI.

*Bacalah wacana socioscientific issue di bawah ini dan jawablah pertanyaan yang diberikan.*

#### **Batubara: Kekayaan Alam Sumber Pembangkit Listrik Indonesia**

Batubara, sumber energi terpenting kedua di seluruh dunia, berkontribusi terhadap 40% konsumsi energi primer global (*World Energy Research World Energy Council*, 2016). Banyak negara berkembang menggunakan batubara sebagai sumber energi. Indonesia mengeksport 494 juta ton batubara, atau setara dengan 70% produksi nasional. Indonesia berkontribusi terhadap 21% ekspor batubara global berdasarkan nilai moneter (Kementerian ESDM, 2023b; Workman, 2022). Sumber daya dan cadangan batubara Indonesia yang utama terdiri dari batubara dengan kualitas menengah yang tersebar di Kalimantan Timur dan batubara dengan kualitas rendah di Sumatera bagian Tengah dan Selatan (IESR, 2019). Pada bulan Desember 2015 di Paris, semua negara sepakat untuk berinvestasi dan mengintensifkan perang melawan pemanasan global untuk masa depan yang berkelanjutan dan rendah karbon. Sasaran tersebut tidak mungkin tercapai, karena sebagian besar negara berkembang dianggap lebih peduli dengan hal yang mendesak daripada masa depan.

Kondisi di Indonesia bergantung pada tenaga batubara untuk 62,5% dari pembangkitan listriknya (PLN, 2022). Ketergantungan ini membawa dampak yang signifikan terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat di tanah air, serta berkontribusi besar terhadap pertumbuhan emisi gas rumah kaca selama beberapa dekade terakhir. Sebanyak 97% kota dengan populasi lebih dari 100.000 jiwa di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah tidak memenuhi pedoman kualitas udara WHO (WHO, 2018). Berdasarkan estimasi dari Air Quality Life Index (AQLI), 91% penduduk Indonesia terpapar tingkat polusi udara yang lebih buruk dibanding yang disyaratkan pada pedoman WHO. Di provinsi dengan tingkat pencemaran tertinggi, yaitu Jawa Barat, polusi udara mengurangi harapan hidup 48 juta penduduknya hingga 4,1 tahun. Sebanding dengan itu, penduduk di wilayah Metropolitan Jakarta, Jabodetabek, terpapar polusi partikulat tingkat tinggi, dan harapan hidup mereka 5,5 hingga 6,4 tahun lebih singkat daripada mereka yang tinggal di wilayah yang memenuhi pedoman WHO (AQLI, 2022). Emisi polutan udara dari pembangkit listrik batubara telah meningkat sekitar 110% selama satu dekade terakhir. Di bawah kebijakan yang berlaku saat ini, emisi tersebut diperkirakan akan meningkat lebih lanjut sebesar 70% pada tahun 2030.

Proses pembangkit listrik tenaga batu bara mendorong terjadinya transformasi kimia pada unsur-unsur. Proses ini melepaskan sejumlah besar gas seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>), nitrogen oksida (NO), dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan partikulat (PM2.5 dan PM10). Campuran polutan tersebut dapat memicu dampak kesehatan yang serius karena kapasitasnya untuk menghasilkan berbagai reaksi kimia. Paparan kronis terhadap polutan tersebut di udara dikaitkan dengan beberapa penyakit yang dapat menyebabkan kematian.

Pada bulan Oktober 2022, Peraturan Presiden No. 112 tahun 2022 mengenai Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik telah dikeluarkan. Peraturan tersebut memperlihatkan komitmen negara untuk memprioritaskan pembangkit listrik energi baru dan terbarukan serta untuk bertransisi menjauh dari bahan bakar fosil. Di

dalam peraturan tersebut dirinci bahwa Indonesia tidak akan mengizinkan pembangunan PLTU batubara tambahan setelah diterbitkannya peraturan dan menetapkan tahun 2050 sebagai batas maksimum tahun operasional.

Selain itu, Indonesia mulai mengakui potensi teknologi *carbon capture storage* (CCS) sebagai elemen kunci dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Pemerintah telah memulai kebijakan dan kemitraan untuk mendorong pengembangan dan penerapan teknologi CCS. Salah satu langkah penting adalah diterbitkannya Peraturan Presiden (PERPRES) No. 98/2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. Teknologi CCS memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon di berbagai sektor industri, termasuk industri, energi, dan produksi hidrogen. Dengan infrastruktur yang tepat, CCS dapat menjadi pendorong utama dalam mencapai energi berkelanjutan dan produksi yang ramah lingkungan.

Sumber:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666759220300500>

[https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2023/08/CREA\\_IERS\\_Health-Benefits-of-Just-Energy-Transition-and-Coal-Phase-out-in-Indonesia\\_ID\\_07.2023.pdf](https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2023/08/CREA_IERS_Health-Benefits-of-Just-Energy-Transition-and-Coal-Phase-out-in-Indonesia_ID_07.2023.pdf)

<https://egsa.geo.ugm.ac.id/2024/01/15/peran-pemuda-berkelanjutan-implementasi-teknologi-carbon-capture-storage-ccs-dalam-mencapai-net-zero-emission/>

#### **Representasi Permasalahan SSI**

Setelah membaca wacana *socioscientific issue* di atas, lakukan analisis permasalahan dan diskusi untuk menjawab pertanyaan berikut.

1. Kenapa Indonesia masih menggunakan batubara secara masif sebagai sumber energi?

2. Apa saja pro dan kontra terkait penggunaan batubara sebagai sumber energi untuk kehidupan di bumi?

3. Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) diketahui sebagai salah satu emisi pembakaran batubara. Coba jelaskan secara sederhana bagaimana siklus sulfur dioksida yang melibatkan lima sistem bumi mulai dari  $\text{SO}_2$  diproduksi dari hasil pembakaran batubara.

Dari wacana di atas, permasalahan yang teridentifikasi adalah ...

### **Pembagian Peran dan Tugas**

*Tentukan peran yang diperlukan untuk pemecahan masalah dan tetapkan anggota kelompok yang bertanggung jawab terhadap peran tersebut.*

### **Penentuan Solusi Permasalahan SSI**

*Tentukan solusi permasalahan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.*

4. Bagaimana strategi minimalisasi yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik tenaga batubara? Jelaskan dengan mempertimbangkan teknologi alternatif dan kebijakan yang dapat diterapkan.

5. Apakah strategi yang diusulkan dapat memenuhi prinsip untuk menghadapi permasalahan lingkungan?

**Penyusunan Justifikasi**

Susun justifikasi untuk solusi permasalahan yang telah diajukan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

6. Dari solusi yang diajukan, mengapa solusi tersebut yang paling realistik untuk diterapkan di Indonesia dalam jangka pendek dan jangka panjang? Jelaskan alasan pemilihan solusi tersebut berdasarkan efektivitasnya.

7. Dari perspektif kimia lingkungan, apakah solusi tersebut benar-benar mengatasi masalah polusi karbon atau hanya menunda dampaknya?

**Evaluasi Solusi Permasalahan SSI**

Lakukan evaluasi terhadap solusi permasalahan yang disusun.

8. Apakah solusi yang diajukan untuk mengurangi emisi batubara tersebut memiliki risiko bagi lingkungan?

### Sintesis dan Refleksi

Berdasarkan hasil presentasi dan diskusi kelompok, susunlah kesimpulan dalam memecahkan permasalahan emisi gas dan dampaknya terhadap pemanasan global.

Tuliskan hasil refleksi bersama berkaitan pengalaman belajar pemecahan masalah secara kolaborasi dalam memecahkan permasalahan emisi gas dan dampaknya terhadap pemanasan global yang telah diikuti.