

## **Analisis Kualitatif Kesalahan Konseptual Senyawa Ionik dan Senyawa Kovalen dalam Argumentasi Mahasiswa pada Laporan Praktikum Kimia Dasar**

**Fatchiyatun Ni'mah<sup>1</sup>, Anggi Ristiyana Puspita Sari<sup>1</sup>, Maya Erliza Anggraeni<sup>1</sup>, Yoan Theasi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universitas Palangka Raya, Sentral Boneo, Indonesia

Email: [fatchiyatun@fkip.upr.ac.id](mailto:fatchiyatun@fkip.upr.ac.id)

Diterima:01-12-2024; Disetujui:15-12-2024; Dipublikasi:18-12-2024

### **ABSTRAK**

Pemahaman konsep senyawa ionik dan kovalen merupakan pondasi penting dalam pembelajaran kimia dasar karena keduanya mendasari struktur, sifat senyawa, dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari. Kesalahan konsep yang terjadi pada topik ikatan ionik dan kovalen sering terjadi dan berdampak negatif pada kemampuan mahasiswa dalam analisis sifat senyawa, keterampilan berpikir kritis, dan argumentasi ilmiah. Di sisi lain, generasi Z menunjukkan kelemahan dalam refleksi mendalam terhadap kesalahan konseptual, yang tercermin dalam laporan praktikum kimia dasar. Laporan praktikum dapat menunjukkan seberapa dalam pemahaman sekaligus pola kesalahan konsep yang dialami oleh mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesalahan konseptual mahasiswa terkait senyawa ionik dan kovalen dalam laporan praktikum kimia dasar I. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Peneliti berperan sebagai instrumen yang menilai kesalahan konsep yang terjadi pada mahasiswa melalui pembahasan laporan praktikum. Terdapat 3 kesalahan konsep pada sub-topik perbandingan titik leleh, dan 5 kesalahan konsep pada sub-topik kelarutan.

**Kata Kunci:** kesalahan konsep, laporan praktikum, senyawa ionik, senyawa kovalen

### **PENDAHULUAN**

Pemahaman mengenai ikatan ion dan kovalen dirasa sangat penting karena dapat mendukung pengembangan material baru dalam teknologi baterai, maupun desain obat dalam bidang farmasi (Coppo, 2017). Pemahaman materi senyawa ionik dan senyawa kovalen menjadi krusial ketika kegagalan dalam menguasai materi ini dapat menyebabkan kesalahan konsep yang berdampak negatif pada kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah ilmiah yang lebih kompleks (Erman, 2017).

Kesalahan konsep adalah pemahaman yang salah atau tidak akurat terhadap konsep ilmiah yang dapat muncul akibat pembelajaran yang tidak memadai, informasi yang salah, atau interpretasi keliru terhadap pengalaman sehari-hari (Wang & Barrow, 2013). Kesalahan ini sering berkembang dari generalisasi yang tidak tepat, kurangnya hubungan antara teori dan praktik, atau penggunaan terminologi yang tidak jelas selama pembelajaran. Misalnya, siswa yang menyatakan bahwa senyawa ionik larut karena membentuk "ikatan baru" dengan air menunjukkan kesalahan dalam memahami interaksi ion-dipol. Sumber lain dari



kesalahan konsep termasuk referensi yang tidak akurat, kurangnya pengalaman eksperimen, dan pembelajaran yang tidak menekankan pemahaman konseptual. Kesalahan ini sering kali menjadi pola dalam laporan praktikum, di mana siswa menggunakan argumen yang tidak sesuai dengan prinsip ilmiah atau menunjukkan pemahaman yang tidak lengkap terhadap hasil eksperimen.

Jika mahasiswa tidak memahami konsep senyawa ionik dan senyawa kovalen dengan baik, konsekuensinya tidak hanya terbatas pada kesalahan konsep teoretis, tetapi juga pada ketidakmampuan mahasiswa dalam menerapkan teori pada aplikasi kehidupan nyata. Kesalahan konseptual ini dapat mempengaruhi kemampuan berpikir kritis dan logika ilmiah mahasiswa, sehingga menghambat keterampilan argumentasi dan pemecahan masalah (Mufidah et al., 2023). Lebih jauh, mahasiswa yang tidak memahami konsep ikatan kimia sering kesulitan dalam menganalisis sifat dari berbagai senyawa (Lahlali et al., 2023).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kesalahan konsep tentang senyawa ionik dan kovalen adalah salah satu tantangan utama dalam pembelajaran kimia. Selain salah dalam memahami ikatan ionik sebagai "transfer elektron yang sempurna" tanpa mempertimbangkan aspek interaksi elektrostatis, mahasiswa juga sering salah memahami bahwa senyawa ionik tidak memiliki sifat kovalen sama sekali, yang bertentangan dengan konsep pembentukan ikatan polar pada beberapa senyawa ionik (Peterson & Treagust, 1989). Mahasiswa sering menganggap bahwa molekul dengan ikatan kovalen selalu bersifat non-polar, yang menunjukkan pemahaman yang tidak memadai tentang distribusi muatan dalam molekul. Di sisi lain, mahasiswa juga sering gagal menjelaskan mengapa senyawa ionik dapat larut dalam air tetapi tidak dalam pelarut organik non-polar (Üce & Ceyhan, 2019). Mahasiswa cenderung mengabaikan pengaruh geometri molekul terhadap sifat polaritas senyawa, sehingga tidak dapat menjelaskan variasi sifat fisik senyawa kovalen (Wang & Barrow, 2013).

Dalam laporan praktikum, kesalahan konsep dapat terlihat melalui interpretasi siswa terhadap hasil eksperimen, seperti kesalahan dalam menjelaskan fenomena kelarutan atau reaksi kimia (von Aufschnaiter et al., 2008). Misalnya, siswa mungkin salah memahami hubungan antara struktur molekul, kepolaran, dan kelarutan senyawa dalam air. Analisis laporan praktikum menjadi penting untuk mengidentifikasi pola kesalahan ini, mengevaluasi efektivitas pembelajaran, dan menentukan area yang memerlukan intervensi pedagogis (Rini & Aldila, 2023). Dengan memahami kesalahan konsep siswa melalui laporan praktikum, pendidik dapat merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif untuk memperbaiki kesalahan konsep, sehingga membantu siswa menghubungkan teori dengan praktik secara lebih mendalam (Dhindsa & Treagust, 2014).

Laporan praktikum merupakan salah satu instrumen penting dalam pembelajaran kimia dasar yang tidak hanya mencerminkan hasil eksperimen, tetapi juga cara mahasiswa memahami dan menginterpretasikan konsep-konsep ilmiah. Sebagai dokumen tertulis, laporan praktikum menyediakan data yang kaya untuk

menganalisis pemahaman konseptual mahasiswa, termasuk potensi kesalahan atau kesalahan konsep yang mahasiswa alami. Laporan praktikum memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi pemikiran mahasiswa secara mendalam melalui analisis struktur argumentasi, yaitu hubungan antara klaim, bukti, dan alasan (Emsheimer & Silva, 2011; Gouvea et al., 2022). Selain itu, laporan ini juga melatih kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa dengan menghubungkan data eksperimen dengan penjelasan logis.

Sebagai hasil kerja individu mahasiswa, laporan praktikum memberikan gambaran autentik tentang tingkat pemahaman mahasiswa berdasarkan pengalaman langsung di laboratorium. Laporan ini mahasiswa cara berpikir mahasiswa, mulai dari perancangan eksperimen, analisis hasil, hingga penarikan kesimpulan, yang menjadi indikator kemampuan berpikir kritis dan argumentasi ilmiah (Rini & Aldila, 2023). Di sisi lain, pola kesalahan konseptual yang berulang dapat ditemukan dalam laporan praktikum, sehingga dapat digunakan untuk merancang kegiatan pembelajaran yang lebih efektif. Analisis laporan praktikum memungkinkan pendidik untuk mengidentifikasi kesalahan konsep mahasiswa, memberikan intervensi yang tepat, dan meningkatkan pemahaman mahasiswa secara keseluruhan (Gouvea et al., 2022). Hal ini menjadikan laporan praktikum sebagai media evaluasi yang tidak hanya menilai kemampuan individu, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan metode pembelajaran.

Generasi Z, yang lahir antara tahun 1997 hingga 2012, merupakan generasi yang tumbuh di tengah kemajuan teknologi digital. Sebagai generasi digital asli, mahasiswa terbiasa dengan akses cepat terhadap informasi melalui teknologi modern. Kemudahan ini memberikan keuntungan dalam kecepatan memperoleh data dan kemampuan multitasking, tetapi di sisi lain, menciptakan kelemahan signifikan dalam kemampuan berpikir kritis dan berargumentasi ilmiah. (Dániel Gergő, 2016) menyebutkan bahwa generasi ini cenderung memprioritaskan informasi instan dibandingkan pemahaman mendalam, sehingga proses analisis data sering terabaikan. Hal ini berdampak pada cara mahasiswa memahami konsep-konsep ilmiah dan menyusun argumentasi. Meskipun Generasi Z mahir menggunakan teknologi untuk mengakses informasi, mahasiswa sering kesulitan melakukan refleksi mendalam terhadap kesalahan yang terjadi (Shtepura, 2022). Refleksi ini merupakan langkah penting untuk memperbaiki kesalahan konsep. Sebaliknya, kurangnya refleksi ini dapat memperparah kesalahan konsep yang terjadi (Lee & Fortune, 2013). Mahasiswa sering gagal menghubungkan hasil praktikum dengan konsep-konsep kimia secara akurat, sehingga laporan mahasiswa menjadi cerminan langsung dari kesalahan konseptual yang mahasiswa alami (Sandoval & Millwood, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kesalahan konseptual mahasiswa terkait senyawa ionik dan kovalen dalam konteks argumentasi pada laporan praktikum kimia dasar. Dengan memahami pola kesalahan konseptual dan kaitannya dengan kelemahan karakteristik generasi Z,

penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif untuk meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan argumentasi ilmiah mahasiswa.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Penelitian dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran 2024/2025. Subyek penelitian adalah mahasiswa semester I Prodi Pendidikan Kimia yang mayoritas merupakan siswa lulusan tahun 2024 yang berjumlah 18 orang. Mahasiswa ini merupakan generasi-z yang lahir pada tahun 2000-an. Peneliti berperan sebagai instrumen yang menilai kesalahan konsep yang terjadi pada mahasiswa melalui pembahasan laporan praktikum. Pembahasan dari laporan praktikum mahasiswa menjadi sumber data yang dianalisis sehingga diperoleh informasi kesalahan konsep yang dialami oleh mahasiswa. Jenis-jenis kesalahan konsep yang ditemukan dan frekuensi yang diperoleh selanjutnya didokumentasikan. Laporan praktikum yang digunakan merupakan laporan praktikum dengan topik Sifat Fisika dan Kimia Antara Senyawa Ion dengan Senyawa Kovalen. Di dalam topik ini terdiri dari sub topik: (a) Perbandingan titik leleh dan (b) Perbandingan kelarutan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh merupakan pembahasan laporan praktikum yang disusun oleh mahasiswa. Tiap kalimat dianalisis, sehingga diperoleh kesalahan konsep yang dialami mahasiswa. Berdasarkan hasil analisis data, dapat dirangkumkan kesalahan konsep pada mahasiswa yang disajikan pada tabel berikut:

**Tabel 1. Jenis Kesalahan Konsep yang Dialami Mahasiswa**

Sub-Topik	Kesalahan konsep	%	Premis
Perbandingan titik leleh	I.a. Peristiwa meleleh dipengaruhi oleh energi ikatan kovalen yang rendah dan adanya pemutusan ikatan	46,67%	Karena titik leleh ikatan kovalen relative kecil maka atom-atom yang saling berikatan mudah terlepas atau terurai
		46,67%	Ikatan molekulnya (ikatan kovalen) lemah mudah meleleh
	I.b. peristiwa peruraian disamakan dengan pelelehan	40%	Sebaliknya ikatan ion yang memiliki titik leleh yang tinggi dikarenakan ikatan antar atom pada ikatan ion sangat kuat sehingga sulit untuk <b>diuraikan atau dilelehkan</b>
	I.c. titik leleh sebagai sifat intensif	13%	Titik leleh suatu senyawa dipengaruhi pada temperatur awal senyawa tersebut. Terjadi perbedaan hasil pengamatan disebabkan karena

Sub-Topik	Kesalahan konsep	%	Premis
	dipengaruhi oleh faktor eksternal		perbedaan suhu ruang dalam melakukan percobaan
Kelarutan	2.a. Hubungan kepolaran senyawa dengan pelarut	46,67%	Senyawa yang dapat larut baik dalam pelarut air maupun pelarut CCl <sub>4</sub> disebabkan karena senyawa tersebut jadi bersifat ionik terhadap pelarutnya dimana pelarut tersebut termasuk dalam pelarut polar. Sedangkan senyawa yang tidak larut dengan pelarut adalah karena senyawa tersebut menjadi bersifat kovalen sehingga sangat sulit untuk senyawa berinteraksi dengan pelarut yang sifatnya polar.
		13,34%	Senyawa kovalen tidak dapat larut dalam pelarut air karena senyawa kovalen tidak dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen. Senyawa ion dapat larut dalam air karena dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen
		6,67%	Hal ini dikarenakan umumnya senyawa kovalen kurang begitu polar sehingga cenderung larut dalam pelarut non-polar
	2.b. Sifat polar dan non-polar senyawa	6,67%	Pada umumnya senyawa kovalen bersifat polar dan senyawa ion bersifat non-polar. Sehingga seharusnya urea, KI, NaCl larut dalam air karena sama-sama bersifat polar. Sedangkan naftalena dan MgSO <sub>4</sub> larut dalam CCl <sub>4</sub> karena sama-sama bersifat non polar.
		20%	senyawa seperti KI dan NaCl adalah senyawa polar
	2.c. Proses kelarutan dengan interaksi ion dan pelarut	26,67%	senyawa kovalen umumnya larut dalam senyawa non-polar seperti naftalena dan isoamil alkohol. Hal ini disebabkan karena beberapa molekul pelarut menghadap elektroda elektroda negatif untuk ion positif dan beberapa molekul pelarut menghadap elektroda positif untuk ion negatif. Akhirnya ion-ion terpisah.
		20%	Senyawa-senyawa ion larut dalam pelarut polar karena dipol-dipolnya yang tidak saling meniadakan dan sukar larut dalam CCl <sub>4</sub> sebagai pelarut non-polar akibat dari dipol-dipolnya yang saling meniadakan.
	2.d. Kelarutan senyawa kovalen dalam pelarut air	6,67%	Pada umumnya senyawa Kovalen yang ditambahkan dengan air tidak larut, sedangkan apabila ditambahkan dengan CCl <sub>4</sub> yang merupakan pelarut non-polar, senyawa itu akan larut
		20%	Senyawa kovalen tidak dapat larut dalam pelarut air karena senyawa kovalen tidak dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen.

Sub-Topik	Kesalahan konsep	%	Premis
	2.e. Pengaruh panjang rantai terhadap sifat kepolaran	6,67%	tingkat kepolaran isoamil rendah serta rantai karbon isoamil tidak terlalu panjang untuk larut dalam air

Selanjutnya, beberapa kesalahan konsep yang memiliki kemiripan akan dibahas bersama dalam uraian berikut.

### **Kesalahan Konsep pada Topik Perbandingan Titik Leleh**

Praktikum topik perbandingan titik leleh bertujuan untuk melihat titik leleh dari suatu senyawa. Pada praktikum ini digunakan beberapa senyawa, seperti urea, naftalena, NaCl, KI dan MgSO<sub>4</sub>.

#### **a. Peristiwa meleleh dipengaruhi oleh energi ikatan kovalen yang rendah dan adanya pemutusan ikatan**

Mahasiswa sering salah memahami hubungan antara titik leleh dan kekuatan ikatan kovalen, seperti yang terlihat 46,67% mahasiswa yang menjelaskan bahwa “Karena titik leleh ikatan kovalen relatif kecil maka atom-atom yang saling berikatan mudah terlepas atau terurai.” Pernyataan ini menunjukkan bahwa mahasiswa keliru menganggap titik leleh ditentukan oleh kekuatan ikatan kovalen antar atom, padahal yang mempengaruhi titik leleh senyawa kovalen adalah gaya antarmolekul (seperti van der Waals, dipol-dipol, atau ikatan hidrogen) yang menghubungkan molekul-molekulnya (Henderleiter et al., 2001a). Sebagai contoh, molekul air (H<sub>2</sub>O) memiliki ikatan kovalen yang sangat kuat di dalam molekulnya, tetapi titik leleh dan titik didihnya relatif rendah karena gaya antarmolekulnya lebih lemah dibandingkan gaya yang ada pada senyawa ionik (Schivell, 2022). Hal ini menegaskan bahwa titik leleh mencerminkan interaksi antarmolekul, bukan kekuatan ikatan intramolekul.

Kesalahan serupa terlihat dari pernyataan 46,67% mahasiswa lain yang mengatakan, “Ikatan molekulnya (ikatan kovalen) lemah mudah meleleh,” yang mencerminkan anggapan bahwa pelelehan melibatkan pemutusan ikatan kovalen dalam molekul. Padahal, pelelehan senyawa kovalen molekular tidak melibatkan pemutusan ikatan kovalen di dalam molekul, melainkan pemutusan gaya antarmolekul yang relatif lemah, seperti gaya van der Waals atau ikatan hidrogen. Ikatan kovalen intramolekul yang sangat kuat tetap utuh selama proses pelelehan. Misalnya, dalam molekul air, ikatan kovalen antar atom hidrogen dan oksigen tetap tidak terpengaruh, sedangkan titik leleh dan titik didih ditentukan oleh kekuatan ikatan hidrogen antarmolekul.

Ketidaktepatan pemahaman ini menunjukkan bahwa mahasiswa tidak membedakan antara gaya intramolekul dan antarmolekul dalam senyawa kovalen. Pemahaman yang keliru ini juga menyebabkan mahasiswa salah menginterpretasikan proses fisik seperti pelelehan dan tidak menyadari bahwa titik leleh lebih dipengaruhi oleh interaksi antarmolekul dibandingkan kekuatan ikatan kovalen itu sendiri. Akibatnya, mahasiswa gagal menghubungkan sifat mikroskopis molekul dengan sifat makroskopis senyawa secara tepat. Sebagai contoh, seorang mahasiswa melakukan percobaan sederhana

dengan membandingkan titik leleh es ( $H_2O$ ) dan garam dapur ( $NaCl$ ). Mahasiswa tersebut menyimpulkan bahwa es memiliki titik leleh rendah karena "ikatan kovalen dalam molekul air itu lemah." Dalam hal ini, mahasiswa mengabaikan peran gaya antarmolekul, seperti ikatan hidrogen, yang sebenarnya menentukan titik leleh es (Henderleiter et al., 2001a; Schivell, 2022). Akibatnya, mahasiswa salah memahami bahwa pelelehan es melibatkan pemutusan ikatan antar atom hidrogen dan oksigen dalam molekul air, padahal ikatan tersebut tetap utuh selama proses pelelehan. Kesalahan ini menunjukkan kurangnya pemahaman mahasiswa tentang hubungan antara interaksi mikroskopis (gaya antarmolekul) dengan sifat fisik makroskopis (titik leleh).

#### **b. Menganggap bahwa peruraian sama dengan pelelehan**

Mahasiswa sebanyak 40% menyebutkan bahwa "Sebaliknya ikatan ion yang memiliki titik leleh yang tinggi dikarenakan ikatan antar atom pada ikatan ion sangat kuat sehingga sulit untuk **diuraikan atau dilelehkan**". Pernyataan ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki pemahaman yang tidak tepat tentang sifat senyawa ionik, khususnya mengenai struktur dan interaksi antar ion. Titik leleh tinggi pada senyawa ionik, seperti natrium klorida ( $NaCl$ ), sebenarnya disebabkan oleh kekuatan interaksi elektrostatik yang kuat antara ion-ion positif dan negatif dalam kisi kristalnya, bukan karena kekuatan "ikatan antar atom," yang merupakan terminologi keliru untuk senyawa ionik. Dalam senyawa ionik, ion-ion membentuk struktur kisi tiga dimensi yang stabil, dan energi yang diperlukan untuk melepaskan ion-ion tersebut dari kisi (energi kisi) sangat besar, sehingga menyebabkan titik leleh yang tinggi.

Selain itu, mahasiswa sering kali menyamakan definisi antara konsep "diuraikan" dan "dilelehkan." Dalam proses "dilelehkan," senyawa ionik berubah dari fase padat menjadi cair tanpa pemutusan ion-ion; interaksi elektrostatik antara ion-ion dilemahkan oleh energi termal. Sedangkan dalam konteks "diuraikan," istilah ini sering merujuk pada proses pemutusan ikatan kimia dalam reaksi kimia, seperti elektrolisis, di mana ion-ion pada senyawa ionik dapat terurai menjadi atom atau molekul netral melalui reaksi redoks (Kroon et al., 2006). Kesalahan ini menunjukkan bahwa mahasiswa belum memahami perbedaan antara proses fisik (meleleh) dan proses kimia (penguraian senyawa).

Kesalahan konsep ini sering tercermin dalam interpretasi mahasiswa terhadap data eksperimen, misalnya dalam menjelaskan mengapa senyawa ionik memiliki titik leleh yang tinggi atau mengapa larutan elektrolit menghantarkan listrik. Untuk memperbaiki pemahaman ini, diperlukan pendekatan pembelajaran yang eksplisit membahas perbedaan antara sifat fisik dan kimia, serta mendorong mahasiswa untuk menggunakan istilah yang tepat sesuai konteks.

#### **c. Titik leleh sebagai sifat intensif dipengaruhi oleh faktor eksternal**

Sebagian mahasiswa sebanyak 13% menjelaskan bahwa "Titik leleh suatu senyawa dipengaruhi oleh temperatur awal senyawa tersebut" dan "Terjadi perbedaan hasil pengamatan disebabkan karena perbedaan suhu ruang dalam melakukan percobaan.

Pernyataan ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki pemahaman yang tidak tepat tentang sifat intensif titik leleh. Titik leleh merupakan sifat fisik yang tidak dipengaruhi oleh temperatur awal suatu senyawa, melainkan oleh struktur molekul dan kekuatan interaksi yang ada di dalamnya, seperti gaya antarmolekul pada senyawa kovalen atau gaya elektrostatik pada senyawa ionik. Temperatur awal senyawa hanya mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk mencapai titik leleh, tetapi tidak mengubah nilai titik leleh itu sendiri.

Mahasiswa salah memahami faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengamatan titik leleh. Suhu ruang bukanlah faktor langsung yang mempengaruhi nilai titik leleh suatu senyawa, karena titik leleh ditentukan oleh sifat intrinsik senyawa tersebut. Namun, kondisi eksperimental, seperti laju pemanasan yang tidak konsisten, alat yang tidak terkalibrasi dengan baik, atau kontaminasi sampel, dapat mempengaruhi hasil pengamatan titik leleh.

Mahasiswa yang menyimpulkan bahwa titik leleh dipengaruhi oleh suhu awal senyawa menunjukkan kurangnya pemahaman bahwa titik leleh suatu senyawa adalah nilai tetap yang bergantung pada energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya antarpartikel, seperti gaya elektrostatik dalam kisi ionik atau gaya van der Waals dalam senyawa kovalen molekular (Henderleiter et al., 2001b). Demikian pula, anggapan bahwa perbedaan hasil pengamatan disebabkan oleh suhu ruang mengabaikan faktor-faktor eksperimental yang sebenarnya lebih relevan, seperti laju pemanasan, alat yang tidak terkalibrasi, atau kontaminasi sampel.

Kesalahan ini mencerminkan dua hal utama: pertama, mahasiswa cenderung mencampuradukkan sifat intensif senyawa dengan variabel eksternal; kedua, mahasiswa kurang memahami pentingnya kendali variabel dalam percobaan. Sebagai contoh, jika laju pemanasan terlalu cepat, termometer mungkin tidak mencatat suhu sebenarnya pada saat senyawa mulai meleleh. Kondisi ini dapat menghasilkan data yang tidak akurat, tetapi mahasiswa sering salah menginterpretasikannya sebagai pengaruh suhu ruang atau temperatur awal senyawa.

Mahasiswa sering gagal memahami bahwa variabilitas dalam hasil eksperimen lebih banyak disebabkan oleh faktor teknis dalam pelaksanaan percobaan, bukan oleh sifat intrinsik senyawa (Henderleiter et al., 2001b). Misalnya, jika laju pemanasan terlalu cepat, termometer mungkin tidak mencatat suhu sebenarnya dari senyawa saat meleleh, yang dapat menyebabkan hasil yang tidak akurat. Hal ini sering disalahartikan oleh mahasiswa sebagai pengaruh suhu ruang terhadap hasil pengamatan.

Untuk mengatasi kesalahan konsep ini, penting untuk memberikan pelatihan tentang kendali variabel dalam eksperimen. Mahasiswa harus dilatih untuk mengidentifikasi sumber kesalahan dalam eksperimen mahasiswa dan memahami bagaimana faktor-faktor teknis dapat mempengaruhi hasil, tanpa menyalahartikan perubahan tersebut sebagai sifat dari senyawa yang diuji (Henderleiter et al., 2001b).

### **Kesalahan Konsep untuk Topik Kelarutan**

Praktikum topik kelarutan bertujuan untuk melihat kelarutan suatu zat dalam pelarut tertentu. Pada topik kelarutan, mahasiswa diminta untuk membandingkan kelarutan antara senyawa ionik ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{MgSO}_4$ ) dan senyawa kovalen (naftalena dan amil alokohol) dengan menggunakan 2 pelarut yang

berbeda. Pelarut yang digunakan adalah air (pelarut polar) dan  $\text{CCl}_4$  (pelarut non-polar).

#### **a. Hubungan kepolaran senyawa dengan pelarut**

Premis pertama yang dijelaskan oleh 46,67% mahasiswa menunjukkan kesalahan konsep yang dialami oleh mahasiswa mengenai hubungan antara kepolaran senyawa dan pelarut dalam proses kelarutan. Prinsip dasar "like dissolves like" menjadi acuan utama dalam memahami peristiwa kelarutan, di mana senyawa polar cenderung larut dalam pelarut polar, sedangkan senyawa non-polar cenderung larut dalam pelarut non-polar. Namun, mahasiswa keliru memahami bahwa sifat dasar senyawa dapat berubah sesuai pelarutnya, seperti menganggap senyawa menjadi ionik saat larut dalam pelarut polar dan menjadi kovalen saat larut dalam pelarut non-polar. Pemahaman ini salah karena sifat dasar senyawa, baik itu ionik maupun kovalen, tidak berubah dalam proses kelarutan. Sebaliknya, kelarutan dipengaruhi oleh interaksi antara molekul pelarut dan zat terlarut tanpa mengubah sifat intramolekul senyawa tersebut.

Di sisi lain, 13,34% mahasiswa menjelaskan "Senyawa kovalen tidak dapat larut dalam pelarut air karena senyawa kovalen tidak dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen" dan "senyawa ion dapat larut dalam air karena dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen". Hal ini menunjukkan salah satu kesalahan signifikan yang menganggap bahwa senyawa ionik larut dalam air karena dapat "berikatan" dengan hidrogen dan oksigen dalam molekul air. Proses pelarutan senyawa ionik sebenarnya terjadi melalui interaksi ion-dipol, di mana molekul air yang bersifat polar menstabilkan ion-ion positif dan negatif dengan ujung oksigen (negatif) menarik kation, sedangkan ujung hidrogen (positif) menarik anion. Proses ini disebut hidrasi ion, yang hanya melibatkan interaksi fisik tanpa pembentukan ikatan kimia baru. Kesalahan konsep ini terjadi ketika mahasiswa mengalami kesalahpahaman bahwa pelarutan senyawa ionik melibatkan pembentukan ikatan baru dengan molekul pelarut, bukan interaksi fisik (Dhindsa & Treagust, 2014).

6,67% mahasiswa menyebutkan bahwa "Hal ini dikarenakan umumnya senyawa kovalen kurang begitu polar sehingga cenderung larut dalam pelarut non-polar". Kesalahan konsep ini muncul ketika mahasiswa menyatakan bahwa semua senyawa kovalen "kurang begitu polar" sehingga hanya larut dalam pelarut non-polar. Pernyataan ini tidak sepenuhnya benar karena senyawa kovalen memiliki variasi kepolaran. Senyawa kovalen polar, seperti etanol dan sukrosa, larut dalam pelarut polar seperti air karena ikatan hidrogen atau interaksi dipol-dipol yang terjadi. Sebaliknya, senyawa kovalen non-polar, seperti naftalena, lebih larut dalam pelarut non-polar karena adanya gaya London atau dispersi yang dominan. Kesalahan konsep ini menunjukkan bahwa mahasiswa cenderung melakukan generalisasi yang tidak tepat terhadap sifat kovalen (Zwyssig, 2023). Mahasiswa sering melakukan generalisasi yang tidak tepat bahwa semua senyawa kovalen kurang polar dan cenderung larut dalam pelarut non-polar.

### **b. Sifat polar dan non-polar senyawa**

Mahasiswa sebanyak 6,67% menyebutkan bahwa “pada umumnya senyawa kovalen bersifat polar dan senyawa ion bersifat non-polar”. Kesalahan konsep ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki pemahaman yang salah tentang hubungan antara polaritas senyawa dan sifat ionik atau kovalen. Salah satu kesalahan signifikan adalah generalisasi bahwa senyawa ionik bersifat non-polar dan senyawa kovalen bersifat polar. Pandangan ini bertentangan dengan konsep dasar kepolaran senyawa, yang tidak hanya bergantung pada jenis ikatan tetapi juga pada distribusi muatan dalam molekul. Kepolaran suatu molekul ditentukan oleh perbedaan elektronegativitas antara atom-atom yang berikatan dan geometri molekul, yang mempengaruhi distribusi momen dipol. Sebagai contoh, NaCl adalah senyawa ionik yang sangat polar karena interaksi elektrostatis antara ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ , sementara  $\text{CO}_2$ , meskipun memiliki ikatan kovalen polar, bersifat non-polar karena momen dipolnya saling meniadakan akibat geometri molekul yang linear.

Sebanyak 20% mahasiswa mengalami kesalahan konsep dalam menyatakan bahwa senyawa seperti KI dan NaCl adalah senyawa polar, tanpa memahami konteks polaritas, menunjukkan bahwa mahasiswa belum memahami perbedaan antara interaksi elektrostatis dalam senyawa ionik dan momen dipol dalam molekul kovalen polar. Senyawa ionik seperti NaCl dan KI tidak memiliki momen dipol seperti molekul kovalen polar, tetapi mahasiswa bersifat polar karena ion-ionnya terpisah (*dissociate*) dalam larutan air dan membentuk interaksi ion-dipol dengan molekul pelarut (Rachuru & Vandanapu, 2020). Kesalahan konsep ini juga menunjukkan bahwa mahasiswa sering kali mencampuradukkan sifat ionik dengan kepolaran, padahal keduanya merupakan konsep yang berbeda. Kepolaran biasanya terkait dengan molekul kovalen, sedangkan sifat ionik lebih relevan dengan interaksi antar ion dalam senyawa ionik.

Kesalahan ini juga dapat dilihat dari klaim bahwa senyawa kovalen bersifat polar dan senyawa ionik bersifat non-polar. Pemahaman ini keliru karena baik senyawa kovalen maupun ionik dapat bersifat polar atau non-polar tergantung pada struktur dan distribusi muatannya. Kesalahan ini dapat menghambat pemahaman mahasiswa dalam memprediksi sifat fisik dan kimia senyawa, seperti kelarutan, titik didih, dan konduktivitas listrik. Sebagai contoh, jika mahasiswa salah menganggap bahwa semua senyawa kovalen bersifat polar, mahasiswa mungkin kesulitan memahami mengapa naftalena (senyawa kovalen non-polar) larut dalam pelarut non-polar seperti  $\text{CCl}_4$ , tetapi tidak dalam air. Sebaliknya, jika mahasiswa salah menganggap senyawa ionik bersifat non-polar, mahasiswa mungkin gagal memahami mengapa senyawa seperti NaCl larut dalam air tetapi tidak dalam pelarut non-polar.

### **c. Proses kelarutan dengan interaksi ion dan pelarut**

Berdasarkan premis pertama pada kesalahan konsep ini yang dijelaskan oleh 26,67% mahasiswa, menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki pemahaman yang

keliru mengenai proses kelarutan, terutama terkait dengan peran interaksi antarmolekul dalam melarutkan senyawa ionik dan kovalen. Salah satu kesalahan utama adalah anggapan bahwa senyawa kovalen larut dalam pelarut non-polar seperti naftalena dan isoamil alkohol karena molekul pelarut berinteraksi dengan ion-ion melalui orientasi elektroda (kutub positif atau negatif). Pandangan ini tidak hanya salah secara teoretis tetapi juga menunjukkan kesalahan dalam membedakan antara mekanisme pelarutan senyawa ionik dan kovalen (Salame & Nikolic, 2020).

Proses pelarutan senyawa ionik dalam pelarut polar seperti air terjadi melalui interaksi ion-dipol. Molekul air, yang bersifat polar, mengelilingi ion-ion positif dan negatif, sehingga ion-ion tersebut terpisah (*dissociate*) dari kisi kristalnya. Molekul air menstabilkan ion-ion ini melalui orientasi dipolnya: ujung oksigen (negatif) mengelilingi kation, sementara ujung hidrogen (positif) mengelilingi anion. Sebaliknya, senyawa kovalen non-polar seperti naftalena larut dalam pelarut non-polar seperti  $\text{CCl}_4$  karena adanya gaya London (gaya dispersi) yang mendominasi interaksi antara molekul-molekulnya. Oleh karena itu, klaim bahwa pelarutan senyawa kovalen melibatkan interaksi elektrostatik seperti pada senyawa ionik adalah salah.

Kesalahan lainnya dalam kelompok ini adalah pandangan bahwa senyawa ionik tidak larut dalam pelarut non-polar karena "dipol-dipolnya saling meniadakan." Konsep ini menunjukkan kebingungan mahasiswa antara interaksi ion-dipol dalam pelarut polar dengan tidak adanya interaksi elektrostatik yang signifikan dalam pelarut non-polar. Senyawa ionik seperti  $\text{NaCl}$  tidak larut dalam pelarut non-polar seperti  $\text{CCl}_4$  karena pelarut non-polar tidak memiliki momen dipol yang cukup untuk memisahkan ion-ion dalam kisi kristal. Dalam pelarut non-polar, interaksi antar ion lebih kuat daripada interaksi yang mungkin terbentuk dengan pelarut, sehingga ion-ion tetap berada dalam struktur kristalnya.

Kesalahan-kesalahan ini menunjukkan bahwa mahasiswa gagal memahami mekanisme dasar pelarutan, yang bergantung pada jenis interaksi yang terjadi antara zat terlarut dan pelarut (Burrows & Mooring, 2015). Dalam senyawa ionik, kelarutan ditentukan oleh energi hidrasi (interaksi ion-dipol) yang harus cukup besar untuk mengatasi energi kisi kristal. Dalam senyawa kovalen, kelarutan lebih dipengaruhi oleh gaya antarmolekul seperti gaya dispersi, ikatan hidrogen, atau interaksi dipol-dipol (Rachuru & Vandanapu, 2020). Dengan demikian, mekanisme pelarutan senyawa ionik dan kovalen tidak dapat disamakan.

#### **d. Kelarutan senyawa kovalen dalam pelarut air**

Sebagian mahasiswa sebanyak 6,67% menjelaskan bahwa "pada umumnya senyawa Kovalen yang ditambahkan dengan air tidak larut, sedangkan apabila ditambahkan dengan  $\text{CCl}_4$  yang merupakan pelarut non-polar, senyawa itu akan larut", dan sebagian mahasiswa lainnya menjelaskan bahwa "Senyawa kovalen tidak dapat larut dalam pelarut air karena senyawa kovalen tidak dapat berikatan dengan hidrogen dan oksigen". Kesalahan konsep ini mencerminkan pemahaman mahasiswa yang kurang

mendalam tentang mekanisme pelarutan senyawa kovalen dalam pelarut polar, seperti air, dan pelarut non-polar, seperti karbon tetraklorida ( $\text{CCl}_4$ ). Salah satu kesalahan signifikan adalah anggapan bahwa senyawa kovalen tidak larut dalam air karena tidak dapat "berikatan" dengan hidrogen dan oksigen dalam molekul air. Pemahaman ini salah karena kelarutan senyawa kovalen dalam air tidak melibatkan pembentukan ikatan kimia baru, melainkan interaksi fisik seperti ikatan hidrogen atau interaksi dipol-dipol. Sebagai contoh, senyawa kovalen polar seperti gula larut dalam air karena gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ ) dalam molekul gula dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, memfasilitasi proses pelarutan.

Kesalahan lain yang dilakukan oleh 20% mahasiswa adalah generalisasi bahwa senyawa kovalen tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut non-polar seperti  $\text{CCl}_4$ . Kesalahan konsep terjadi ketika mahasiswa membuat generalisasi bahwa semua senyawa kovalen larut dalam pelarut non-polar (Burrows & Mooring, 2015). Kalimat tersebut menggarisbawahi salah satu kesalahpahaman umum dalam kimia, yaitu anggapan bahwa sifat kovalen suatu senyawa secara otomatis menentukan kelarutannya. Sifat kovalen hanyalah salah satu aspek dari struktur kimia senyawa, tetapi tidak secara langsung menentukan kelarutannya. Faktor kunci adalah kepolaran molekul dan kemampuannya untuk berinteraksi dengan pelarut tertentu, bukan hanya oleh sifat kovalen atau ioniknya. Pandangan yang mengabaikan kepolaran dapat menyebabkan kesalahan dalam memahami perilaku kelarutan senyawa. Senyawa kovalen polar seperti etanol larut dalam air karena interaksi dipol-dipol dan ikatan hidrogen, sedangkan senyawa kovalen non-polar seperti naftalena lebih larut dalam pelarut non-polar karena gaya dispersi (van der Waals) yang dominan.

Kesalahan ini juga mencerminkan kebingungan mahasiswa dalam membedakan antara ikatan intramolekul (ikatan di dalam molekul) dan interaksi antarmolekul (interaksi antara molekul) (Burrows & Mooring, 2015). Dalam senyawa kovalen polar, interaksi antarmolekul seperti ikatan hidrogen memungkinkan molekul berinteraksi dengan molekul pelarut polar. Sebaliknya, senyawa kovalen non-polar tidak memiliki momen dipol yang signifikan untuk membentuk interaksi yang kuat dengan pelarut polar, sehingga lebih cocok larut dalam pelarut non-polar.

Kesalahan ini dapat menyebabkan mahasiswa kesulitan memahami hubungan antara sifat fisik senyawa, seperti kelarutan, dengan struktur kimia dan kepolaran molekulnya. Sebagai contoh, mahasiswa mungkin tidak dapat menjelaskan mengapa senyawa seperti glukosa larut dalam air, tetapi tidak dalam  $\text{CCl}_4$ , meskipun keduanya adalah senyawa kovalen. Sebaliknya, mahasiswa mungkin salah memahami bahwa senyawa seperti karbon tetraklorida larut dalam pelarut non-polar bukan karena sifat kovalen, tetapi karena sifat non-polarnya.

#### **e. Pengaruh panjang rantai terhadap sifat kepolaran**

Mahasiswa sebanyak 13,34% menyebutkan bahwa “Tingkat kepolaran isoamyl rendah serta rantai karbon isoamyl tidak terlalu Panjang untuk larut dalam air”. Mahasiswa berpikir bahwa diperlukan rantai karbon yang lebih Panjang agar dapat larut di dalam air. Kesalahan konsep ini mencerminkan kurangnya pemahaman siswa mengenai pengaruh panjang rantai karbon terhadap sifat kepolaran suatu senyawa, terutama senyawa organik seperti isoamil alkohol. Pemahaman yang benar adalah bahwa kepolaran suatu senyawa tidak hanya ditentukan oleh keberadaan gugus polar (seperti -OH) tetapi juga oleh panjang rantai karbon non-polar. Isoamil alkohol ( $C_5H_{12}O$ ) adalah molekul dengan sifat amfipatik, yang berarti memiliki bagian polar (gugus hidroksil) dan bagian non-polar (rantai karbon). Gugus hidroksil memungkinkan interaksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen, sementara rantai karbon cenderung menurunkan kepolaran molekul secara keseluruhan karena kontribusi sifat hidrofobiknya.

Kesimpulan bahwa isoamil alkohol memiliki "tingkat kepolaran rendah" tidak sepenuhnya salah, tetapi siswa gagal memahami bahwa penurunan kepolaran tersebut disebabkan oleh kontribusi signifikan dari rantai non-polar yang panjang, bukan karena intrinsik molekul itu sendiri. Kesalahan ini kemungkinan besar terjadi karena siswa belum memahami konsep keseimbangan antara bagian polar dan non-polar dalam molekul. Kepolaran molekul tidak hanya bergantung pada keberadaan gugus polar, tetapi juga pada seberapa dominan sifat polar atau non-polar dalam struktur molekul. Sebagai perbandingan, alkohol dengan rantai karbon yang lebih pendek, seperti metanol ( $CH_3OH$ ) dan etanol ( $C_2H_5OH$ ), lebih mudah larut dalam air karena bagian polar (-OH) mendominasi sifat molekul. Namun, semakin panjang rantai karbon, seperti pada isoamil alkohol atau alkohol berantai panjang lainnya, sifat non-polar menjadi lebih dominan, sehingga kelarutannya dalam air (Rachuru & Vandanapu, 2020)

Kesalahan ini juga menunjukkan kurangnya pemahaman siswa tentang konsep elektronegativitas dan distribusi elektron dalam molekul. Gugus -OH dalam isoamil alkohol bersifat polar karena perbedaan elektronegativitas antara atom oksigen dan hidrogen. Namun, panjang rantai karbon mempengaruhi distribusi keseluruhan elektron dalam molekul, menyebabkan efek hidrofobik yang cukup besar untuk menurunkan kelarutannya dalam air (Ferguson et al., 2009). Siswa mungkin belum diajarkan bagaimana perubahan struktur molekul, seperti penambahan atom karbon dalam rantai dapat mempengaruhi keseimbangan antara sifat polar dan non-polar.

#### **KESIMPULAN**

Berdasarkan data dan pembahasan yang dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa kesalahan konsep yang terjadi pada mahasiswa yang menjadi subjek penelitian ini. 3 kesalahan konsep pada sub-topik perbandingan titik leleh, yaitu: a) Peristiwa meleleh dipengaruhi oleh ikatan

kovalen dan pemutusan ikatan senyawa, b) peristiwa peruraian disamakan dengan pelelehan, dan c) titik leleh sebagai sifat intensif dipengaruhi oleh faktor eksternal. Pada sub-topik kelarutan, terdapat 5 kesalahan konsep, yaitu: a) Hubungan kepolaran senyawa dengan pelarut, b) Sifat polar dan non-polar senyawa, c) Proses kelarutan dengan interaksi ion dan pelarut, d) Kelarutan senyawa kovalen dalam pelarut air, dan e) Pengaruh panjang rantai terhadap sifat kepolaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Burrows, N. L., & Mooring, S. R. (2015). Using concept mapping to uncover students' knowledge structures of chemical bonding concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 53–66. <https://doi.org/10.1039/C4RP00180J>
- Coppo, P. (2017). Lithium Ion Battery Cathode Materials as a Case Study To Support the Teaching of Ionic Solids. *Journal of Chemical Education*, 94(8), 1174–1178. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00569>
- Dániel Gergő, P. (2016). Various challenges of science communication in teaching generation Z: an urgent need for paradigm shift and embracing digital learning. *Opus et Educatio*, 3(6). <https://doi.org/10.3311/ope.146>
- Dhindsa, H. S., & Treagust, D. F. (2014). Prospective pedagogy for teaching chemical bonding for smart and sustainable learning. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15(4), 435–446. <https://doi.org/10.1039/C4RP00059E>
- Emsheimer, P., & Silva, N. L. De. (2011). Preservice Teachers' Reflections on Practice in Relation to Theories. In *A Practicum Turn in Teacher Education* (pp. 147–167). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-711-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-711-0_8)
- Erman, E. (2017). Factors contributing to students' misconceptions in learning covalent bonds. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(4), 520–537. <https://doi.org/10.1002/tea.21375>
- Ferguson, A. L., Debenedetti, P. G., & Panagiotopoulos, A. Z. (2009). Solubility and Molecular Conformations of *n*-Alkane Chains in Water. *The Journal of Physical Chemistry B*, 113(18), 6405–6414. <https://doi.org/10.1021/jp811229q>
- Gouvea, J., Appleby, L., Fu, L., & Wagh, A. (2022). Motivating and Shaping Scientific Argumentation in Lab Reports. *CBE—Life Sciences Education*, 21(4). <https://doi.org/10.1187/cbe.21-11-0316>
- Henderleiter, J., Smart, R., Anderson, J., & Elian, O. (2001a). How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1126. <https://doi.org/10.1021/ed078p1126>
- Henderleiter, J., Smart, R., Anderson, J., & Elian, O. (2001b). How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1126. <https://doi.org/10.1021/ed078p1126>
- Kroon, M. C., Buijs, W., Peters, C. J., & Witkamp, G.-J. (2006). Decomposition of ionic liquids in electrochemical processing. *Green Chem.*, 8(3), 241–245. <https://doi.org/10.1039/B512724F>

- Lahlali, A., Chafiq, N., Radid, M., Atibi, A., El Kababi, K., Srour, C., & Moundy, K. (2023). Students' Alternative Conceptions and Teachers' Views on the Implementation of Pedagogical Strategies to Improve the Teaching of Chemical Bonding Concepts. *International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)*, 13(6), 90–107. <https://doi.org/10.3991/ijep.v13i6.41391>
- Lee, M., & Fortune, A. E. (2013). Do We Need More “Doing” Activities or “Thinking” Activities in the Field Practicum? *Journal of Social Work Education*, 49(4), 646–660. <https://doi.org/10.1080/10437797.2013.812851>
- Mufidah, M., Sadiani, N., Akina, A., Nuraini, N., & Khairunnisa, K. (2023). Analysis of Conceptual, Factual, Principle, and Skill Errors Based on Students' Thinking Ability: How is it Connected to Science Learning? *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 3815–3823. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.3209>
- Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459. <https://doi.org/10.1021/ed066p459>
- Rachuru, S., & Vandnapu, J. (2020). Do phase transition temperatures  $T_{mp}$  and  $T_{bp}$  obey linear free energy relationships? *Journal of Molecular Liquids*, 302, 112496. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112496>
- Rini, E. F. S., & Aldila, F. T. (2023). Practicum Activity: Analysis of Science Process Skills and Students' Critical Thinking Skills. *Integrated Science Education Journal*, 4(2), 54–61. <https://doi.org/10.37251/isej.v4i2.322>
- Salame, I. I., & Nikolic, D. (2020). Examining Some of the Challenges Students Face in Learning about Solubility and the Dissolution Process. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 17(3), e2237. <https://doi.org/10.21601/ijese/9333>
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The Quality of Students' Use of Evidence in Written Scientific Explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci2301\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci2301_2)
- Schivell, A. (Mandy) E. (2022). Electron Location, Location, Location: Understanding Biological Interactions. *CourseSource*, 9. <https://doi.org/10.24918/cs.2022.6>
- Shtepura, A. (2022). Main Characteristics and Stereotypes of Generation Z: Analysis of Foreign Experience. *Comparative Professional Pedagogy*, 12(1), 86–93. [https://doi.org/10.31891/2308-4081/2022-12\(1\)-9](https://doi.org/10.31891/2308-4081/2022-12(1)-9)
- Üce, M., & Ceyhan, İ. (2019). Misconception in Chemistry Education and Practices to Eliminate Them: Literature Analysis. *Journal of Education and Training Studies*, 7(3), 202. <https://doi.org/10.11114/jets.v7i3.3990>
- von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101–131. <https://doi.org/10.1002/tea.20213>
- Wang, C.-Y., & Barrow, L. H. (2013). Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape

and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(1), 130–146. <https://doi.org/10.1039/C2RP20116J>

Zwysig, A. (2023). Molecules Are Not Enough! Overcoming Students' Overgeneralization Tendencies by Comparing and Contrasting. *CHIMIA*, 77(10), 679–682. <https://doi.org/10.2533/chimia.2023.679>