

BAB 2

TINJAUAN TEORETIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Kemampuan Literasi Ekologi

2.1.1.1 Pengertian Kemampuan Literasi Ekologi

Literasi ekologi menurut beberapa para ahli mencakup aspek kognitif, afektif maupun psikomotorik. Menurut Desmarais (2024) menyatakan bahwa literasi ekologi termasuk pengetahuan spesifik tentang sistem ekologi, pemikiran ekologi, dan juga pemahaman terhadap hubungan antara ekologi dan masyarakat. Selain itu, Wulandari et al. (2024) menambahkan bahwa literasi ekologi adalah kemampuan untuk menyadari bahwa manusia adalah makhluk hidup yang saling berinteraksi dengan lingkungannya. Kemampuan ini mencakup pemahaman mengenai peran manusia dalam ekosistem, pada tingkat lokal maupun global, serta kesanggupan untuk menjalankan peran tersebut secara bertanggung jawab dalam menjaga keseimbangan dan keberlanjutan kehidupan. Kedua definisi ini menekankan bahwa literasi ekologi tidak hanya mengenai pengetahuan alam, namun juga kemampuan dalam memahami keterkaitan antar bagian pada ekosistem dan peranan manusia di dalamnya, termasuk tanggung jawab moral dan sosial.

Selain itu, David W. Orr (1992) dalam bukunya mengemukakan bahwa literasi ekologi melibatkan kemampuan untuk berpikir secara sistemik yang akan membantu manusia untuk menyadari dan memahami hubungannya dengan alam. Anggraeni dan Yanti (2024) juga menjelaskan bahwa seseorang yang memiliki literasi ekologi mampu mengetahui keterkaitan antara konsep ekologi dengan kehidupan nyata, serta dapat memahami pola tindakan manusia yang akan mempengaruhi keseimbangan ekosistem. Dengan demikian, literasi ekologi mencakup penguasaan konsep ekologi seperti siklus kehidupan dan keseimbangan alam, kemampuan berpikir secara sistemik dalam memahami keterkaitan antar komponen lingkungan, serta penerapannya ke dalam sikap dan tindakan yang lebih bertanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan.

Berdasarkan beberapa pemaparan para ahli sebelumnya, penulis menyimpulkan bahwa kemampuan literasi ekologi merupakan kompetensi yang mencakup pengetahuan, pemahaman, sikap, dan tindakan yang berorientasi pada kelestarian lingkungan. Individu yang memiliki literasi ekologi tidak hanya memahami konsep-konsep dasar ekologi seperti hubungan antar makhluk hidup, keseimbangan ekosistem, dan keterkaitan manusia dengan lingkungan, tetapi juga mampu berpikir secara sistemik (*systems thinking*) dalam melihat keterhubungan antar komponen ekosistem. Selain itu, literasi ekologi juga mencerminkan kesadaran dan tanggung jawab moral untuk berperilaku ramah lingkungan serta berpartisipasi aktif dalam menjaga keberlanjutan alam. Dengan demikian, kemampuan literasi ekologi dapat dipahami sebagai integrasi antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik yang mendorong individu untuk bertindak secara bijaksana dalam memecahkan permasalahan lingkungan berdasarkan pemahaman ilmiah dan nilai-nilai keberlanjutan.

2.1.1.2 Urgensi Kemampuan Literasi Ekologi

Kemampuan literasi ekologi memiliki urgensi di Indonesia karena negara ini menghadapi berbagai permasalahan lingkungan seperti deforestasi, pencemaran, perubahan iklim, dan penurunan keanekaragaman hayati. Menurut Labobar et al. (2023) literasi ekologi penting untuk membentuk perilaku peduli lingkungan dan meningkatkan kesadaran siswa terhadap isu-isu ekologis yang semakin kompleks di Indonesia. Hal ini sejalan dengan pendapat wulandari dan Asih (2025) yang menyatakan bahwa literasi ekologi berperan dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan reflektif siswa terhadap fenomena lingkungan sehingga mereka mampu berpartisipasi dalam penyelesaian masalah ekologi secara nyata. Selain itu, Khoerunisa (2024) menegaskan bahwa kemampuan literasi ekologi menjadi landasan penting dalam mendukung implementasi pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan *Education for Sustainable Development* (ESD) di sekolah, guna menyiapkan generasi yang sadar lingkungan dan berperilaku ramah ekosistem. Dengan demikian, literasi ekologi menjadi kunci dalam membangun kesadaran lingkungan dan mendorong perilaku ekologis di tengah tantangan pembangunan Indonesia yang masih sering mengabaikan aspek keberlanjutan.

Lebih lanjut, urgensi literasi ekologi juga berkaitan dengan kesiapan masyarakat dalam menghadapi dampak degradasi lingkungan yang semakin nyata. Menurut Kurniawan, Saputra, dan Akhyar (2024) individu dengan tingkat literasi ekologi yang tinggi lebih mampu mengambil keputusan yang bijak dalam memanfaatkan sumber daya alam serta berperan aktif dalam pelestarian lingkungan di tingkat lokal. Di sisi lain, penelitian oleh Werdhiningasih et al. (2021) menunjukkan bahwa literasi ekologi dapat meningkatkan kesadaran terhadap hubungan timbal balik antara manusia dan alam, yang penting untuk membangun perilaku ekologis di masyarakat perkotaan dan pedesaan. Sejalan dengan itu, Efendi, Aunurrahman, dan Erlina (2024) menyebut bahwa penguatan literasi ekologi dalam pendidikan formal mampu menumbuhkan karakter cinta lingkungan serta tanggung jawab sosial siswa untuk menjaga keberlanjutan sumber daya alam Indonesia.

Berdasarkan pemaparan para ahli sebelumnya, penulis menyimpulkan bahwa kemampuan literasi ekologi memiliki urgensi yang sangat penting dalam membentuk individu dan masyarakat yang sadar serta bertanggung jawab terhadap lingkungan. Literasi ekologi diperlukan untuk membangun pemahaman konsep-konsep ekologi dan dampak aktivitas manusia terhadap keseimbangan ekosistem, sehingga mendorong pengambilan keputusan yang bijak dalam pengelolaan sumber daya alam. Selain itu, literasi ekologi menjadi dasar dalam menumbuhkan sikap peduli dan perilaku ramah lingkungan, yang berperan penting dalam menghadapi permasalahan lingkungan di Indonesia seperti perubahan iklim, pencemaran, dan degradasi lahan. Dalam konteks pendidikan, penguatan literasi ekologi membantu mewujudkan tujuan Pendidikan untuk Pembangunan Berkelanjutan (*Education for Sustainable Development*) serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Dengan demikian, kemampuan literasi ekologi bukan hanya kebutuhan akademik, tetapi juga merupakan fondasi penting untuk membangun generasi yang berkarakter ekologis, mampu berpikir sistemik, dan siap berkontribusi dalam menjaga keberlanjutan kehidupan di bumi.

2.1.1.3 Cara Pemberdayaan Kemampuan Literasi Ekologi

Pemberdayaan kemampuan literasi ekologi di sekolah dapat dilakukan melalui pembelajaran inovatif berbasis lingkungan, salah satunya menggunakan model RICOSRE. Menurut Arisma et al. (2024), pembelajaran berbasis lingkungan yang berpusat pada aktivitas membaca, mengidentifikasi permasalahan, dan pemecahan masalah yang dapat membantu siswa memahami konsep ekologi secara mendalam dan menumbuhkan sikap peduli terhadap lingkungan. Pendekatan ini menjadikan pembelajaran lebih kontekstual, bermakna, dan mampu memberdayakan siswa untuk berpikir kritis serta menumbuhkan sikap tanggung jawab terhadap lingkungan.

Selain itu, model RICOSRE memberikan ruang bagi siswa untuk terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran melalui tahapan yang sistematis, mulai dari mengembangkan informasi hingga refleksi terhadap solusi yang dihasilkan. Keterlibatan aktif tersebut mendorong siswa untuk mengaitkan konsep ekologi dengan permasalahan lingkungan yang nyata di sekitar mereka, sehingga proses belajar tidak hanya berorientasi pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan kesadaran ekologis. Dengan demikian, pembelajaran berbasis RICOSRE berpotensi menjadi sarana yang relevan dalam mendukung pengembangan literasi ekologi di lingkungan sekolah.

2.1.1.4 Indikator Kemampuan Literasi Ekologi

Kemampuan literasi ekologi merupakan kemampuan seseorang dalam memahami hubungan antara manusia dan lingkungan, serta bertanggung jawab dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui pengetahuan, sikap, dan tindakan yang berkelanjutan. Menurut David W. Orr (1992) kemampuan ini mencakup tiga indikator utama, yaitu pengetahuan, kepedulian, dan kompetensi praktis. Indikator pengetahuan mencerminkan pemahaman terhadap konsep-konsep ekologi seperti keanekaragaman hayati, interaksi antarspesies, dan daya dukung lingkungan. Indikator kepedulian berkaitan dengan kesadaran, nilai, serta rasa tanggung jawab terhadap kelestarian alam. Sedangkan indikator kompetensi praktis menekankan kemampuan mengambil tindakan nyata untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Ketiga indikator tersebut membentuk dasar

bagi individu agar mampu berpikir ekologis, memiliki kepedulian lingkungan, dan bertindak secara berkelanjutan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel indikator berikut ini:

Tabel 2.1 Indikator Literasi Ekologi

No.	Indikator Literasi Ekologi	Sub-Indikator Literasi Ekologi
1.	Kepedulian	Memiliki keinginan dan tanggung jawab mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.
2.	Kompetensi praktis	Tindakan yang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
3.	Pengetahuan	a. Pemahaman tentang spesies dan habitatnya b. Suksesi ekosistem c. Interaksi biotik atau hubungan antar spesies dalam ekosistem tertentu d. Keanekaragaman hayati dan ancumannya e. Siklus air dan jaring makanan f. Aliran Energi

Sumber: (Orr 1992)

2.1.1.5 Cara Pengukuran Kemampuan Literasi Ekologi

Pengukuran kemampuan literasi ekologi umumnya dilakukan dengan menggunakan instrumen tes objektif dan angket skala sikap yang dirancang untuk mengukur aspek pengetahuan kepedulian, dan kompetensi praktis individu terhadap lingkungan. Menurut David W. Orr (1992) literasi ekologi mencakup tiga indikator yaitu pengetahuan, kepedulian, dan tindakan. Sehingga diperlukan instrumen yang mampu menggambarkan ketiganya secara mendalam. Penggunaan tes pilihan majemuk digunakan untuk mengukur aspek pengetahuan karena dapat menilai penguasaan konsep secara objektif, sedangkan kuesioner digunakan untuk mengukur kepedulian dan kompetensi praktis terhadap lingkungan.

Tes pilihan majemuk memiliki kelebihan berupa kemudahan dalam penskoran objektif, cakupan materi luas, dan reliabilitas tinggi bila disusun dengan baik (Augustia dkk. 2025). Namun kekurangannya adalah belum mampu mengukur kemampuan berpikir kritis atau alasan mendalam di balik jawaban

siswa (Yanuar, Munandar, dan Hardi 2025). Sementara itu, kuesioner memungkinkan pengukuran sikap dan persepsi individu secara kuantitatif serta memudahkan analisis statistik, tetapi memiliki keterbatasan karena bergantung pada kejujuran responden dan dapat dipengaruhi oleh kecenderungan sosial (Azfaruddin 2024). Oleh karena itu, kombinasi kedua instrumen ini dianggap tepat untuk memperoleh gambaran menyeluruh tentang kemampuan literasi ekologi, meliputi pengetahuan (kognitif), kepedulian (afektif), dan kompetensi praktis (psikomotorik). Pengukuran ini menggunakan pilihan majemuk untuk menilai aspek kognitif yaitu pada indikator pengetahuan, kemudian Angket untuk mengukur aspek afektif untuk indikator kepedulian dan aspek psikomotorik untuk indikator kompetensi praktis. Untuk mengukur hasil tersebut rubrik penilaian sangat diperlukan, adapun rubrik penilaian yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.2 Rubrik Penilaian Kemampuan Literasi Ekologi

Indikator	Rubrik Penilaian			
Angket				
Kepedulian (Concern)	Positif		Negatif	
	Skor	Jawaban	Skor	Jawaban
	1	Sangat Tidak Setuju	4	Sangat Tidak Setuju
	2	Tidak Setuju	3	Tidak Setuju
	3	Setuju	2	Setuju
	4	Sangat Setuju	1	Sangat Setuju
(Mulyatiningsih 2012)				
Kompetensi praktis	Positif		Negatif	
	Skor	Jawaban	Skor	Jawaban
	1	Sangat Tidak Setuju	4	Sangat Tidak Setuju
	2	Tidak Setuju	3	Tidak Setuju
	3	Setuju	2	Setuju
	4	Sangat Setuju	1	Sangat Setuju
(Mulyatiningsih 2012)				
Pilihan Majemuk				
Pengetahuan (Knowledge)	Benar : 1 Salah : 0			

2.1.2 Keterampilan Argumentasi Ilmiah

2.1.2.1 Pengertian Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Keterampilan argumentasi ilmiah merupakan salah satu kemampuan *essensial* dalam pembelajaran sains yang memungkinkan peserta didik untuk mengemukakan klaim atau pendapat berdasarkan bukti ilmiah dan penalaran logis. Menurut Toulmin (1958), argumentasi ilmiah adalah proses penyusunan *Claim* yang didukung oleh data (*evidence*) dan penalaran (*warrant*) yang menghubungkan antara bukti dan klaim, serta dapat dilengkapi dengan elemen pendukung lain seperti *backing*, *qualifier*, dan *rebuttal*. Model Toulmin ini menjadi dasar dalam menganalisis kualitas argumen ilmiah karena menggambarkan struktur berpikir logis yang merepresentasikan cara ilmuwan mengembangkan pengetahuan ilmiah.

Argumentasi ilmiah merupakan proses sosial dan kognitif di mana peserta didik membangun, mengevaluasi, dan mempertahankan klaim berdasarkan bukti ilmiah (Nugroho dkk. 2024). Mereka menegaskan bahwa argumentasi ilmiah bukan sekadar memberikan jawaban atas suatu permasalahan, tetapi juga melibatkan kemampuan mengevaluasi kekuatan bukti dan validitas argumen dalam konteks diskusi ilmiah. Oleh karena itu, keterampilan argumentasi ilmiah memiliki peran penting dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis dan komunikasi ilmiah peserta didik. Selanjutnya Wangmo et al. (2025) juga menyatakan bahwa keterampilan argumentasi ilmiah mencakup kemampuan mengintegrasikan klaim, bukti, dan penalaran secara koheren untuk menjelaskan fenomena ilmiah serta memecahkan masalah berbasis sains. Melalui kegiatan argumentasi ilmiah, peserta didik dapat merefleksikan proses berpikirnya sendiri, mengevaluasi pendapat orang lain, dan membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam. Dengan demikian, argumentasi ilmiah juga berkontribusi dalam pengembangan kemampuan metakognitif dan literasi ilmiah.

Berdasarkan pendapat para ahli tersebut, dapat disimpulkan bahwa keterampilan argumentasi ilmiah merupakan kemampuan peserta didik dalam mengemukakan klaim yang didukung oleh bukti ilmiah dan penalaran logis secara sistematis untuk menjelaskan fenomena atau memecahkan masalah ilmiah, serta

kemampuan mengevaluasi dan merevisi argumen berdasarkan bukti yang lebih kuat. Keterampilan ini tidak hanya mencerminkan kemampuan berpikir kritis dan reflektif, tetapi juga menjadi dasar penting dalam pengembangan literasi sains serta pengambilan keputusan yang berbasis bukti.

2.1.2.2 Urgensi Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Keterampilan argumentasi ilmiah memiliki peran yang sangat penting dalam pembelajaran sains karena menjadi sarana utama bagi siswa untuk mengonstruksi pengetahuan serta memahami cara kerja ilmuwan dalam menjelaskan fenomena alam. Argumentasi ilmiah membantu peserta didik mengembangkan pemahaman konseptual yang lebih mendalam melalui proses penyusunan klaim yang didukung oleh bukti dan penalaran logis (Diola, Jalon J, and Prudente 2025). Melalui kegiatan argumentasi, peserta didik tidak hanya menerima konsep ilmiah secara pasif, tetapi juga secara aktif mengevaluasi validitas bukti dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis dalam memecahkan masalah ilmiah.

Dalam konteks pembelajaran abad ke-21, keterampilan argumentasi ilmiah merupakan salah satu kompetensi penting yang berkontribusi terhadap pengembangan keterampilan berpikir abad ke-21 (4C), yaitu *Critical Thinking*, *Communication*, *Collaboration*, dan *Creativity*. McNeill dan Krajcik (2008) menyatakan bahwa kegiatan argumentasi ilmiah melatih peserta didik untuk berpikir reflektif, mengidentifikasi bukti yang relevan, serta mengomunikasikan ide secara logis dan sistematis. Melalui proses ini, peserta didik belajar bersikap terbuka terhadap perbedaan pandangan, mampu mengevaluasi berbagai sudut pandang, serta mengembangkan kemampuan mengambil keputusan berbasis bukti, yang sangat dibutuhkan dalam menghadapi kerumitan isu-isu sains dan lingkungan global. Filippidis (2022) menekankan bahwa argumentasi ilmiah adalah keterampilan penting yang harus diperkuat oleh siswa, karena siswa yang memiliki literasi ilmiah akan mampu menerapkan pengetahuan yang dipelajari untuk memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari. Peserta didik yang memiliki keterampilan argumentasi ilmiah mampu memahami bagaimana pengetahuan ilmiah dibangun, diuji, dan penyempurnaan berdasarkan bukti baru. Dengan demikian, peserta didik akan lebih siap menjadi warga negara yang sadar

akan literasi sains (*scientifically literate*) dan mampu berpartisipasi aktif dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan isu-isu ilmiah di masyarakat, seperti perubahan iklim, energi terbarukan, dan konservasi lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa keterampilan argumentasi ilmiah perlu dikembangkan secara sistematis dalam pembelajaran sains karena berperan penting dalam membangun pengetahuan ilmiah, mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, memperkuat literasi ilmiah, serta mempersiapkan peserta didik untuk menghadapi tantangan abad ke-21 yang menuntut kemampuan berpikir kritis, reflektif, dan pengambilan keputusan berbasis bukti.

2.1.2.3 Cara Pemberdayaan Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Pemberdayaan keterampilan argumentasi ilmiah dalam penelitian ini dilakukan melalui penerapan model pembelajaran RICOSRE yang dipadukan dengan media *diagram Vee*. Setiap tahapan dalam model ini dirancang untuk mendorong siswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan menyusun argumen ilmiah berdasarkan bukti yang relevan. Pada tahap *Reading*, peserta didik diarahkan untuk membaca dan memahami konteks permasalahan ilmiah yang disajikan. Aktivitas ini membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang menjadi dasar dalam mengemukakan klaim ilmiah. Selanjutnya, pada tahap *Identifying the Problem*, siswa diminta untuk mengidentifikasi permasalahan utama serta merumuskan pertanyaan-pertanyaan kunci yang akan dijawab melalui argumen berbasis bukti. Tahap *Constructing the Solution* memberikan kesempatan bagi siswa untuk menyusun klaim awal yang didukung oleh data atau informasi ilmiah yang diperoleh dari bacaan maupun hasil pengamatan. Dalam tahap ini, *diagram Vee* digunakan sebagai alat bantu visual untuk mengorganisasikan hubungan antara konsep, prinsip ilmiah, dan bukti yang relevan, sehingga argumen yang disusun lebih terstruktur dan logis. Selanjutnya, pada tahap *Solving the Problem*, siswa bekerja dalam kelompok untuk mendiskusikan dan mengembangkan argumen dengan memperkuat klaim melalui bukti tambahan dan penalaran ilmiah. Proses diskusi ini juga mendorong terjadinya evaluasi argumen, di mana siswa belajar memberikan sanggahan dan

dukungan terhadap argumen yang ada. Tahap *Reviewing the Problem Solving* digunakan untuk merefleksikan argumen yang telah dibangun, mengidentifikasi kelemahan atau kekurangan dalam hubungan antara klaim, bukti, dan penalaran, serta memperbaiki argumen agar lebih kuat. Sementara itu, pada tahap akhir *Extending the Problem Solving*, siswa diminta untuk mengaplikasikan keterampilan argumentasi yang telah diperoleh ke dalam konteks permasalahan lain yang lebih kompleks, guna memperluas pemahaman dan transfer keterampilan.

Melalui rangkaian tahapan tersebut, keterampilan argumentasi ilmiah siswa diberdayakan secara terstruktur, mulai dari membangun pemahaman konseptual, menyusun argumen berdasarkan bukti, hingga melakukan evaluasi dan refleksi terhadap kualitas argumen. Pendekatan ini tidak hanya mengembangkan kemampuan siswa dalam mengemukakan pendapat berbasis bukti ilmiah, tetapi juga menumbuhkan kemampuan berpikir kritis, reflektif, dan kolaboratif dalam proses pembelajaran sains.

2.1.2.4 Indikator Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Keterampilan argumentasi ilmiah dapat diukur melalui beberapa indikator yang mencerminkan kemampuan siswa dalam membangun dan mengevaluasi argumen berdasarkan bukti ilmiah. Menurut model Toulmin (1958), struktur argumentasi ilmiah terdiri atas enam komponen utama, yaitu *claim* (klaim), data (bukti), *warrant* (penalaran), *backing* (dukungan tambahan), *qualifier* (tingkat kepastian klaim), dan *rebuttal* (sanggahan). Namun, dalam konteks pembelajaran sains di sekolah, indikator yang paling sering digunakan untuk mengukur keterampilan argumentasi ilmiah adalah *claim*, *evidence*, dan *reasoning* karena ketiganya mencerminkan kemampuan berpikir logis dan berbasis bukti yang sesuai dengan tuntutan kurikulum abad ke-21 (Adawia dkk. 2024; Priyanto, Ningsih, dan Nurfadilah 2025). Menurut McNeill and Krajcik (2008) Indikator *claim* mengacu pada kemampuan siswa dalam mengemukakan pernyataan atau jawaban atas suatu permasalahan ilmiah berdasarkan hasil pengamatan atau data yang relevan. Indikator *evidence* menggambarkan kemampuan siswa dalam menyajikan bukti ilmiah yang mendukung klaim, baik berupa data empiris, hasil

percobaan, maupun informasi dari literatur ilmiah. Sementara itu, indikator *reasoning* menunjukkan kemampuan siswa untuk menjelaskan hubungan logis antara bukti dan klaim melalui prinsip ilmiah yang sesuai. Ketiga indikator ini membentuk dasar penilaian kualitas argumentasi ilmiah dalam konteks pembelajaran sains. Nur'aini dan Sinaga (2025) menunjukkan bahwa evaluasi argumen, sebagai bagian dari kemampuan argumentasi ilmiah, berperan penting dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Kemampuan untuk menilai kekuatan dan kelemahan argumen sendiri maupun orang lain merupakan indikator utama dalam mengukur keterampilan berpikir kritis siswa.

Berdasarkan uraian tersebut, indikator keterampilan argumentasi ilmiah dalam penelitian ini meliputi: (1) kemampuan mengemukakan klaim (*claim*), (2) kemampuan menyajikan bukti ilmiah (*evidence*), dan (3) kemampuan memberikan penalaran logis (*reasoning*) yang menghubungkan bukti dengan klaim. Ketiga indikator ini dianggap paling representatif untuk menggambarkan kualitas argumentasi ilmiah siswa dalam pembelajaran biologi, khususnya pada materi ekosistem. Untuk lebih jelasnya ketiga indikator tersebut dapat dilihat pada tabel indikator berikut ini:

Tabel 2.3 Indikator Argumentasi Ilmiah

Indikator	Sub-Indikator Keterampilan Argumentasi Ilmiah
<i>Claim</i>	Membuat <i>Claim</i> terkait permasalahan yang berkaitan dengan ekosistem.
<i>Evidence</i>	Menganalisis <i>Evidence</i> / bukti berdasarkan sumber teori untuk mendukung klaim terkait permasalahan ekosistem.
<i>Reasoning</i>	Menjelaskan <i>Reasoning</i> yang menghubungkan bukti dengan klaim terkait permasalahan ekosistem.

Sumber: (McNeill dan Krajcik 2008)

2.1.2.5 Cara Pengukuran Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Pengukuran keterampilan argumentasi ilmiah dilakukan untuk menilai sejauh mana peserta didik mampu menyusun serta mengevaluasi argumen yang didasarkan pada bukti ilmiah. Kemampuan ini dapat diukur melalui analisis terhadap kualitas argumen yang dihasilkan siswa, baik dalam bentuk tulisan

maupun lisan (McNeill dan Krajcik 2008). Salah satu instrumen yang banyak digunakan untuk menilai keterampilan argumentasi ilmiah adalah rubrik berbasis *Claim, Evidence, Reasoning* (CER). Rubrik ini memfasilitasi pendidik dalam mengevaluasi kemampuan siswa dalam mengemukakan klaim yang jelas, menyertakan bukti yang relevan, serta menghubungkan bukti dengan klaim melalui penalaran ilmiah yang logis. Selain menggunakan pendekatan CER, keterampilan argumentasi ilmiah juga dapat diukur melalui tes uraian berbasis argumentasi ilmiah (CER) atau lembar kerja berbasis permasalahan ilmiah (Kenzi, Supeno, dan Wicaksono 2025). Instrumen semacam ini memungkinkan siswa untuk membangun argumen secara utuh, mulai dari mengemukakan klaim, pemilihan bukti pendukung, hingga penyusunan penalaran yang mendasari argumen tersebut. Jawaban siswa kemudian dianalisis berdasarkan kejelasan klaim, kekuatan serta kesesuaian bukti, dan ketepatan penalaran yang digunakan. Pendekatan ini menekankan tidak hanya pada hasil akhir argumen, tetapi juga pada proses berpikir ilmiah yang terlibat di dalamnya.

Sementara itu, penilaian keterampilan argumentasi ilmiah juga dapat dilakukan melalui observasi selama proses diskusi kelompok dalam pembelajaran berbasis inkuiri atau model pembelajaran argumentatif. Pada konteks ini, guru dapat menggunakan lembar observasi yang memuat indikator kemampuan dalam menyampaikan klaim, memberikan sanggahan (*rebuttal*), menyajikan dukungan (*backing*), serta mengevaluasi argumen yang diajukan. Pendekatan ini dianggap lebih baik karena memberikan gambaran langsung mengenai kemampuan argumentatif siswa dalam situasi pembelajaran yang nyata.

Berdasarkan berbagai alternatif pengukuran tersebut, penelitian ini menggunakan instrumen berbentuk tes uraian berbasis argumentasi ilmiah (CER) yang dianalisis dengan rubrik berbasis CER dengan skala 0-4. Rubrik ini mencakup tiga aspek utama, yaitu *claim* (klaim), *evidence* (bukti), dan *reasoning* (penalaran), yang dinilai berdasarkan kejelasan, ketepatan, serta kesesuaian argumen yang disusun peserta didik. Pendekatan ini dipilih karena dianggap paling sesuai untuk mengukur keterampilan argumentasi ilmiah dalam konteks pembelajaran biologi yang menekankan kemampuan berpikir kritis dan berbasis

bukti ilmiah. Untuk lebih jelasnya mengenai rubrik penilaian, dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.4 Rubrik Penilaian Keterampilan Argumentasi Ilmiah

Indikator	Level/Tingkatan Argumentasi Ilmiah Siswa				
	0	1	2	3	4
Claim: Kesimpulan yang menjawab pertanyaan awal.	Tidak memuat <i>Claim</i> , atau <i>Claim</i> salah.	Memuat <i>Claim</i> yang benar tetapi tidak jelas atau tidak lengkap.	Memuat <i>Claim</i> yang benar dan lengkap.	Membuat <i>Claim</i> akurat dan lengkap yang mencakup poin-poin dari pertanyaan yang disajikan.	Semua aspek level 3 disertai dengan cara yang menarik.
Evidence: Data ilmiah yang mendukung <i>Claim</i> . Data harus sesuai dan cukup untuk mendukung <i>Claim</i> .	Tidak memuat data <i>Evidence</i> , atau hanya memuat <i>Evidence</i> yang tidak benar atau bukti yang samar.	Memuat pernyataan umum mengenai bukti, namun tidak menyertakan rincian spesifik.	Menyertakan beberapa bukti yang diharapkan dari sumber yang digunakan (misalnya data seperti angka, pengamatan, dll) dengan cara yang tepat.	Menyertakan semua atau sebagian besar bukti dari sumber yang digunakan dengan cara yang tepat.	Semua aspek level 3, disertai indikasi sumber dengan benar dan dituliskan dengan cara yang menarik.

Reasoning: Pembenaran yang menghubungkan <i>Claim</i> dan <i>Evidence</i> . Alasan mengapa data tersebut dianggap sebagai bukti dengan menggunakan prinsip-prinsip ilmiah yang tepat dan memadai.	Tidak memuat <i>Reasoning</i> , atau hanya memuat <i>Reasoning</i> yang tidak tepat.	Mengulang bukti dan menghubungkannya dengan klaim namun tidak menjelaskan bagaimana bukti tersebut mendukung klaim.	Menyediakan komponen <i>Reasoning</i> untuk beberapa bukti dan menjelaskan bagaimana bukti tersebut mendukung klaim.	Menyediakan komponen <i>Reasoning</i> untuk semua atau sebagian besar bukti dan menjelaskan bagaimana bukti tersebut mendukung klaim.	Semua aspek pada level 3 dan disertai dengan cara yang menarik.
---	--	---	--	---	---

Sumber: (NSTA, n.d.)

2.1.3 Model Pembelajaran RICOSRE

2.1.3.1 Pengertian Model Pembelajaran RICOSRE

Model pembelajaran RICOSRE merupakan salah satu model pembelajaran inovatif yang dikembangkan untuk mengintegrasikan kemampuan membaca ilmiah, pemecahan masalah, dan refleksi dalam proses pembelajaran (Manisa et al. 2020). Istilah RICOSRE merupakan singkatan dari enam tahapan pembelajaran, yaitu: *Reading* (membaca), *Identifying the problem* (mengidentifikasi masalah), *Constructing the solution* (mengkonstruksi solusi), *Solving the problem* (menyelesaikan masalah), *Reviewing the problem solving* (meninjau pemecahan masalah), dan *Extending the problem solving* (mengembangkan pemecahan masalah) (Mahanal and Zubaidah 2017). Setiap tahap dalam model ini dirancang untuk mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, khususnya berpikir kritis, literasi sains, dan kemampuan pemecahan masalah melalui pendekatan berbasis penyelidikan ilmiah.

Model pembelajaran RICOSRE membantu siswa untuk belajar secara aktif dan reflektif melalui serangkaian aktivitas yang dimulai dari membaca sumber informasi ilmiah hingga mengembangkan solusi atas masalah yang dihadapi (Sriyati 2020). Pada tahap *Reading*, siswa membaca berbagai sumber bacaan ilmiah sebagai dasar pengetahuan. Tahap *Identifying the problem* menuntut siswa untuk mengenali dan merumuskan masalah yang sesuai dengan bacaan tersebut. Selanjutnya, pada tahap *Constructing the solution*, siswa menyusun solusi berdasarkan konsep ilmiah yang telah dipelajari. Tahap *Solving the problem* adalah penerapan solusi tersebut, sementara *Reviewing the problem solving* dilakukan untuk meninjau kembali keefektifan dan ketepatan solusi yang telah dibuat. Akhirnya, pada tahap *Extending the problem solving*, siswa mengembangkan penerapan solusi ke konteks lain, sehingga memperluas pemahaman dan pengaplikasiannya. Model RICOSRE menekankan keterlibatan aktif siswa dalam setiap tahap pembelajaran, sedangkan guru berperan sebagai fasilitator yang membimbing proses berpikir kritis, memberikan stimulus berupa bacaan ilmiah, dan mengarahkan refleksi terhadap hasil belajar. Dengan demikian, model ini tidak hanya berorientasi pada hasil belajar kognitif, tetapi juga membangun keterampilan berpikir ilmiah. Oleh karena itu, model RICOSRE diperkirakan akan efektif dalam mengembangkan literasi sains, literasi ekologi, dan keterampilan argumentasi ilmiah, karena setiap tahap pembelajarannya mengandung unsur literasi, penalaran, dan pemecahan masalah yang saling terintegrasi.

Dengan kata lain, model pembelajaran RICOSRE dapat diartikan sebagai pendekatan dalam pembelajaran yang menggabungkan kegiatan membaca, identifikasi masalah, menciptakan solusi, penyelesaian masalah, refleksi, dan pengembangan penerapan solusi untuk mendorong pembelajaran bermakna dan kontekstual. Model ini sejalan dengan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan penguasaan keterampilan berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif, serta mendukung pencapaian kompetensi sains yang berkelanjutan.

2.1.3.2 Teori yang Mendasari Model Pembelajaran RICOSRE

Model pembelajaran RICOSRE dikembangkan berdasarkan tiga landasan teori utama, yaitu teori konstruktivisme, teori belajar bermakna, dan teori metakognitif. Ketiga teori tersebut memberikan dasar konseptual yang kuat bagi pengembangan model pembelajaran yang berorientasi pada pemahaman mendalam, refleksi diri, serta pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Pertama, teori konstruktivisme menjadi pijakan utama dalam pengembangan model RICOSRE. Menurut Piaget dan Vygotsky, proses belajar terjadi ketika siswa secara aktif membangun pengetahuannya sendiri melalui pengalaman dan interaksi sosial. Dalam konteks model RICOSRE, tahap *Reading* dan *Identifying the Problem* berfungsi membantu siswa membentuk rencana awal melalui kegiatan membaca dan mengidentifikasi masalah kontekstual. Selanjutnya, tahap *Constructing the Solution* dan *Solving the Problem* mendorong siswa untuk mengonstruksi pengetahuan baru melalui proses berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kolaborasi. Pada tahap-tahap ini, guru berperan sebagai fasilitator yang memberikan arahan, stimulus berupa pertanyaan pemantik, serta umpan balik untuk memperkuat proses konstruksi pengetahuan.

Kedua, model RICOSRE juga didasari oleh teori belajar bermakna (*meaningful learning*) dari Ausubel, Novak, and Hanesian (1978), yang menekankan pentingnya mengaitkan informasi baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki agar tercipta pemahaman yang bermakna. Dalam penerapannya, kegiatan membaca dan refleksi dalam model ini membantu siswa menghubungkan konsep baru dengan pengetahuan awal mereka, sehingga terjadi proses penyesuaian dan perubahan cara berpikir. Tahap *Reviewing* dan *Extending the Problem Solving* memberikan kesempatan bagi siswa untuk merefleksikan hasil belajar, memperkuat keterkaitan antar konsep, serta mengaplikasikannya dalam situasi lain, sehingga pemahaman menjadi lebih mendalam dan bertahan lama.

Ketiga, teori metakognitif turut menjadi dasar penting dalam model ini. Salsabila dan Widjanti (2025) menjelaskan bahwa metakognisi mencakup kesadaran dan kemampuan individu dalam mengatur proses berpikirnya sendiri. Dalam pembelajaran berbasis RICOSRE, siswa tidak hanya diarahkan untuk

menyelesaikan masalah, tetapi juga diminta untuk meninjau kembali proses berpikirnya (*reviewing*) dan mengembangkan strategi baru untuk menghadapi permasalahan serupa di masa depan (*extending*). Proses ini menumbuhkan kesadaran berpikir reflektif, kemampuan mengevaluasi strategi belajar, serta pembiasaan dalam memperbaiki cara berpikir.

Dengan demikian, model pembelajaran RICOSRE merupakan hasil penggabungan dari prinsip-prinsip konstruktivisme, belajar bermakna, dan metakognisi yang diterapkan dalam enam tahapan pembelajaran. Model ini tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga mendorong siswa untuk berpikir kritis, reflektif, dan kreatif, sehingga mampu mengembangkan keterampilan abad ke-21 yang penting dalam menghadapi tantangan pembelajaran sains modern.

2.1.3.3 Sintaks Model Pembelajaran RICOSRE

Model pembelajaran RICOSRE memiliki enam sintaks atau tahapan utama yang dirancang untuk membangun kemampuan berpikir kritis, literasi ilmiah, dan keterampilan pemecahan masalah siswa secara sistematis. Setiap tahap memiliki tujuan, aktivitas, dan peran tertentu baik bagi siswa maupun guru agar proses pembelajaran berjalan efektif dan bermakna. Keenam sintaks RICOSRE tersebut adalah, sebagai berikut:

1. *Reading*, yaitu kegiatan membaca dan memahami berbagai sumber belajar yang relevan, seperti teks ilmiah, artikel, atau data lapangan. Pada tahap ini, siswa diarahkan untuk mengidentifikasi informasi penting, konsep utama, dan fenomena yang sedang dikaji. Guru berperan menyediakan bahan bacaan kontekstual dan memfasilitasi pemahaman siswa terhadap materi. Kegiatan membaca ini bertujuan membangun dasar pengetahuan awal yang akan digunakan dalam tahap selanjutnya.
2. *Identifying the problem*, pada tahapan ini siswa diminta untuk mengenali dan merumuskan masalah utama dari bacaan atau fenomena yang telah dipelajari. Pada tahap ini, siswa dilatih untuk berpikir kritis dalam membedakan informasi penting dan tidak penting, serta merumuskan pertanyaan atau permasalahan ilmiah yang dapat diselidiki lebih lanjut. Guru bertindak sebagai

fasilitator dengan memberikan bimbingan dalam mengarahkan siswa agar mampu mengidentifikasi masalah secara tepat dan sesuai dengan konteks pembelajaran.

3. *Constructing the solution*, yaitu proses di mana siswa mulai mengembangkan alternatif solusi berdasarkan teori, konsep, dan data yang telah diperoleh. Siswa diajak untuk mengaitkan pengetahuan yang dimiliki dengan langkah-langkah pemecahan masalah yang logis dan terukur. Dalam tahap ini, guru membantu siswa merancang strategi penyelesaian dan mendorong terjadinya diskusi kolaboratif agar solusi yang dihasilkan bersifat ilmiah dan rasional.
4. *Solving the problem*, yaitu pelaksanaan dari rencana pemecahan masalah yang telah dirancang. Siswa melakukan kegiatan ilmiah seperti eksperimen, analisis data, atau simulasi untuk menguji solusi yang diajukan. Pada tahap ini, siswa belajar mengimplementasikan teori dalam praktik nyata, sementara guru mengamati, memberi umpan balik, dan memastikan proses pembelajaran berjalan sesuai prosedur ilmiah.
5. *Reviewing the problem solving*, yaitu refleksi terhadap seluruh proses dan hasil pemecahan masalah. Siswa melakukan evaluasi terhadap solusi yang telah mereka kembangkan, meninjau kekuatan dan kelemahan dari pendekatan yang digunakan, serta merefleksikan proses berpikir mereka. Guru berperan dalam memfasilitasi diskusi reflektif dan memberikan pertanyaan pemantik agar siswa dapat menyadari perkembangan kemampuan berpikir dan pemahamannya.
6. *Extending the problem solving*, di mana siswa mengembangkan penerapan solusi atau konsep ke dalam konteks lain yang lebih luas atau berbeda. Tahap ini bertujuan untuk memperkuat transfer pengetahuan dan membangun kemampuan berpikir tingkat tinggi. Guru dapat memberikan tantangan baru atau konteks berbeda agar siswa mampu mengaplikasikan keterampilan yang telah diperoleh.

Melalui keenam sintaks tersebut, model RICOSRE mendorong keterlibatan aktif siswa dalam pembelajaran, mengembangkan kemampuan refleksi diri, serta menumbuhkan sikap ilmiah yang kritis dan kreatif. Model ini tidak hanya

berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga pada proses berpikir dan pengembangan kemampuan pemecahan masalah yang berkelanjutan.

2.1.3.4 Kelebihan Model Pembelajaran RICOSRE

Model pembelajaran RICOSRE memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi, literasi ilmiah, dan keterampilan pemecahan masalah siswa.

1. Menurut Mahanal dan Zubaidah (2017) menjelaskan bahwa setiap tahap RICOSRE dirancang untuk melatih siswa berpikir tingkat tinggi seperti berpikir kreatif dan kritis melalui kegiatan pemecahan masalah yang sistematis.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Mahanal et al. (2021) menunjukkan bahwa model RICOSRE dapat meningkatkan literasi sains baik pada perempuan maupun laki-laki secara signifikan karena mendorong eksplorasi dan argumentasi ilmiah.
3. Dalam penelitian lanjutannya, Mahanal et al. (2022) menemukan bahwa siswa yang belajar dengan model RICOSRE menunjukkan kemampuan pemecahan masalah yang lebih tinggi dibanding pembelajaran konvensional.

Dengan demikian, kelebihan utama dari model RICOSRE terletak pada kemampuannya membangun pembelajaran yang aktif, reflektif, kontekstual, serta berorientasi pada pengembangan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang sangat dibutuhkan dalam menghadapi tantangan abad ke-21.

2.1.3.5 Kekurangan Model Pembelajaran RICOSRE

Di samping berbagai kelebihan, model pembelajaran RICOSRE juga tentunya memiliki kelemahan seperti model pembelajaran berbasis masalah. Secara umum, model pembelajaran RICOSRE memiliki kelemahan seperti model pembelajaran berbasis masalah lainnya. Menurut (Sujana and Sopandi 2020) model pembelajaran berbasis permasalahan memiliki kelemahan sebagai berikut:

1. Siswa dengan usia yang lebih muda mungkin tidak siap untuk memecahkan masalah secara kompleks. Hal ini diakibatkan oleh model pembelajaran berbasis masalah belum menangani secara signifikan pada faktor yang

berhubungan dengan karakter siswa seperti tingkat kepercayaan, kepercayaan epistemologis, kontrol kognitif, kedewasaan, dan kemampuan membaca.

2. Memerlukan waktu untuk membiasakan guru dan siswa mengubah sistem pembelajaran yang sebelumnya memiliki titik pusat pada guru menjadi siswa sebagai titik pusatnya.
3. Dalam pelaksanaannya, model pembelajaran dengan basis masalah memerlukan waktu lebih banyak dibandingkan dengan metode belajar ceramah.
4. Kurangnya ketersediaan sumber belajar, terutama bagi sekolah yang berada di daerah terpencil.

Oleh karena itu, guru perlu menyiapkan bahan ajar yang tepat agar proses pembelajaran tetap terarah dan efektif. Dengan demikian, kekurangan model RICOSRE lebih banyak terletak pada aspek teknis dan kesiapan pelaksanaannya, bukan pada konsepnya. Oleh sebab itu, peneliti perlu melakukan adaptasi dengan menyesuaikan waktu, sumber belajar, dan strategi pembimbingan agar pelaksanaan model ini berjalan optimal dan memberikan dampak maksimal terhadap peningkatan hasil belajar siswa.

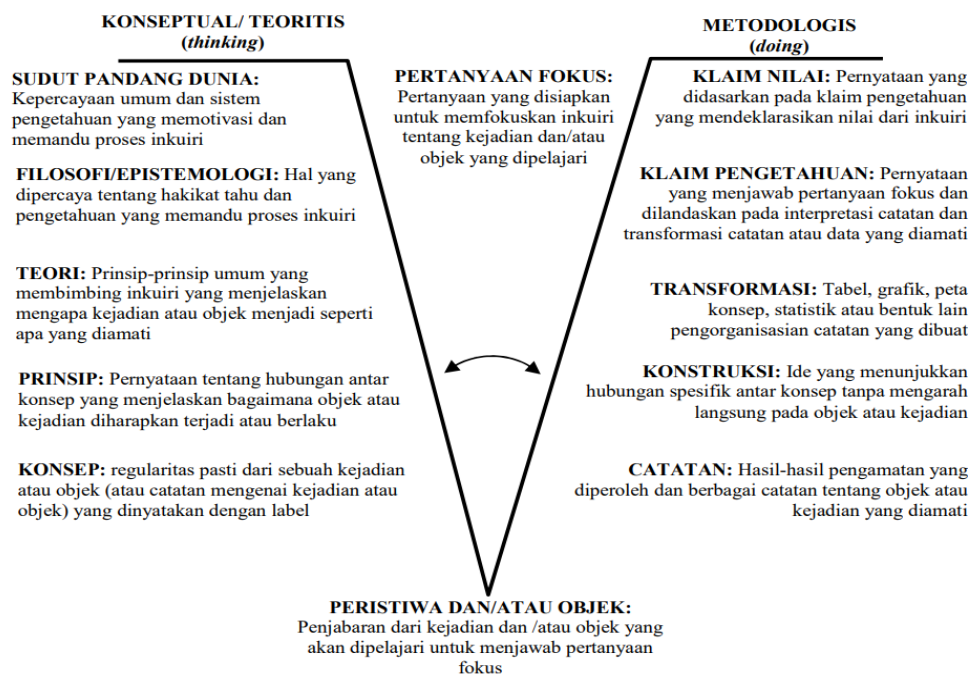
2.1.4 *Diagram Vee*

2.1.4.1 *Pengertian Diagram Vee*

Diagram Vee merupakan salah satu alat bantu visual yang dirancang untuk membantu siswa memahami keterkaitan antara aspek konseptual dan metodologis dalam kegiatan ilmiah. Menurut Novak and Gowin (1984), *Diagram Vee* berbentuk huruf “V” yang memetakan hubungan antara teori, konsep, prinsip, dan prosedur ilmiah yang digunakan dalam proses penyelidikan. Melalui gambaran ini, siswa dapat melihat bagaimana suatu pengetahuan ilmiah dibangun secara sistematis, mulai dari perumusan pertanyaan, pengumpulan data, hingga perumusan hasil. Dengan demikian, *Diagram Vee* berperan sebagai panduan berpikir yang membantu siswa mengaitkan teori dengan pengalaman selama proses pembelajaran.

Selanjutnya, Hastika et al. (2022) menjelaskan bahwa *Diagram Vee* membantu siswa dalam mengorganisasi dan mengintegrasikan pengetahuan awal

dengan pengetahuan baru. Diagram ini terdiri atas dua komponen utama, yaitu sisi konseptual yang mencakup teori, prinsip, dan konsep, serta sisi metodologis yang meliputi peristiwa, data, dan hasil. Keterkaitan antara kedua sisi tersebut memberikan gambaran yang utuh mengenai bagaimana teori dapat diterapkan untuk memahami fenomena, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna, kontekstual, dan mendukung terbentuknya pemahaman konseptual yang mendalam. *Diagram Vee* juga berfungsi sebagai alat metakognitif yang mendorong siswa untuk merefleksikan proses berpikir dan strategi ilmiah yang mereka gunakan. Melalui aktivitas ini, siswa tidak hanya berfokus pada pengumpulan data, tetapi juga memahami makna di balik data tersebut serta keterkaitannya dengan teori dan konsep yang relevan. Dengan demikian, penggunaan *Diagram Vee* dapat membantu mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, seperti analisis, sintesis, dan evaluasi, sekaligus menumbuhkan kemampuan reflektif yang esensial dalam pembelajaran sains dan penguasaan keterampilan berpikir ilmiah.



Gambar 2.1 *Diagram Vee*

Sumber: (Novak and Gowin 1984)

Diagram Vee ini dimaksudkan sebagai panduan grafis yang berguna untuk proses ilmiah. Diagram ini akan membantu mengarahkan siswa dalam proses

pembelajaran, dimana *diagram Vee* ini sangat sesuai dengan model pembelajaran RICOSRE yang akan digunakan dalam penelitian ini. *Diagram Vee* ini dikombinasikan dengan RICOSRE hampir di semua sintaks karena kesamaannya dengan setiap sintaks RICOSRE.

2.1.4.2 Fungsi *Diagram Vee*

Diagram Vee berperan sebagai alat bantu visual sekaligus metakognitif yang dirancang untuk membantu siswa memahami keterkaitan antara pengetahuan konseptual (teori, prinsip, dan konsep) dengan pengetahuan metodologis (peristiwa, data, dan hasil eksperimen). Menurut Novak and Gowin (1984), fungsi utama *Diagram Vee* adalah menuntun siswa dalam menstrukturkan pola pikir ilmiah dengan menghubungkan apa yang telah mereka ketahui dengan apa yang mereka lakukan dalam proses pembelajaran. Melalui pengganungan antara teori dan praktik, *Diagram Vee* mampu menjembatani pemahaman dengan pengalaman, sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna, kontekstual, dan berorientasi pada pemahaman yang mendalam. Sejalan dengan itu, Sinha (2021) menjelaskan bahwa *Diagram Vee* berfungsi sebagai panduan dalam kegiatan penyelidikan ilmiah, mulai dari identifikasi masalah, perumusan pertanyaan, hingga interpretasi data dan penarikan kesimpulan. Dengan mengikuti alur berpikir ilmiah tersebut, siswa didorong untuk berpikir secara sistematis dan reflektif terhadap setiap langkah yang dilakukan. Proses ini tidak hanya memperkuat kemampuan analitis dan pemecahan masalah, tetapi juga menumbuhkan kesadaran akan hubungan logis antara konsep ilmiah dan bukti empiris yang diperoleh melalui kegiatan inkuiri.

Diagram Vee berfungsi sebagai panduan dalam kegiatan penyelidikan ilmiah, mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis hingga interpretasi dan penarikan kesimpulan. Dalam penelitian mereka, siswa diarahkan menggunakan strategi metakognitif dengan *Diagram Vee* agar proses berpikir ilmiah lebih terstruktur dan terhubung antara data eksperimen dan konsep. Demikian Yolida, Marpaung, and Handini (2021) menerapkan *diagram Vee* dalam model *problem based learning*, dengan menyusun diagram sebagai kerangka pengorganisasian langkah-langkah ilmiah siswa, dari pertanyaan fokus

hingga interpretasi hasil dan kesimpulan. Dengan memetakan setiap komponen pada sisi konseptual dan metodologis, siswa dapat meninjau kembali serta mengidentifikasi bagian yang perlu diperbaiki. Fungsi-fungsi tersebut menjadikan *Diagram Vee* sangat relevan diterapkan dalam pembelajaran sains berbasis inkuiri dan model inovatif seperti RICOSRE, yang menekankan integrasi antara literasi ilmiah, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan refleksi terhadap proses belajar.

2.1.4.3 Kelebihan *Diagram Vee*

Diagram Vee memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya sebagai salah satu alat bantu pembelajaran yang efektif, khususnya dalam pembelajaran sains berbasis inkuiri dan pemecahan masalah. Menurut Purtadi dan Sari (2005) kelebihan *diagram Vee* diantaranya adalah:

1. *Diagram Vee* dapat dibuat dalam waktu yang singkat karena ditampilkan dalam satu halaman yang ringkas.
2. Tetap mengikuti alur proses ilmiah dengan selalu meninjau ulang hubungan timbal balik antara sisi metode dan sisi teori *diagram Vee*,
3. Tampak ringkas karena hanya berisi hal-hal pokok saja, tidak memerlukan uraian yang panjang, dan
4. Sangat mudah dalam melakukan penilaian karena semua ditampilkan dalam satu halaman, penilaian ini juga dapat dipermudah dengan memberi skor tiap komponen pada *diagram Vee*.

2.1.4.4 Kekurangan *Diagram Vee*

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, penggunaan *Diagram Vee* juga memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penerapannya di kelas. Novak and Gowin (1984) mengemukakan bahwa struktur *Diagram Vee* yang kompleks dapat menjadi tantangan tersendiri bagi siswa, khususnya bagi mereka yang belum terbiasa menggunakannya. Berikut ini merupakan kekurangan pada *Diagram Vee*, diantaranya adalah:

1. Sulit menerangkan ide-ide matematis kepada siswa yang lain karena setiap siswa memiliki keinginan yang berbeda.

2. Penilaian (*assessment*) pada pembelajaran *heuristic* berbasis *Diagram Vee* lebih rumit dari pada pembelajaran PBL dimana penilaiannya sangat menekankan pada proses.

2.1.5 Integrasi RICOSRE dan *Diagram Vee*

Integrasi model pembelajaran RICOSRE dengan *diagram Vee* ini diasumsikan dapat menghasilkan proses belajar yang lebih sistematis, terarah, dan berorientasi pada bukti. *Diagram Vee* menjadi lebih efektif ketika dipadukan dengan model RICOSRE karena langkah-langkah RICOSRE memberikan alur yang jelas bagi siswa dalam menelusuri konsep dan fenomena nyata. Sejalan dengan hal tersebut, *diagram Vee* ini juga membantu siswa mendeskripsikan hubungan antara teori dan data secara visual melalui pengorganisasian sisi konseptual dan metodologis, kemampuan keduanya memungkinkan siswa melihat keterkaitan antara konsep, hipotesis, prosedur, dan hasil pengamatan secara lebih terstruktur. Dengan demikian, RICOSRE memberikan panduan proses berpikir sedangkan *diagram Vee* ini memfasilitasi penyusunan dan pemaknaan konsep. Keduanya saling melengkapi untuk memperkuat pemahaman konseptual dan melatih keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih mendalam.

2.1.6 Ekosistem

2.1.6.1 Pengertian Ekosistem

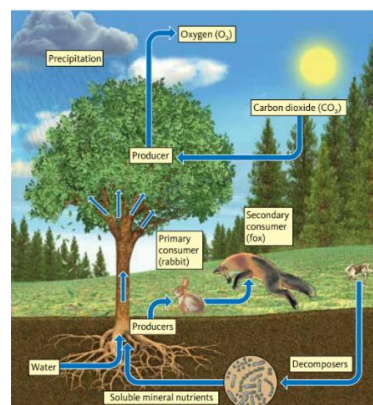
Menurut Miller and Spoolman (2017) ekosistem adalah suatu sistem yang terdiri atas komunitas berbagai spesies yang saling berinteraksi satu sama lain serta berinteraksi dengan komponen lingkungan abiotik (tak hidup) di sekitarnya, sehingga membentuk satu kesatuan fungsional yang memungkinkan terjadinya aliran energi dan siklus materi di dalamnya. Sedangkan menurut Maknun (2017) Ekosistem adalah tingkat organisasi kehidupan yang menunjukkan keterpaduan antara faktor biotik dan abiotik dalam suatu wilayah tertentu. Ekosistem dapat dianggap sebagai satuan fungsional dasar dalam ekologi karena mencakup seluruh interaksi yang memungkinkan terjadinya aliran energi dan daur materi.

Dengan demikian, ekosistem tidak hanya mencakup kumpulan makhluk hidup, tetapi juga mencakup seluruh proses yang terjadi di dalamnya, seperti

fotosintesis, rantai makanan, siklus nutrien, hingga proses adaptasi yang mendukung keseimbangan kehidupan.

2.1.6.2 Komponen Ekosistem

Ekosistem tersusun atas dua komponen utama, yaitu komponen biotik dan komponen abiotik, yang saling berinteraksi membentuk suatu sistem kehidupan yang teratur, dinamis, dan saling bergantung. Menurut Campbell dan Reece (2010), ekosistem dapat dipahami sebagai suatu kesatuan fungsional di mana organisme hidup berinteraksi dengan lingkungan fisik mereka melalui aliran energi dan siklus materi.



Gambar 2.2 Hubungan antara Komponen Biotik dan Abiotik
Sumber: (Miller and Spoolman 2017)

a. Komponen Biotik

Komponen biotik terdiri atas seluruh makhluk hidup dalam ekosistem, baik yang secara langsung maupun tidak langsung berperan dalam mempertahankan keseimbangan sistem. Berdasarkan peran dan fungsinya dalam rantai makanan, komponen biotik terbagi menjadi:

1) Produsen

Produsen merupakan organisme autotrof, seperti tumbuhan hijau, alga, dan fitoplankton, yang mampu menghasilkan bahan organik melalui proses fotosintesis menggunakan energi cahaya matahari. Produsen berperan sebagai sumber utama energi dan materi bagi seluruh organisme lain dalam ekosistem. Menurut Odum and Barrett (2005), produsen berfungsi sebagai penghubung antara energi matahari dengan jaringan kehidupan di bumi, karena mereka mengonversi energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk glukosa.

2) Konsumen

Menurut Miller and Spoolman (2017), konsumen adalah organisme yang tidak bisa membuat makanannya sendiri, mereka memperoleh makanan dan energi dengan cara memakan organisme lain, baik itu produsen (seperti tumbuhan) maupun konsumen lain (seperti hewan pemakan daging), atau dengan memanfaatkan sisa-sisa dan limbah dari makhluk hidup lain. Berdasarkan tingkat trofiknya, konsumen terbagi menjadi:

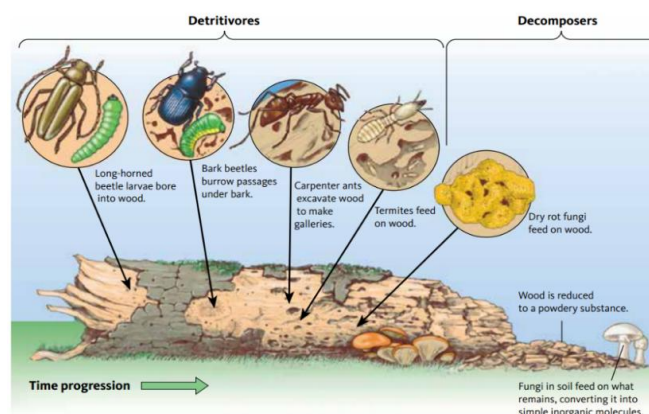
- a) Konsumen primer: Konsumen primer adalah hewan yang memakan tumbuhan hijau atau alga sebagai sumber makanannya. Mereka disebut herbivora karena hanya memakan bahan nabati. Contohnya: ulat, jerapah, dan zooplankton (hewan kecil di laut yang memakan fitoplankton).
- b) Konsumen sekunder: Konsumen sekunder adalah hewan yang memakan konsumen primer. Mereka biasanya termasuk dalam kelompok karnivora (pemakan daging) atau omnivora (pemakan segala). Contoh konsumen sekunder: laba-laba, ikan kecil, dan singa. Mereka mendapatkan energi dengan memangsa hewan pemakan tumbuhan.
- c) Konsumen tersier : Konsumen tersier adalah hewan pada tingkat trofik lebih tinggi yang memakan konsumen sekunder atau primer. Mereka juga termasuk karnivora atau omnivora. Contohnya: harimau, elang, dan paus pembunuh (orca). Selain itu, manusia, babi, dan tikus juga dapat menjadi konsumen tersier karena mereka memakan tumbuhan sekaligus hewan.

3) Dekomposer (Pengurai)

Dekomposer menurut Campbell et al. (2017) merupakan organisme heterotrof yang memperoleh energi dengan memakan detritus, yaitu sisa-sisa makhluk hidup seperti daun gugur, bangkai, dan limbah organik. Laju pertumbuhan dan aktivitas pengurai dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan ketersediaan nutrisi. Di lingkungan yang hangat dan lembap dengan cukup unsur hara, pengurai dapat berkembang lebih cepat dan mempercepat proses penguraian bahan organik. Dekomposer meliputi organisme seperti bakteri, jamur, dan beberapa jenis protista yang berperan menguraikan sisa-sisa makhluk hidup (organik kompleks) menjadi senyawa anorganik

sederhana (seperti karbon dioksida, air, dan mineral). Proses ini memungkinkan terjadinya daur ulang unsur hara, sehingga dapat digunakan kembali oleh produsen. Keberadaan dekomposer sangat penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem, karena tanpa mereka, materi akan menumpuk dan menghambat aliran energi.

Baik pengurai maupun detritivora berfungsi untuk menghilangkan penumpukan sisa tumbuhan, kotoran hewan, serta tumbuhan dan hewan mati. Mereka membantu mengubah sisa-sisa tersebut menjadi zat anorganik sederhana yang kemudian dapat diserap kembali oleh tumbuhan (produsen) sebagai sumber nutrisi baru. Dengan demikian, pengurai dan detritivor berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem melalui daur ulang unsur hara (Miller and Spoolman 2017). Pengurai dan detritivora berperan penting dalam menguraikan sisa makhluk hidup, misalnya pohon tumbang. Mereka memecah pohon tersebut menjadi partikel kayu kecil, lalu menjadi zat anorganik sederhana yang dapat diserap kembali oleh tumbuhan (produsen) sebagai nutrisi. Melalui proses ini, unsur hara yang penting bagi kehidupan dapat terus didaur ulang di dalam ekosistem. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Interaksi Bangkai Pohon dengan Dekomposer dan Detritivor
Sumber: (Miller and Spoolman 2017)

b. Komponen Abiotik

Komponen abiotik merupakan faktor-faktor fisik dan kimia dari lingkungan, seperti suhu, cahaya, kelembapan, pH, salinitas, dan ketersediaan nutrisi, yang secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi kehidupan organisme serta

proses-proses ekologi di dalam suatu ekosistem. Menurut Krebs (2014), faktor-faktor abiotik tersebut berperan sebagai batasan lingkungan utama yang menentukan distribusi geografis, kelimpahan populasi, serta aktivitas fisiologis dan perilaku organisme. Organisme hanya dapat bertahan hidup dan berkembang pada kondisi abiotik tertentu, sehingga variasi faktor-faktor ini di suatu wilayah akan membentuk pola keanekaragaman hayati dan struktur komunitas ekosistem di wilayah tersebut.

2.1.6.3 Interaksi Antar Komponen Ekosistem

Dalam ekosistem, interaksi antarorganisme berperan penting dalam menentukan struktur komunitas dan dinamika populasi. Tiga bentuk interaksi utama yang paling memengaruhi keseimbangan ekosistem adalah kompetisi, predasi, dan simbiosis.

a. Kompetisi

Kompetisi adalah interaksi negatif antara organisme ketika mereka saling berebut sumber daya yang sama, seperti makanan, air, tempat hidup, atau cahaya. Persaingan ini bisa terjadi karena sumber daya di alam jumlahnya terbatas. Menurut Krebs (2014), kompetisi dapat memengaruhi jumlah dan penyebaran organisme di suatu ekosistem, karena hanya spesies yang paling mampu beradaptasi yang bisa bertahan. Bentuk kompetisi ada dua macam diantaranya adalah:

- 1) Kompetisi intraspesifik terjadi antarindividu dari spesies yang sama. Misalnya, pohon-pohon pinus bersaing memperebutkan cahaya matahari di hutan yang rapat.
- 2) Kompetisi interspesifik terjadi antara spesies yang berbeda. Contohnya, burung dan kelelawar yang sama-sama memangsa serangga pada habitat yang sama.

Menurut prinsip pengecualian kompetitif, dua spesies yang menggunakan sumber daya dengan cara yang sama tidak dapat hidup berdampingan secara terus-menerus, salah satu spesies akan lebih unggul dan mendominasi, sedangkan spesies lain akan tergeser atau punah (Krebs 2014). Namun, dalam kenyataannya banyak spesies yang tampak serupa masih dapat hidup berdampingan. Hal ini

dapat terjadi karena kondisi lingkungan yang selalu berubah, sehingga persaingan tidak berlangsung terus-menerus, serta adanya kemampuan adaptasi dari setiap spesies untuk memanfaatkan sumber daya dengan cara yang berbeda (misalnya dengan mengubah waktu aktivitas atau jenis makanan), sehingga mengurangi tingkat persaingan langsung. Kompetisi ini memiliki pengaruh besar terhadap struktur populasi dan komunitas, terutama pada hewan herbivora dibandingkan pada tumbuhan atau karnivora. Oleh karena itu, memahami mekanisme kompetisi menjadi hal penting untuk menjelaskan keseimbangan ekosistem dan keanekaragaman hayati di alam.

b. Predasi

Predasi merupakan interaksi ekologis di mana satu organisme, yang disebut predator menangkap dan memakan organisme lain sebagai mangsa. Hubungan ini bersifat regulatif, karena predator memainkan peran penting dalam mengendalikan jumlah populasi mangsa, sehingga mencegah terjadinya ledakan populasi yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Menurut Krebs (2014), predasi tidak hanya memengaruhi dinamika populasi, tetapi juga menjadi pendorong adaptasi evolusioner pada kedua pihak yang terlibat. Predator mengalami tekanan seleksi untuk mengembangkan kemampuan berburu yang lebih efektif, seperti kecepatan, kecerdikan, atau strategi berburu kelompok. Di sisi lain, mangsa berevolusi dengan mengembangkan berbagai mekanisme pertahanan, termasuk kamuflase untuk menyamarkan diri, mimikri untuk meniru organisme berbahaya, perilaku berkelompok untuk mengurangi risiko per individu, serta produksi zat kimia beracun sebagai alat perlindungan.

Selain sebagai pengendali populasi, predasi juga berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati. Kehadiran predator puncak dapat mencegah dominasi spesies tertentu yang lebih kompetitif, sehingga memungkinkan spesies lain bertahan dan struktur komunitas tetap seimbang (Campbell et al. 2017). Dengan demikian, predasi bukan hanya fenomena konsumsi dalam rantai makanan, tetapi juga mekanisme ekologis yang membentuk struktur komunitas, memacu adaptasi evolusioner, dan mendukung stabilitas serta keberlanjutan ekosistem secara keseluruhan.

c. Simbiosis

Simbiosis ialah bentuk interaksi makhluk hidup yang erat hubungannya antara dua individu yang berbeda jenis. Simbiosis merupakan istilah yang menunjukkan adanya interaksi antara dua organisme yang hidup berdampingan. Dalam konteks ekologi, simbiosis memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem karena berpengaruh terhadap aliran energi, pemanfaatan sumber daya, serta dinamika populasi organisme yang terlibat. Simbiosis dalam suatu ekosistem di suatu lingkungan hidup dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

- 1) Netralisme, Netralisme, kondisi suatu populasi sama sekali tidak mempengaruhi atau dipengaruhi oleh populasi yang lain. Hubungan yang tidak saling mengganggu antar organisme dalam habitat yang sama yang bersifat tidak menguntungkan dan tidak merugikan.
- 2) Simbiosis Parasitisme, suatu populasi dirugikan sedangkan populasi yang lain diuntungkan. Menurut (Campbell et al. 2017) simbiosis parasitisme merupakan bentuk interaksi yang dapat menyebabkan satu pihak mendapatkan keuntungan dan pihak lain dirugikan.
- 3) Simbiosis Komensalisme, Simbiosis Komensalisme, adalah hidup Bersama antara dua spesies yang menguntungkan satu pihak tetapi pihak lain tidak diuntungkan dan tidak dirugikan. Dapat dikatakan populasi satu diuntungkan tetapi populasi lain tidak terpengaruh.
- 4) Simbiosis mutualisme merupakan bentuk interaksi antarspesies di mana kedua populasi yang terlibat saling memperoleh keuntungan dan dalam beberapa kasus hubungan ini bersifat wajib, artinya kedua organisme tidak dapat bertahan hidup tanpa kehadiran satu sama lain. Sebagai contoh yaitu hubungan antara semut dan pohon akasia. Semut memperoleh makanan berupa nektar dan tempat berlindung dari duri berongga akasia, sedangkan pohon akasia mendapatkan perlindungan dari herbivora dan penyingkiran tanaman pesaing di sekitarnya oleh aktivitas semut. Sistem antara semut dan akasia ini menjadi model klasik dari koevolusi dua spesies, di mana adaptasi pada salah satu spesies mendorong munculnya adaptasi saling melengkapi

pada spesies lain. Dengan menurunkan tingkat kerusakan akibat herbivora serta mengurangi kompetisi antar tumbuhan, keberadaan semut tidak hanya memberikan manfaat langsung bagi kelangsungan hidup akasia, tetapi juga meningkatkan keberhasilan reproduktif dan daya saing akasia dalam komunitasnya. Sebaliknya, akasia juga menyediakan sumber daya berkelanjutan bagi semut, sehingga interaksi ini membentuk keseimbangan ekologis yang stabil dan saling ketergantungan yang erat di antara keduanya Krebs (2014).



Gambar 2.4 Simbiosis Mutualisme (semut dan pohon akasia)

Sumber: (Krebs 2014)

2.1.6.4 Aliran Energi

Menurut Suci Ramanda, Yogica, and Hijrah Selaras (2023) ekosistem merupakan sistem yang di dalamnya terjadi aliran energi dari produsen ke konsumen melalui rantai makanan dan jaring-jaring makanan, sedangkan materi kimia mengalami daur biogeokimia antara komponen biotik dan abiotik. Energi yang memasuki ekosistem berasal dari sinar matahari, di mana energi cahaya tersebut dikonversi menjadi energi kimia oleh organisme autotrof. Energi ini kemudian diteruskan kepada organisme heterotrof melalui senyawa organik dalam bentuk makanan, dan akhirnya sebagian besar energi akan hilang dalam bentuk panas. Sejalan dengan hal tersebut, Clark, Choi, and Douglas (2018) menyatakan bahwa aliran energi dalam ekosistem merupakan proses berurutan di mana energi berpindah dari produsen ke konsumen melalui rantai makanan dan jaring-jaring makanan, dan bahwa selama perpindahan ini energi mengalir secara searah dan sebagian besar hilang sebagai panas.

Selanjutnya, Maknun (2017) menjelaskan bahwa ekosistem berperan dalam transfer energi dari matahari melalui rantai makanan. Semua organisme memperoleh energi melalui jalur ini, di mana pada setiap tingkatan perpindahan energi, sebagian energi akan hilang. Rantai makanan menggambarkan perpindahan energi kimia dari sumber utamanya, yaitu tumbuhan dan organisme autotrof lainnya (produsen primer), ke herbivora (konsumen primer), dilanjutkan ke karnivora (konsumen sekunder, tersier, hingga kuartern), dan berakhir pada dekomposer (Campbell et al. 2017). Organisme yang berada pada posisi tertentu di dalam rantai makanan menempati tingkat trofik tertentu.

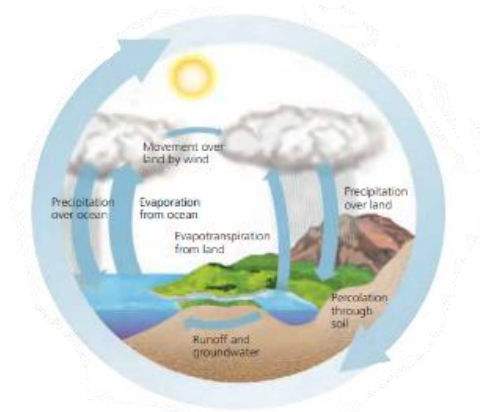
Rantai makanan ini saling terhubung membentuk jaring-jaring makanan, yaitu sistem interaksi kompleks di mana satu spesies dapat menempati lebih dari satu tingkat trofik. Misalnya, copepod dapat berperan sebagai konsumen tingkat pertama maupun tingkat kedua, tergantung pada sumber makanannya. Dengan demikian, jaring-jaring makanan memberikan gambaran yang lebih nyata mengenai hubungan antar organisme dalam ekosistem dibandingkan dengan rantai makanan tunggal.

2.1.6.5 Daur Biogeokimia

Materi dalam ekosistem tidak pernah hilang, melainkan bersirkulasi terus-menerus antara komponen biotik dan abiotik melalui daur biogeokimia, yaitu perputaran unsur penting seperti air, karbon, nitrogen, dan fosfor melalui interaksi antara makhluk hidup dan lingkungan fisik (Campbell et al. 2017). Siklus ini bisa berskala global, seperti unsur karbon dan nitrogen yang berpindah melalui atmosfer, atau lokal, seperti fosfor, kalium, dan kalsium yang diserap akar tanaman dan dikembalikan oleh pengurai. Berikut adalah beberapa daur utama dalam ekosistem antara lain:

- 1) Siklus Air yaitu daur air menggambarkan pergerakan air dari permukaan bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi melalui proses penguapan, transpirasi, kondensasi, presipitasi, dan infiltrasi. Siklus ini menyediakan air bagi metabolisme organisme serta berperan penting dalam pengaturan iklim dan distribusi energi di biosfer (Campbell et al. 2017).

- a) Pentingnya secara biologis: Air sangat penting bagi semua organisme dan memengaruhi laju proses ekosistem, terutama produksi primer dan dekomposisi di ekosistem darat.
- b) Bentuk yang tersedia: Semua organisme dapat bertukar air dengan lingkungannya. Air cair adalah bentuk utama yang digunakan, meski beberapa organisme juga memanfaatkan uap air. Air tanah yang membeku dapat membatasi ketersediaan air bagi tumbuhan.
- c) Distribusi: Lautan menyimpan sekitar 97% air di biosfer. Sekitar 2% terikat dalam gletser dan lapisan es kutub, dan 1% sisanya berada di danau, sungai, dan air tanah, dengan jumlah kecil di atmosfer.
- d) Proses utama: Siklus air didorong oleh penguapan air cair oleh energi matahari, kondensasi uap menjadi awan, dan presipitasi. Transpirasi tumbuhan juga memindahkan air ke atmosfer. Aliran permukaan dan air tanah mengembalikan air ke lautan, melengkapi siklus.

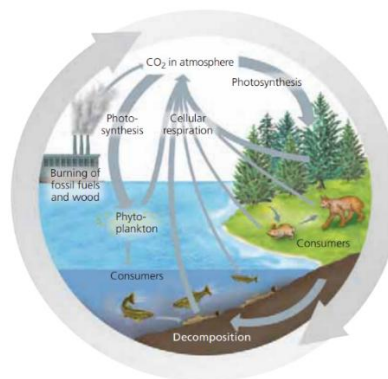


Gambar 2.5 Siklus Air

Sumber: (Campbell et al. 2017)

- 2) Siklus Karbon mencerminkan aliran karbon antara atmosfer, biosfer, dan litosfer melalui fotosintesis, respirasi, dekomposisi, dan pembakaran. Karbon merupakan unsur utama penyusun molekul organik, dan keseimbangan siklus ini sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia seperti deforestasi dan penggunaan bahan bakar fosil yang meningkatkan kadar CO_2 di atmosfer.
 - a) Pentingnya secara biologis: Karbon membentuk kerangka molekul organik yang penting bagi semua organisme.

- b) Bentuk yang tersedia: Organisme fotosintetik menggunakan CO_2 untuk fotosintesis, mengubahnya menjadi senyawa organik yang kemudian dimanfaatkan oleh konsumen seperti hewan, jamur, protista, dan bakteri heterotrofik.
- c) Reservoir: Karbon tersimpan di bahan bakar fosil, tanah, sedimen perairan, lautan (karbon terlarut), biomassa tumbuhan dan hewan, serta atmosfer (CO_2). Reservoir terbesar adalah batuan sedimen seperti batu kapur, yang menyimpan karbon dalam waktu sangat lama. Semua organisme mengembalikan karbon ke atmosfer dalam bentuk CO_2 melalui respirasi.
- d) Proses kunci: Fotosintesis oleh tumbuhan dan fitoplankton menyerap banyak CO_2 setiap tahun, hampir seimbang dengan jumlah CO_2 yang dilepaskan melalui respirasi produsen dan konsumen. Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan kayu, menambah CO_2 ke atmosfer, sedangkan gunung berapi juga menjadi sumber CO_2 alami.

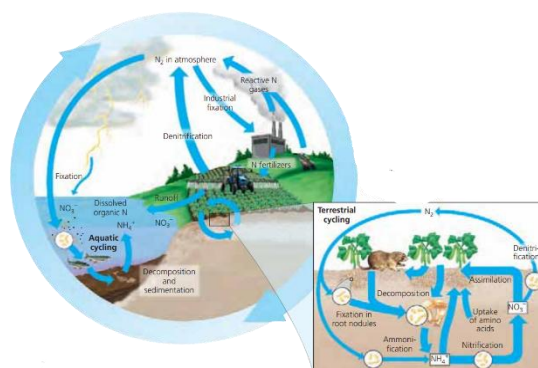


Gambar 2.6 Siklus Karbon

Sumber: (Campbell et al. 2017)

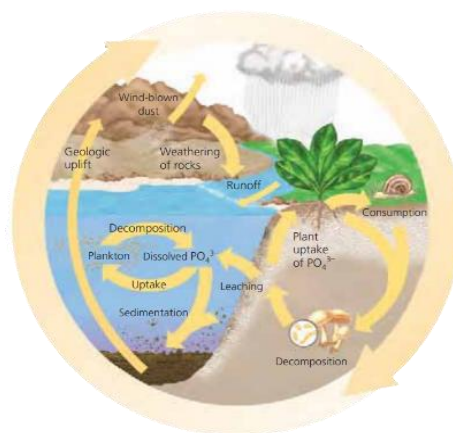
- 3) Siklus nitrogen, nitrogen merupakan unsur esensial dalam pembentukan protein dan asam nukleat. Siklus nitrogen mencakup proses fiksasi nitrogen, nitrifikasi, asimilasi, amonifikasi, dan denitrifikasi. Campbell et al. (2017) menjelaskan bahwa hanya beberapa organisme, seperti bakteri tertentu, yang mampu mengubah nitrogen bebas (N_2) menjadi bentuk yang dapat diserap tumbuhan, sehingga siklus ini berperan penting dalam produktivitas ekosistem.

- a) Pentingnya secara biologis: Nitrogen merupakan komponen penting asam amino, protein, dan asam nukleat, serta sering menjadi nutrisi terbatas bagi tanaman.
- b) Bentuk yang tersedia: Tumbuhan dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk amonium (NH_4^+), nitrat (NO_3^-), dan beberapa senyawa organik seperti asam amino. Bakteri dapat menggunakan semua bentuk ini termasuk nitrit (NO_2^-), sedangkan hewan hanya menggunakan nitrogen dalam bentuk organik.
- c) Reservoir: Reservoir utama nitrogen adalah atmosfer, yang sekitar 80% terdiri dari gas N_2 bebas. Reservoir lain termasuk tanah, sedimen perairan, air permukaan dan air tanah, serta biomassa organisme hidup.
- d) Proses kunci: Nitrogen masuk ke ekosistem melalui fiksasi nitrogen, yaitu konversi N_2 menjadi bentuk yang dapat digunakan untuk sintesis senyawa organik. Fiksasi alami dilakukan oleh bakteri tertentu, petir, dan aktivitas vulkanik. Aktivitas manusia, seperti penggunaan pupuk industri dan tanaman polong-polongan yang memfiksasi nitrogen, kini menambah masukan nitrogen lebih besar daripada sumber alami. Bakteri lain di tanah mengubah nitrogen menjadi berbagai bentuk, misalnya bakteri nitrifikasi mengubah amonium menjadi nitrat, dan bakteri denitrifikasi mengubah nitrat kembali menjadi gas N_2 . Aktivitas manusia juga melepaskan gas nitrogen reaktif, seperti nitrogen oksida, ke atmosfer.



Gambar 2.7 Siklus Nitrogen
Sumber : (Campbell et al. 2017)

- 4) Daur Fosfor, fosfor diperlukan dalam pembentukan DNA, RNA, dan ATP. Siklus fosfor berlangsung melalui pelapukan batuan, penyerapan oleh tumbuhan, perpindahan melalui rantai makanan, dan pengembalian ke tanah melalui dekomposisi. Karena tidak melibatkan atmosfer, daur fosfor berjalan lambat dan sangat dipengaruhi oleh proses geologis (Odum and Barrett 2005).
- Pentingnya secara biologis: Fosfor dibutuhkan organisme sebagai bagian utama asam nukleat, fosfolipid, ATP, molekul penyimpan energi lainnya, serta sebagai mineral penyusun tulang dan gigi.
 - Bentuk yang tersedia: Bentuk anorganik fosfor yang paling penting adalah fosfat (PO_4^{3-}), yang diserap tanaman untuk sintesis senyawa organik.
 - Reservoir: Fosfor paling banyak tersimpan dalam batuan sedimen dari laut. Fosfor juga terdapat di tanah, laut (dalam bentuk terlarut), dan organisme. Karena fosfat mudah terikat partikel tanah, daur ulang fosfor cenderung bersifat lokal di ekosistem.
 - Proses kunci: Pelapukan batuan secara bertahap melepaskan fosfat ke tanah; sebagian larut ke air tanah atau air permukaan, lalu akhirnya bisa mencapai laut. Fosfat yang diserap produsen dimakan konsumen dan kembali ke tanah atau air melalui dekomposisi atau ekskresi. Karena fosfor jarang terdapat dalam bentuk gas, hanya sedikit yang bergerak melalui atmosfer, biasanya sebagai debu atau semburan air laut.



Gambar 2.8 Siklus Fosfor
Sumber : (Campbell et al. 2017)

Daur ini menjamin tersedianya unsur-unsur penting bagi kehidupan, sekaligus memastikan bahwa materi dalam ekosistem terus digunakan kembali tanpa habis. Menurut Odum and Barrett (2005). Keseimbangan antar daur biogeokimia menjadi faktor utama dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan ekosistem. Gangguan terhadap salah satu daur dapat mengakibatkan perubahan besar pada struktur dan fungsi ekosistem.

2.1.6.6 Piramida Ekologi

Piramida ekologi merupakan representasi yang menunjukkan hubungan kuantitatif antar tingkat trofik dalam suatu ekosistem. Piramida ini membantu menggambarkan bagaimana jumlah organisme, biomassa, atau energi tersusun dari tingkat trofik terendah (produsen) hingga tertinggi (konsumen puncak). Piramida ekologi mencerminkan prinsip dasar ekologi bahwa ketika energi berpindah dari satu tingkat trofik ke tingkat berikutnya, sebagian besar energi hilang sebagai panas melalui proses metabolisme. Terdapat tiga jenis piramida ekologi, yaitu:

1) Piramida Jumlah

Piramida jumlah menggambarkan jumlah individu pada setiap tingkat trofik dalam suatu ekosistem. Bentuk piramida ini dapat tegak atau terbalik, tergantung pada karakteristik ekosistemnya. Pada ekosistem darat, piramida jumlah umumnya berbentuk tegak, karena jumlah produsen seperti tumbuhan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah konsumen di tingkat trofik yang lebih tinggi. Sebaliknya, piramida terbalik dapat dijumpai pada ekosistem tertentu, seperti padang rumput atau ekosistem parasit, di mana satu produsen besar mampu mendukung banyak konsumen. Misalnya, satu pohon besar dapat menjadi habitat bagi ratusan serangga atau burung, sehingga jumlah konsumen lebih banyak dibandingkan produsen. Fenomena ini menunjukkan bahwa bentuk piramida jumlah sangat bergantung pada struktur komunitas dan cara organisme berinteraksi di dalam ekosistem tersebut (Campbell et al. 2017).

2) Piramida Biomassa

Piramida biomassa menggambarkan jumlah total massa kering organisme hidup pada setiap tingkat trofik dalam suatu ekosistem. Menurut Campbell et al.

(2017), piramida ini memberikan gambaran tentang jumlah materi organik yang tersedia untuk mendukung tingkat trofik berikutnya. Di ekosistem darat, bentuk piramida biomassa umumnya tegak, karena produsen seperti tumbuhan memiliki biomassa yang jauh lebih besar dibandingkan dengan para konsumennya. Namun, kondisi berbeda dijumpai pada ekosistem perairan, di mana piramida biomassa sering kali terbalik. Hal ini terjadi karena fitoplankton, meskipun memiliki biomassa rendah mempunyai laju reproduksi yang sangat tinggi, sehingga mampu menopang biomassa zooplankton dan konsumen lain yang lebih besar. Fenomena ini mencerminkan siklus energi yang cepat dan hubungan dinamis antara produsen dan konsumen dalam lingkungan akuatik.

3) Piramida Energi

Piramida energi menunjukkan aliran energi pada setiap tingkat trofik dan biasanya dinyatakan dalam satuan kilokalori per meter persegi per tahun ($\text{kcal/m}^2/\text{tahun}$). Menurut Campbell et al. (2017), piramida ini selalu berbentuk tegak karena energi senantiasa berkurang setiap kali berpindah ke tingkat trofik yang lebih tinggi. Berdasarkan hukum termodinamika kedua, setiap transfer energi menyebabkan sebagian energi hilang dalam bentuk panas, sehingga rata-rata hanya sekitar 10% energi yang dapat dimanfaatkan oleh tingkat trofik berikutnya. Bentuk piramida energi ini menggambarkan efisiensi transfer energi yang rendah dan menjelaskan mengapa rantai makanan jarang memiliki lebih dari empat atau lima tingkat trofik. Oleh karena itu, piramida energi dianggap sebagai model paling akurat untuk memahami aliran energi dan stabilitas ekosistem.

2.2 Hasil Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan model pembelajaran RICOSRE memberikan pengaruh positif terhadap pengembangan kemampuan berpikir dan literasi siswa dalam pembelajaran sains.

- 1) Penelitian yang dilakukan oleh Mahanal et al. (2022) menunjukkan bahwa RICOSRE meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan *scientific reasoning* siswa dengan peningkatan yang signifikan setelah perlakuan.
- 2) Penelitian yang dilakukan oleh Mahanal and Zubaidah (2017) menunjukkan bahwa model pembelajaran RICOSRE mampu memberdayakan keterampilan

berpikir kreatif dan pemecahan masalah secara signifikan. Penelitian ini juga menegaskan bahwa RICOSRE tidak hanya efektif dalam peningkatan pemahaman konsep sains namun juga mendorong pembentukan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang sangat diperlukan dalam pembelajaran berbasis masalah.

- 3) Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Badriah (2023) menyimpulkan bahwa model pembelajaran RICOSRE-CMM lebih baik untuk meningkatkan literasi informasi, keterampilan pemecahan masalah dan efikasi diri mahasiswa dibandingkan pembelajaran RICOSRE dan Pembelajaran konvensional di Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Siliwangi Tasikmalaya. Oleh karena itu, penelitian ini menunjukkan bahwa model RICOSRE ini dapat mengemangkan kemampuan siswa secara signifikan.
- 4) Penelitian-penelitian lainnya di Indonesia juga menyatakan bahwa tahapan membaca ilmiah dan identifikasi masalah membantu siswa memahami konsep secara lebih mendalam dan mengaitkannya dengan isu-isu nyata sehingga mendorong peningkatan literasi sains dan kesadaran ekologis (Hasruddin and Aulia 2023).
- 5) Studi lainnya yang membandingkan pembelajaran laboratorium ber-bantuan *Diagram Vee* dengan metode konvensional juga menunjukkan bahwa penggunaan *Diagram Vee* ketika dipadukan dengan kegiatan inkuiri memperkuat pemahaman konseptual siswa, membantu pemetaan hubungan antara teori dan data empiris, serta meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi seperti analisis dan evaluasi (Trio Wicaksono and Marfu 2018).

Dengan demikian, bukti-bukti tersebut mendukung klaim bahwa integrasi RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* dapat menciptakan pengalaman belajar bermakna yang menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan literasi sains siswa. Dengan demikian, temuan dari beberapa penelitian tersebut mendukung bahwa model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* berpotensi besar dalam mengembangkan kemampuan literasi ekologi dan keterampilan berpikir kritis siswa, karena memadukan aktivitas literasi ilmiah, pemecahan masalah, dan

refleksi konseptual yang mendalam. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji secara lebih mendalam pada efektivitas penerapan model RECOSRE berbantuan *Diagram Vee* pada materi ekosistem di tingkat SMA, sehingga dapat memperluas penelitian dengan fokus pada kemampuan literasi ekologi dan keterampilan argumentasi ilmiah.

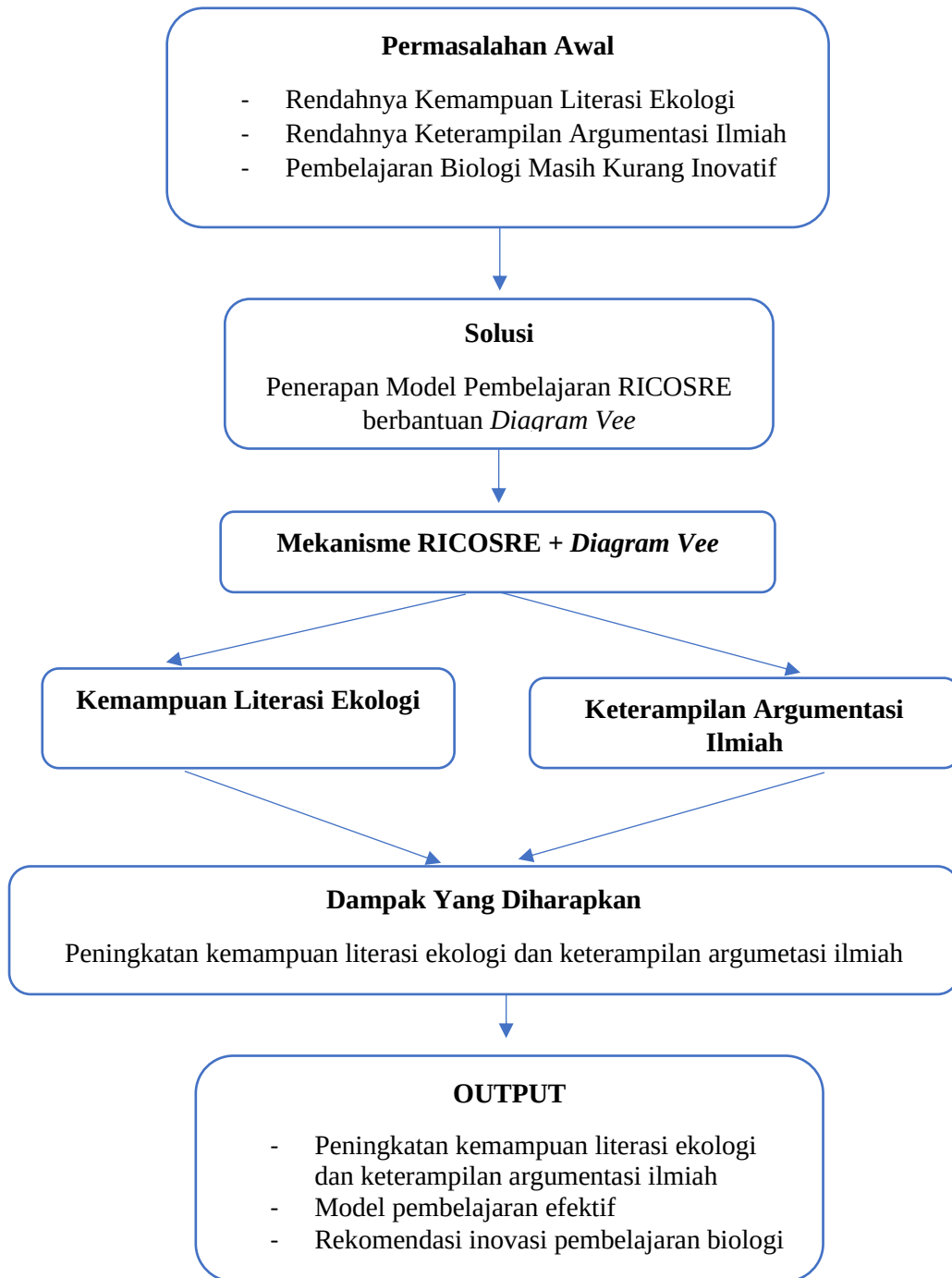
2.3 Kerangka Konseptual

Perkembangan pendidikan abad ke-21 menuntut siswa tidak hanya menguasai pengetahuan faktual, tetapi juga memiliki kemampuan berpikir kritis, reflektif, dan kreatif dalam menghadapi permasalahan kompleks, termasuk isu-isu lingkungan. Dalam konteks pembelajaran biologi, khususnya materi ekosistem, siswa diharapkan mampu memahami keterkaitan antar komponen lingkungan dan mengembangkan kesadaran ekologis yang diwujudkan melalui kemampuan literasi ekologi. Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa siswa masih kurang mampu menghubungkan konsep ekologi dengan fenomena nyata, belum terbiasa menalar hubungan sebab-akibat secara ilmiah, serta lemah dalam mengemukakan pendapat berdasarkan bukti. Kondisi ini menyebabkan kemampuan literasi ekologi dan keterampilan argumentasi ilmiah siswa belum berkembang secara optimal.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menerapkan model pembelajaran RICOSRE yang dipadukan dengan *Diagram Vee*. Model RICOSRE menekankan pada keterlibatan aktif siswa dalam membaca sumber ilmiah, mengidentifikasi masalah, membangun solusi, melakukan penyelidikan, serta merefleksikan hasil belajar. Integrasi *Diagram Vee* sebagai alat bantu berpikir memungkinkan siswa menghubungkan konsep teoritis dengan data empiris secara visual, sehingga mereka dapat memahami keterkaitan antara teori dan praktik. Kolaborasi keduanya diharapkan mampu mengembangkan cara berpikir ilmiah yang sistematis, memperdalam pemahaman konseptual, serta menumbuhkan kemampuan refleksi dan argumentasi berbasis bukti.

Penerapan model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* berpotensi mendukung pengembangan dua kemampuan utama siswa, yaitu kemampuan literasi ekologi dan keterampilan argumentasi ilmiah. Melalui kegiatan membaca dan identifikasi

masalah, siswa berlatih mengenali isu-isu lingkungan dan memahami hubungan antar komponen ekosistem, yang berkontribusi terhadap peningkatan literasi ekologi. Pada tahap konstruksi dan penyelesaian masalah, siswa mengaitkan konsep dengan fenomena nyata, sehingga pengetahuan menjadi lebih bermakna dan aplikatif. Selain itu, proses diskusi, refleksi, dan peninjauan kembali solusi mendorong siswa untuk menyusun argumen ilmiah yang terdiri atas klaim, bukti, dan penalaran logis (*claim, evidence dan reasoning*). Dengan demikian, kegiatan pembelajaran tidak hanya mengasah aspek kognitif, tetapi juga melatih keterampilan komunikasi ilmiah dan pengambilan keputusan berbasis data. Secara konseptual, model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* berperan sebagai variabel bebas yang memberikan pengaruh terhadap dua variabel terikat, yaitu kemampuan literasi ekologi dan keterampilan argumentasi ilmiah. Pembelajaran yang berlandaskan model ini menumbuhkan kebiasaan berpikir kritis, reflektif, dan berbasis bukti yang menjadi ciri pembelajaran sains modern. Oleh karena itu, secara teoretis diasumsikan bahwa penerapan model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* akan menghasilkan peningkatan signifikan pada kemampuan literasi ekologi dan keterampilan argumentasi ilmiah siswa dibandingkan dengan pembelajaran yang diterapkan sebelumnya yaitu PBL.



Gambar 2.9 Kerangka Konseptual Penelitian

2.4 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis dalam penelitian ini dapat dirumuskan menjadi hipotesis alternatif (H_a).

H_{a1} : Terdapat Pengaruh Model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* terhadap Kemampuan Literasi Ekologi.

H_{a2} : Terdapat Pengaruh Model RICOSRE berbantuan *Diagram Vee* terhadap Keterampilan Argumentasi Ilmiah.