

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembelajaran abad ke-21 menuntut peserta didik tidak hanya menguasai konsep, tetapi juga memiliki kemampuan berpikir tingkat tinggi, salah satunya adalah kemampuan argumentasi ilmiah. Argumentasi ilmiah merupakan keterampilan inti dalam pendidikan sains karena melibatkan kemampuan menyusun klaim, menggunakan bukti, serta memberikan penalaran yang logis dan ilmiah. *Partnership for 21st Century Learning* (P21) menempatkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan komunikasi ilmiah sebagai kompetensi utama yang harus dikembangkan melalui pembelajaran sains (P21, 2021). Sejalan dengan itu, OECD (2021) melalui kerangka PISA *Science Literacy* menegaskan bahwa literasi sains mencakup kemampuan menggunakan pengetahuan ilmiah untuk menjelaskan fenomena, mengevaluasi bukti, dan mengomunikasikan argumen secara ilmiah dalam konteks kehidupan nyata.

Meskipun demikian, berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa masih tergolong rendah. (Rahma dkk. 2021) melaporkan bahwa pembelajaran kimia di perguruan tinggi masih didominasi oleh penyampaian konsep secara abstrak dan berorientasi pada hafalan, sehingga mahasiswa kurang terlatih dalam mengembangkan argumentasi berbasis data dan bukti ilmiah. Temuan ini diperkuat oleh (Hadinugrahaningsih dkk. 2023) yang menyatakan bahwa mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep kimia dengan permasalahan nyata, sehingga argumen ilmiah yang dihasilkan cenderung lemah, tidak kritis, dan kurang kontekstual. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan pembelajaran abad ke-21 dan praktik pembelajaran kimia yang berlangsung di kelas (Sarah dkk. 2021).

Rendahnya kemampuan argumentasi ilmiah tersebut semakin terlihat ketika mahasiswa dihadapkan pada isu-isu lingkungan yang bersifat kompleks dan kontekstual. Salah satu isu lingkungan yang relevan dalam pembelajaran kimia adalah fenomena hujan asam. Hujan asam merupakan bentuk presipitasi dengan tingkat keasaman di bawah pH 5,6 yang terbentuk akibat pelepasan sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x) ke atmosfer. Gas-gas tersebut mengalami oksidasi dan bereaksi dengan uap air membentuk asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3) yang kemudian terdeposisi ke permukaan bumi (Alfiandy dkk. 2021). Proses ini melibatkan konsep asam–basa, reaksi redoks, dan pencemaran udara yang menuntut kemampuan mahasiswa dalam menyusun argumentasi ilmiah berbasis konsep dan data.

Lebih dari sekadar fenomena kimia, hujan asam merupakan isu sosiosaintifik karena dampaknya tidak hanya dirasakan pada aspek lingkungan, tetapi juga mempengaruhi kesehatan masyarakat, produktivitas pertanian, kelestarian ekosistem, serta keberlanjutan pembangunan ekonomi. Upaya pengendalian hujan asam sering kali menghadapi berbagai pemangku kepentingan pada dilema antara perlindungan lingkungan dan kepentingan ekonomi. Misalnya, penerapan teknologi pengendali emisi, penggunaan bahan bakar yang lebih bersih, atau pengetatan regulasi emisi dapat meningkatkan biaya produksi industri dan transportasi. Di sisi lain, apabila pengendalian emisi tidak dilakukan, kerusakan lingkungan dan dampak kesehatan yang ditimbulkan akan menimbulkan kerugian ekonomi yang jauh lebih besar dalam jangka panjang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penyelesaian masalah hujan asam memerlukan pertimbangan ilmiah, sosial, ekonomi, etika, dan kebijakan secara terpadu sehingga tidak dapat diselesaikan hanya melalui pemahaman konsep kimia semata.

Secara empiris, fenomena hujan asam telah teridentifikasi di berbagai wilayah Indonesia. Di Kota Semarang, rata-rata pH air hujan pada periode 2018–2020 tercatat sebesar 5,37 yang mengindikasikan terjadinya hujan asam (Ananto dkk. 2023). Fenomena serupa juga dilaporkan di Pontianak, yang

dipicu oleh pencemaran udara akibat aktivitas antropogenik seperti industri dan transportasi (Fadillah dkk. 2023). Data tersebut menunjukkan bahwa hujan asam bukan hanya isu global, tetapi telah menjadi permasalahan lokal yang nyata dan relevan untuk diangkat dalam pembelajaran kimia. Oleh karena itu, diperlukan model pembelajaran yang mampu mengaitkan konsep kimia dengan permasalahan lingkungan nyata sekaligus melatih kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa.

Salah satu model pembelajaran yang relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *Problem Based Learning* (PBL). PBL menempatkan permasalahan nyata sebagai titik awal pembelajaran, sehingga mahasiswa didorong untuk mengidentifikasi masalah, mengumpulkan dan menganalisis informasi, serta merumuskan solusi berbasis penalaran ilmiah (Sarah dkk. 2021). Dalam konteks isu lingkungan, *Problem Based Learning* memungkinkan mahasiswa membangun argumentasi ilmiah melalui pemecahan masalah kontekstual yang bersifat sosial-saintifik. Agar pembelajaran berbasis masalah menjadi lebih bermakna, PBL dipadukan dengan pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI). Pembelajaran SSI mengintegrasikan isu-isu sains yang memiliki implikasi sosial, etika, dan lingkungan sehingga memungkinkan mahasiswa menganalisis fenomena kontroversial secara multidimensional. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa SSI dapat meningkatkan literasi sains, kemampuan berpikir kritis, serta kemampuan mengevaluasi bukti dan mengambil keputusan ilmiah (Normawati dkk. 2022). Penelitian Rocha & Guerra (2022) menemukan bahwa penggunaan SSI dalam materi kimia lingkungan meningkatkan keterlibatan mahasiswa secara signifikan serta memperkuat kemampuan mereka menghubungkan konsep sains dengan persoalan sosial.

Selain itu, penelitian Özcan & Kılıç (2022) menyatakan bahwa SSI mampu menumbuhkan kesadaran ekologis mahasiswa dengan memberikan konteks nyata yang relevan dengan kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, integrasi PBL dan SSI memberikan kerangka pembelajaran yang menempatkan hujan

asam sebagai masalah nyata yang harus dianalisis, diperdebatkan, dan diselesaikan melalui argumentasi ilmiah berbasis data. Efektivitas pembelajaran tersebut akan semakin optimal apabila didukung dengan pendekatan *flipped classroom*. *Flipped classroom* merupakan model pembelajaran yang membalik proses pembelajaran konvensional, di mana mahasiswa mempelajari materi dasar secara mandiri sebelum pertemuan kelas melalui berbagai sumber belajar, sedangkan waktu di kelas digunakan untuk kegiatan yang lebih mendalam seperti diskusi, pemecahan masalah, dan pengembangan argumentasi (Bishop & Verleger, 2023). Dalam konteks PBL berbasis SSI, *flipped classroom* memungkinkan mahasiswa datang ke kelas dengan pemahaman awal yang memadai sehingga proses diskusi dan argumentasi ilmiah dapat berlangsung lebih aktif, kritis, dan bermakna.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *flipped classroom* mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa, kemandirian belajar, serta kemampuan berpikir tingkat tinggi (Akçayır & Akçayır, 2021). Dengan demikian, kombinasi *flipped classroom* dengan PBL berbasis SSI memberikan peluang yang lebih besar dalam mengembangkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa, karena mahasiswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu menggunakannya dalam menganalisis dan menyelesaikan permasalahan nyata secara ilmiah. Namun demikian, pembelajaran kimia pada materi hujan asam di perguruan tinggi masih cenderung berfokus pada aspek konseptual, sehingga keterkaitannya dengan isu lingkungan nyata belum terintegrasi secara optimal melalui kerangka *Socio-Scientific Issues*. Selain itu, penerapan model PBL dalam pembelajaran kimia umumnya belum dipadukan secara sistematis dengan pendekatan SSI serta *flipped classroom* untuk melatih kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa secara komprehensif.

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan pembelajaran *Problem Based Learning* berbasis *Socio-Scientific Issues* yang dipadukan dengan *flipped classroom* pada materi hujan asam sebagai isu lingkungan kontekstual. Integrasi ini tidak hanya menempatkan hujan asam

sebagai objek kajian konseptual, tetapi sebagai permasalahan nyata yang dianalisis, diperdebatkan, dan diselesaikan melalui argumentasi ilmiah berbasis data dan bukti. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan pembelajaran kimia yang kontekstual, argumentatif, dan relevan dengan tantangan lingkungan kontemporer.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka membentuk rumusan masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *Problem Based Learning* terintegrasi SSI pada materi hujan asam?
2. Bagaimana peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa setelah penerapan *Problem Based Learning* terintegrasi SSI pada materi hujan asam?

C. Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah yang diajukan, maka tujuan dari penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan penerapan *Problem Based Learning* terintegrasi SSI pada materi hujan asam.
2. Menganalisis peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa sebelum dan sesudah penerapan *Problem Based Learning* terintegrasi SSI.

D. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan mampu memberikan beberapa manfaat, diantaranya:

1. Meningkatkan Kemampuan Argumentasi ilmiah mahasiswa pada materi hujan asam
2. Penerapan pembelajaran berbasis masalah sosial-ilmiah (SSI) menjadi salah satu solusi dalam pelaksanaan pembelajaran abad 21.

E. Kerangka pemikiran

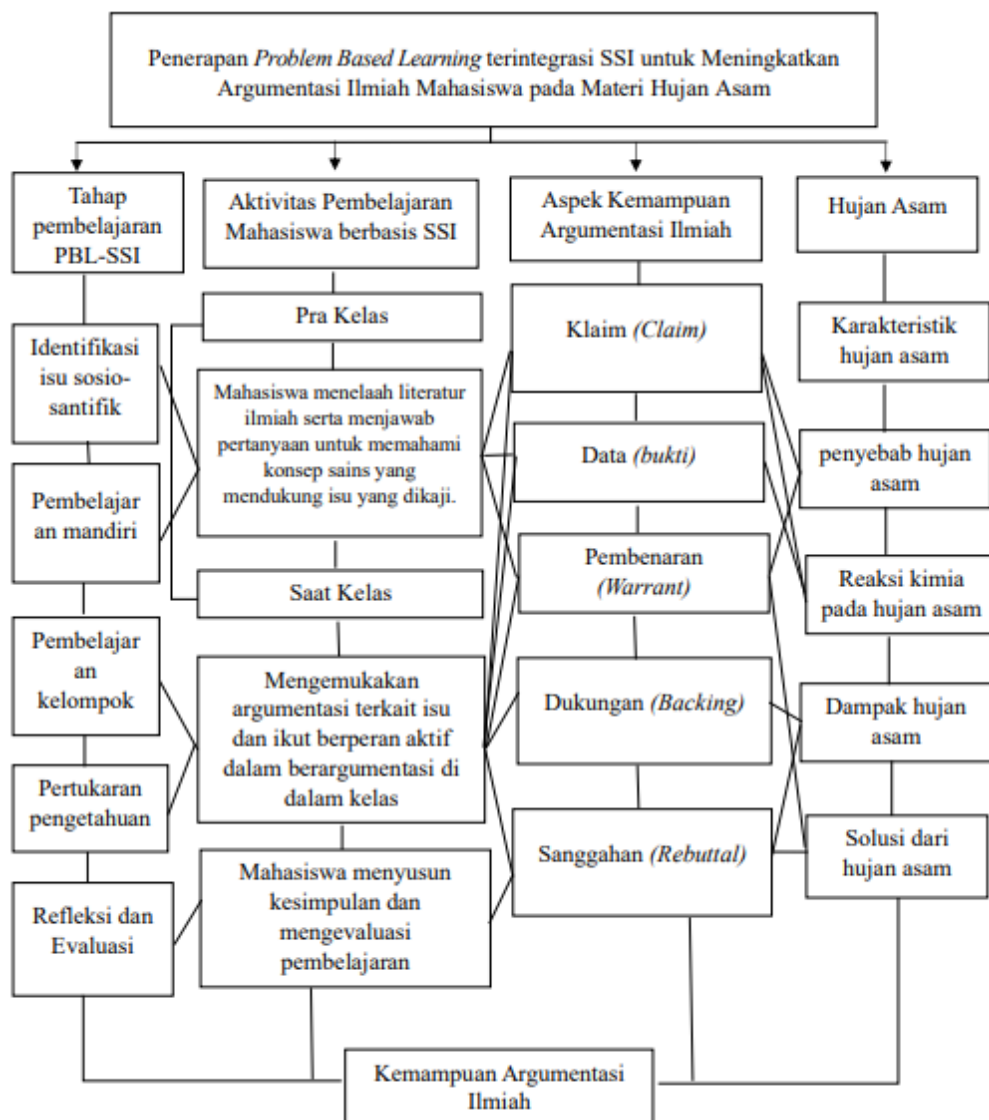
Kerangka pemikiran dalam penelitian ini menghubungkan penerapan pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) berbasis *Socio-Scientific Issues* (SSI) dengan peningkatan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada materi hujan asam. Sintaks pembelajaran PBL terintegrasi SSI terdiri dari lima tahapan, yaitu identifikasi isu sosio-saintifik (*Orientation to the Socio-Scientific Issue*), pembelajaran mandiri (*Self-Learning*), penyidikan kelompok (*Group Investigation*), pertukaran pengetahuan (*Exchange of Knowledge*), serta refleksi dan evaluasi (*Reflection and Evaluation*) (Wilsa dkk. 2017).

Sebelum kegiatan pembelajaran di kelas, mahasiswa terlebih dahulu mengikuti tahap pra-kelas melalui pendekatan *flipped classroom*, yaitu mempelajari materi secara mandiri melalui studi literatur, video pembelajaran, atau sumber belajar lainnya yang relevan dengan konsep hujan asam. Kegiatan ini bertujuan untuk membangun pemahaman awal mahasiswa terkait konsep asam-basa, reaksi redoks, serta fenomena pencemaran udara yang menjadi dasar dalam menganalisis isu hujan asam. Pada tahap pembelajaran di kelas, mahasiswa dilibatkan secara aktif dalam proses pemecahan masalah berbasis *Socio-Scientific Issues*.

Tahap awal dimulai dengan identifikasi isu hujan asam sebagai permasalahan nyata yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Selanjutnya, mahasiswa melakukan pembelajaran mandiri lanjutan dan penyidikan kelompok untuk mengumpulkan serta menganalisis informasi yang relevan. Pada tahap pertukaran pengetahuan, mahasiswa berdiskusi untuk menyampaikan pendapat, menyusun argumen, serta mengevaluasi berbagai sudut pandang berdasarkan data dan konsep ilmiah yang telah dipelajari. Proses pembelajaran ini mendorong pengembangan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa, yang mencakup aspek mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, menarik kesimpulan, mengevaluasi argumen, menjelaskan hasil analisis, serta melakukan refleksi terhadap proses berpikirnya.

Tahap argumentasi menjadi inti dari pembelajaran, di mana mahasiswa secara aktif menyusun klaim, memberikan alasan yang didukung bukti ilmiah, serta menanggapi argumen dari sudut pandang yang berbeda dalam diskusi kelompok. Pada tahap penyusunan kesimpulan, mahasiswa diarahkan untuk mensintesis hasil diskusi dan argumentasi yang telah dilakukan, kemudian menarik kesimpulan serta merumuskan sikap ilmiah terhadap isu hujan asam. Tahap ini juga mendorong mahasiswa untuk melakukan refleksi terhadap proses berpikir dan argumentasi yang telah dibangun, sehingga terjadi penguatan pemahaman konseptual sekaligus kemampuan metakognitif.

Melalui rangkaian tahapan tersebut, pembelajaran PBL berbasis SSI yang dipadukan dengan *flipped classroom* diharapkan mampu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa secara komprehensif. Kemampuan ini mencakup mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, menarik dan mengevaluasi kesimpulan, menjelaskan hasil analisis secara logis, serta merefleksikan pemikiran sendiri. Dengan demikian, integrasi PBL berbasis SSI dan *flipped classroom* diharapkan tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep kimia, tetapi juga membekali mahasiswa dengan keterampilan argumentasi ilmiah dan sikap ilmiah yang diperlukan dalam menghadapi permasalahan sains di masyarakat. Berdasarkan keterkaitan antar variabel tersebut, kerangka pemikiran dapat dijelaskan kembali melalui Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir

F. Hasil Penelitian Terdahulu

Pendekatan *Socio-Scientific Issues* (SSI) dalam pendidikan kimia bertujuan untuk mengaitkan konsep-konsep kimia dengan permasalahan sosial nyata, sehingga mahasiswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mampu menerapkannya dalam konteks sosial dan lingkungan. Rahayu (2021) dalam *Journal of Physics: Conference Series* menegaskan bahwa integrasi SSI dalam pembelajaran kimia berpotensi besar dalam meningkatkan literasi kimia dan *transferable skills* mahasiswa, seperti kemampuan berpikir kritis, pengambilan

keputusan berbasis bukti, serta kesadaran terhadap dampak sosial dan lingkungan dari aktivitas kimia. Sejalan dengan itu, Sadler, Romine, dan Topçu (2021) menunjukkan bahwa penerapan SSI mendorong peserta didik untuk memahami konten ilmiah sekaligus mempertimbangkan implikasi etis dan sosial dari fenomena kimia yang dipelajari, seperti polusi udara dan reaksi asam-basa dalam konteks lingkungan. Pembelajaran dengan konteks isu sosial ini terbukti memperkuat keterampilan berpikir tingkat tinggi yang relevan dalam studi kimia lingkungan (Sadler dkk. 2020).

Sementara itu, Dewi, dkk (2025) menemukan bahwa pembelajaran berbasis SSI secara signifikan meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa dalam topik-topik kimia, terutama ketika didukung oleh aktivitas diskusi reflektif. Hasil ini mempertegas pentingnya desain pembelajaran kimia yang berbasis isu-isu sosial seperti hujan asam, limbah industri, dan efek rumah kaca, yang tidak hanya menuntut pemahaman konsep, tetapi juga pertimbangan etika dan keberlanjutan (Dewi dkk. 2025). Argumentasi ilmiah dalam konteks pembelajaran kimia berperan penting dalam membantu mahasiswa memahami hubungan antara teori dan fenomena empiris. Aziz dan Johari (2023) melaporkan bahwa debat berbasis SSI dalam topik kimia lingkungan meningkatkan kualitas penalaran dan keakuratan argumen ilmiah mahasiswa. Mereka menunjukkan bahwa mahasiswa yang dilibatkan dalam diskusi berbasis bukti mampu membangun argumen yang lebih koheren dan valid secara ilmiah (Aziz & Johari, 2023).

Penelitian Tsai (2021) memperluas temuan ini dengan menunjukkan bahwa argumentasi berbasis SSI dalam pembelajaran kimia mampu memperdalam pemahaman konseptual sekaligus menumbuhkan sikap keberlanjutan ilmiah. Selain itu, Anwar & Ali (2021) menegaskan bahwa penggunaan model SSI dalam pembelajaran kimia memperkuat keterampilan kolaboratif dan meningkatkan kemampuan merumuskan argumen berbasis bukti laboratorium. Hal ini relevan dengan konteks hujan asam yang menuntut pemahaman proses kimia serta dampak sosial-lingkungan (Anwar & Ali, 2021).

Integrasi pendekatan SSI dengan model pembelajaran aktif seperti *Problem Based Learning* juga menunjukkan hasil yang signifikan dalam pendidikan sains. Penelitian oleh Hmelo-Silver (2021) menyatakan bahwa PBL mendorong mahasiswa untuk belajar melalui pemecahan masalah kontekstual, sehingga meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir kritis. Dalam konteks integrasi PBL–SSI, studi oleh Lee & Brown (2022) menunjukkan bahwa penggabungan kedua pendekatan tersebut mampu meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah dan pengambilan keputusan berbasis bukti karena mahasiswa dihadapkan pada masalah nyata yang bersifat kompleks dan multidimensi. Selanjutnya, penelitian oleh Nugroho & Widodo (2021) dalam pembelajaran kimia lingkungan menemukan bahwa integrasi PBL berbasis SSI dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis, literasi sains, dan kesadaran lingkungan mahasiswa secara signifikan. Mahasiswa tidak hanya memahami konsep kimia, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan solusi terhadap permasalahan lingkungan yang nyata. Hal ini didukung oleh penelitian Yulianti & Kurniawan (2022) yang menunjukkan bahwa penerapan PBL berbasis SSI pada materi pencemaran lingkungan meningkatkan kemampuan analisis dan argumentasi ilmiah mahasiswa secara lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional.

Kajian sistematis oleh Falah, dkk (2024) mengungkap bahwa tren penelitian SSI dalam pendidikan kimia kini bergerak menuju integrasi antara pendekatan berbasis bukti dan model pembelajaran aktif seperti PBL. Namun, mereka juga menyoroti bahwa masih diperlukan penelitian lebih lanjut yang secara spesifik mengeksplorasi pengembangan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa dalam konteks kimia lingkungan. Selanjutnya, Sadler, dkk (2021) menelusuri evolusi model *Socio-Scientific Issues Teaching and Learning* (SSI-TL) dan menemukan bahwa keseimbangan antara konten kimia dan isu sosial perlu dijaga agar pembelajaran tidak kehilangan orientasi ilmiah. Model ini menjadi dasar penting bagi penelitian ini untuk mengembangkan kerangka konseptual pembelajaran hujan asam berbasis SSI yang menekankan integrasi pengetahuan

kimia, kesadaran sosial, dan kemampuan berargumentasi ilmiah.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat literatur tentang penerapan SSI dalam pendidikan kimia, tetapi juga menekankan pentingnya integrasi dengan model pembelajaran berbasis masalah untuk meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa pada materi hujan asam.

