



Small-Scale Chemistry Workshop on Organic Chemistry Experiments for High School Teachers in Greater Bandung

[Pelatihan Kimia Skala Kecil pada Eksperimen Kimia Organik bagi Guru SMA se-Bandung Raya]

Vidia Afina Nuraini^{1*}, Amelinda Pratiwi¹, Asep Kadarohman²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung (40154), Indonesia

²Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung (40154), Indonesia

ABSTRAK

Pelaksanaan praktikum kimia di tingkat sekolah seringkali menemui beberapa kendala, diantaranya keterbatasan alat, bahan, ruang laboratorium, waktu eksperimen, serta kompetensi guru. Eksperimentasi kimia skala kecil menawarkan solusi yang efektif terhadap permasalahan tersebut, sekaligus memberikan manfaat yang luas baik dari segi ekonomi, lingkungan, maupun pedagogis. Walaupun banyak memberikan manfaat, pendekatan kimia skala kecil masih belum banyak diketahui baik oleh guru maupun peserta didik. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian masyarakat ini dilakukan untuk memperkenalkan kimia skala kecil melalui pelatihan eksperimen kimia dengan menggunakan kit kimia organik skala mikro. Sebanyak 24 guru sekolah menengah atas (SMA) se-Bandung Raya mengikuti kegiatan pelatihan yang diselenggarakan di Laboratorium Kimia Organik dan Biokimia, Universitas Pendidikan Indonesia. Pada kegiatan ini, peserta melaksanakan dua eksperimen kimia organik secara berkelompok, yaitu sintesis dibenzalaseton dan tersier butil klorida. Dampak kegiatan pelatihan ini dievaluasi melalui wawancara singkat terhadap peserta. Melalui pelatihan ini, peserta berhasil mensintesis dan melakukan karakterisasi senyawa organik yang ditargetkan, walaupun dalam skala kecil. Kegiatan pelatihan ini mendapatkan tanggapan yang positif karena dapat menambah wawasan peserta dan menghadirkan pengalaman baru dalam melaksanakan eksperimen kimia skala kecil. Pelatihan ini turut memperluas pemahaman peserta mengenai peran kit skala mikro dalam mendukung penerapan kimia hijau.

ABSTRACTS

The implementation of chemistry practicums in schools often encounters several challenges, such as inadequate equipment, materials, laboratory space, experiment time, and teachers' competence. Small-scale chemistry (SSC) experimentation offers effective solutions to these issues while delivering numerous advantages in economic, environmental, and pedagogical aspects. However, despite these benefits, the SSC approach remains unfamiliar to many teachers and students. To bridge this gap, this community service initiative was carried out to introduce SSC through a workshop on chemistry experiments using a microscale organic kit. Twenty-four high school teachers from Greater Bandung participated in the workshop, which was held at the Organic and Biochemistry Laboratory of Universitas Pendidikan Indonesia. During the session, participants conducted two group-based organic chemistry experiments: the synthesis of dibenzalacetone and the preparation of tertiary butyl chloride. The workshop's impact was evaluated through brief interviews with the participants. Through this

INFO ARTIKEL

Diterima: 26 Oktober 2025
Direvisi: 5 November 2025
Disetujui: 21 November 2025
Terpublikasi *online*: 1
Desember 2025

Kata Kunci:

Kimia hijau
Kimia organik
Kimia skala kecil
Kit kimia organik skala
mikro

Keywords:

Green chemistry
Organic chemistry
Small-scale chemistry
Organic microscale kit

workshop, participants successfully synthesized and characterized the target organic compounds, even at a reduced scale. This initiative received positive feedback from participants, enhancing their knowledge and providing new experiences in conducting SSC experiments. Additionally, the workshop offered insights into how the microscale kit supports green chemistry practices.

✉ Alamat korespondensi:

Program Studi Kimia, FPMIPA, UPI
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung (40154)
E-mail: v.nuraini@upi.edu

p-ISSN 2830-490X

e-ISSN 2830-7178

Pendahuluan

Kegiatan praktikum di laboratorium merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pembelajaran kimia pada kurikulum tingkat sekolah dan perguruan tinggi (Mardhiya & Laila, 2022). Kegiatan praktikum dinilai dapat meningkatkan pemahaman siswa terkait konsep-konsep kimia (Lunetta et al., 2007), mendorong kemampuan berkolaborasi dan berkomunikasi, serta meningkatkan minat terhadap kimia (Hofstein & Lunetta, 2004). Namun, pelaksanaan praktikum kimia khususnya di tingkat sekolah banyak mengalami kendala diantaranya waktu eksperimen yang terbatas, peralatan dan bahan-bahan kimia yang tidak memadai, terbatasnya kompetensi guru, dan kurang optimalnya manajemen laboratorium (Mardhiya & Laila, 2022).

Kimia skala kecil (*small-scale chemistry*) merupakan proses pelaksanaan praktikum kimia dengan skala yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan pendekatan laboratorium konvensional. Melalui pendekatan kimia skala kecil, eksperimen tetap dapat dilaksanakan seperti halnya pada metode konvensional, namun jumlah bahan kimia yang digunakan jauh lebih sedikit hingga 1000 kalinya (Tesfamariam et al., 2017). Selain itu, pendekatan ini memberikan beberapa keuntungan lain, diantaranya menghemat biaya dan waktu, meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium, serta bersifat lebih ramah lingkungan (Albert et al., 2012; Tesfamariam et al., 2017; Ruiz Botella & Ibáñez, 2020). Pendekatan kimia skala kecil juga menawarkan solusi atas berbagai permasalahan yang dihadapi oleh guru, seperti terbatasnya waktu dan ruang laboratorium, kurangnya asisten laboratorium, kekhawatiran terhadap bahaya bahan-bahan kimia, serta kurangnya kepercayaan diri selama pelaksanaan praktikum (Tesfamariam et al., 2017). Pendekatan praktikum skala kecil ini memungkinkan guru untuk melakukan pengawasan eksperimen yang lebih intensif dan sangat sesuai diterapkan di sekolah-sekolah dengan tingkat fasilitas laboratorium yang beragam (Tantayanon et al., 2025). Dengan demikian, penerapan kimia skala kecil menjadikan praktikum kimia lebih mudah diakses dan dikontrol baik oleh guru maupun peserta didik (Tesfamariam et al., 2017; Kimel et al., 1998).

Kimia skala kecil juga sejalan dengan prinsip-prinsip kimia hijau, yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat berbagai proses kimia. Pendekatan ini mendukung keberlanjutan dalam pendidikan kimia dengan mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia dan produksi limbah (Duarte et al., 2017). Selain aspek ekonomi, lingkungan, dan keamanan, kimia skala kecil juga menawarkan berbagai manfaat ditinjau dari aspek pedagogis, diantaranya 1) mendorong pembelajaran kolaboratif, 2) meningkatkan kepercayaan diri peserta didik dalam menangani bahan-bahan kimia dalam jumlah kecil, 3) memungkinkan peserta didik untuk melakukan aktivitas laboratorium karena praktikum skala kecil berlangsung lebih cepat, 4) menanamkan kesadaran dan tanggung jawab terhadap penggunaan sumber daya secara bijak, serta 5) meningkatkan partisipasi aktif peserta didik karena praktikum skala kecil dinilai lebih menyenangkan (Mafumiko, 2008). Lebih jauh lagi, pendekatan kimia skala kecil lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep kimia (Tesfamariam et al., 2017; Urbano et al., 2022).

Berbagai studi telah menunjukkan efektivitas pendekatan kimia skala kecil yang diintegrasikan salah satunya dengan pembelajaran berbasis inkuiri dalam meningkatkan capaian pembelajaran peserta didik. Supasorn (2015) melaporkan bahwa praktikum kimia skala kecil dengan menggunakan model kit yang diimplementasikan melalui pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri 5E (*engagement, exploration, explanation, elaboration, evaluation*) mampu meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik terkait materi elektrokimia dan model mental sel galvanik. Berdasarkan studi terhadap 50 orang guru dari Thailand, Filipina, dan Srilanka, praktikum kimia skala kecil telah berhasil diintegrasikan pada pendidikan STEM dan secara efektif dapat menjembatani pembelajaran di dalam kelas dengan aplikasi praktis, meningkatkan

literasi STEM, kesadaran akan lingkungan dan keberlanjutan, serta mendukung pengembangan kemampuan abad 21 (Tantayanon *et al.*, 2025). Studi lain menunjukkan bahwa praktikum kimia skala kecil yang diintegrasikan dengan prinsip-prinsip kimia hijau dapat menjadi inovasi baru dalam mempelajari topik elektrokimia dan indikator asam-basa bagi peserta didik jenjang sekolah menengah atas (Listyarini *et al.*, 2019) serta dapat diterapkan pada pembelajaran praktikum kimia dasar yang meliputi topik penentuan orde reaksi, observasi pergeseran kesetimbangan kimia, penentuan kekuatan asam, dan elektrolisis air (Mardhiya & Laila, 2022). Praktikum kimia skala kecil dengan menggunakan kit juga telah berhasil diimplementasikan untuk mengatasi dan memperbaiki berbagai miskonsepsi melalui pembelajaran yang mendorong perubahan konsep (Du Toit, 2021).

Walaupun telah terbukti banyak memberikan manfaat terhadap pelaksanaan pembelajaran, pendekatan kimia skala kecil belum diketahui secara luas baik oleh para guru maupun peserta didik, khususnya jenjang sekolah menengah atas (Listyarini *et al.*, 2019). Hal ini terutama disebabkan oleh kurangnya pengetahuan, informasi, dan kreativitas yang dimiliki oleh guru (Hidayah *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pendekatan ini perlu disosialisasikan kepada para guru melalui pelatihan eksperimen kimia dengan menggunakan peralatan skala kecil sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan kompetensi guru dan menunjang penerapan kimia hijau di tingkat sekolah.

Metode

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini diselenggarakan di Laboratorium Kimia Organik dan Biokimia, Universitas Pendidikan Indonesia pada tanggal 14 Mei 2024. Kegiatan ini terdiri atas tiga tahapan, yaitu persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi. Tahap persiapan dilakukan dengan memilih jenis eksperimen untuk kegiatan pelatihan, menyusun prosedur eksperimen, dan melakukan uji coba dengan menggunakan *organic microscale kit*.

Pada tahap pelaksanaan, sebanyak 24 guru SMA yang berasal dari wilayah Bandung Raya mengikuti pelatihan kimia skala kecil yang diaplikasikan pada eksperimen kimia organik. Kegiatan diawali dengan pengenalan *organic microscale kit* dan pemaparan urgensi penggunaannya, khususnya dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals*). Selanjutnya, para guru dibekali dengan teori dan prinsip dasar yang berkaitan dengan eksperimen yang akan dilakukan. Terdapat dua topik eksperimen yang dipelajari, yaitu sintesis dibenzalaseton melalui reaksi kondensasi Claisen-Schmidt dan sintesis tersier butil klorida melalui reaksi substitusi nukleofilik orde satu (SN_1). Peserta kemudian dibagi menjadi 10 kelompok, dimana setiap kelompok hanya mengerjakan satu eksperimen sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Selama pelaksanaan eksperimen, para peserta didampingi secara langsung oleh tiga orang dosen Program Studi Kimia UPI, mulai dari cara merangkai alat hingga karakterisasi produk. Tahap evaluasi pelaksanaan kegiatan pelatihan dilakukan melalui wawancara singkat terhadap peserta.

Hasil dan Pembahasan

Organic microscale kit (Gambar 1) yang didesain dan dikembangkan oleh Program Studi Kimia dan Pendidikan Kimia UPI merupakan peralatan gelas berukuran kecil dengan volume maksimum 10 mL yang dapat digunakan terutama untuk eksperimen kimia organik, baik untuk pemisahan maupun pemurnian senyawa organik seperti distilasi, rekristalisasi, dan refluks. Beberapa peralatan tersebut diantaranya labu dasar bulat, labu Erlenmeyer, kondensor Liebig, kondensor Allihn, kolom Vigreux, labu didih leher tiga, gelas kimia, Dean-Stark, dan corong pisah. Untuk menunjang pelaksanaan eksperimen kimia organik, khususnya reaksi yang memerlukan pemanasan atau pengadukan secara konstan, set alat ini dilengkapi pula dengan statif, klem, dan *hot plate magnetic stirrer* berukuran kecil.



Gambar 1. Set alat *organic microscale kit*.

Terdapat dua eksperimen berbeda yang dikerjakan oleh peserta pelatihan, yaitu sintesis dibenzalaseton dengan produk akhir berupa padatan dan sintesis tersier butil klorida dengan produk akhir berwujud cair. Kedua eksperimen ini dipilih karena proses reaksi berlangsung cepat sehingga dapat diselesaikan dalam jangka waktu pelatihan yang terbatas serta produk hasil reaksi mudah diamati dan dikarakterisasi, walaupun volume reagen yang digunakan lebih kecil. Pada eksperimen sintesis dibenzalaseton, peserta diperkenalkan dengan aplikasi reaksi kondensasi Claisen-Schmidt antara gugus keton (aseton) dan aldehid (benzaldehyd) pada kondisi basa. Peserta diharapkan dapat mempelajari teknik rekristalisasi, filtrasi vakum, dan karakterisasi padatan melalui pengukuran titik leleh. Sedangkan, pada eksperimen sintesis tersier butil klorida, peserta diharapkan dapat memahami aplikasi reaksi substitusi nukleofilik yang mengubah gugus fungsi alkohol (tersier butanol) menjadi alkil halida (tersier butil klorida). Melalui eksperimen ini, peserta mempelajari penggunaan corong pisah dalam sintesis senyawa organik, teknik distilasi untuk memurnikan produk hasil reaksi, dan karakterisasi cairan melalui pengukuran indeks bias dengan menggunakan refraktometer. Dengan demikian, para peserta dapat mengeksplorasi penggunaan berbagai alat skala kecil yang tersedia. Selain itu, kedua eksperimen tersebut sangat relevan dengan materi kimia SMA, khususnya mengenai gugus fungsi dan reaksinya.

Prosedur eksperimen sintesis dibenzalaseton dan tersier butil klorida perlu dioptimasi agar sesuai dengan kapasitas alat-alat yang akan digunakan. Dengan demikian, jumlah bahan yang digunakan perlu dikurangi, namun tetap memperhatikan stoikiometri agar reaksi dapat berlangsung dan pembentukan produk dapat teramati. Berdasarkan hasil optimasi, jumlah pereaksi yang digunakan dalam sintesis dibenzalaseton adalah 2 mmol aseton dan 4 mmol benzaldehyd. Sedangkan untuk sintesis tersier butil klorida, digunakan 15,8 mmol tersier butanol yang kemudian dicampurkan dengan HCl pekat sebanyak 4 mL. Adapun total volume semua pereaksi yang digunakan untuk masing-masing eksperimen sebanyak 3,0–5,5 mL.

Pada hari pelaksanaan pelatihan, peserta diperkenalkan terlebih dahulu mengenai jenis-jenis alat yang terdapat pada *organic microscale kit* serta manfaatnya dalam mendukung penerapan kimia hijau. Para peserta terlihat sangat antusias, mengingat sebagian besar dari mereka belum pernah melihat apalagi menggunakan alat-alat berukuran kecil tersebut. Selanjutnya, dua orang dosen Program Studi Kimia UPI menjelaskan teori dan prinsip dasar dari eksperimen yang akan dikerjakan oleh peserta, yaitu reaksi kondensasi Claisen-Schmidt pada sintesis dibenzalaseton serta reaksi substitusi nukleofilik orde 1 (SN_1) pada sintesis tersier butil klorida (Gambar 2). Selain itu, para peserta pun diperlihatkan video penggunaan alat-alat skala kecil, misalnya cara merangkai statif dan klem yang terhubung langsung pada *hot plate magnetic stirrer*, menggunakan corong pisah untuk sintesis tersier butil klorida, dan mencampurkan reagen pada sintesis dibenzalaseton.



Gambar 2. Pengenalan alat-alat *organic microscale kit* dan prinsip dasar eksperimen yang akan dikerjakan pada kegiatan pelatihan.

Setelah sesi pengenalan alat, peserta dibagi menjadi 10 kelompok yang terdiri dari 2-3 orang guru dari sekolah yang berbeda. Setiap kelompok hanya diberikan kesempatan untuk mengerjakan satu eksperimen sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Dengan demikian, lima kelompok peserta melakukan sintesis dibenzalaseton, sedangkan sisanya mencoba eksperimen sintesis tersier butil klorida. Sebelum memulai eksperimen, para peserta berdiskusi dengan dosen pendamping terutama terkait pemilihan alat yang akan digunakan dan hal-hal yang perlu diperhatikan selama eksperimen.

Para peserta terlihat sangat bersemangat ketika mencoba kedua eksperimen sintesis senyawa organik ini, meskipun mereka mengalami sedikit kesulitan saat menggunakan alat-alat dengan ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan alat gelas yang biasa digunakan di sekolah. Saat sintesis dibenzalaseton, para peserta pun tampak lebih berhati-hati dalam mengukur volume reagen, khususnya benzaldehid dan aseton, karena volume yang dibutuhkan sangat kecil, yaitu kurang dari 1 mL. Melalui eksperimen ini, para peserta mendapatkan kesempatan untuk melakukan sintesis senyawa organik pada suhu ruang dengan menggunakan labu dasar bulat dan pengadukan konstan menggunakan *magnetic stirrer*.

Produk dibenzalaseton mudah diamati melalui terbentuknya endapan berwarna kuning, bahkan hanya dalam 15 menit setelah semua reagen dicampurkan. Untuk menyempurnakan reaksi, campuran diaduk selama 1,5 jam. Selanjutnya, peserta diajarkan cara menyaring endapan dengan bantuan pompa vakum, serta memurnikannya dengan metode rekristalisasi. Penyaringan ini menjadi tantangan tersendiri bagi para peserta karena alat saring yang digunakan memiliki diameter yang kecil (± 10 mm). Campuran hasil reaksi dituangkan secara perlahan menggunakan pipet tetes untuk menghindari tumpahan. Selain itu, hal lain yang perlu diperhatikan adalah penggunaan pompa vakum dengan daya hisap yang tidak terlalu tinggi untuk mencegah endapan menembus media saring dan kemungkinan retaknya alat gelas. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa kristal yang diperoleh setiap kelompok memiliki titik leleh dalam rentang 110–112 °C, sesuai dengan titik leleh dibenzalaseton (Houshia *et al.*, 2019). Dengan demikian, para peserta berhasil membuktikan bahwa sintesis dibenzalaseton dapat dilakukan dengan menggunakan *organic microscale kit*. Kegiatan eksperimen ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peserta pelatihan melakukan eksperimen sintesis senyawa organik dengan menggunakan *organic microscale kit*.

Sintesis tersier butil klorida dilakukan dengan mencampurkan *t*-butanol dan HCl pekat dalam corong pisah, kemudian mengocoknya secara berkala selama 20 menit. Para peserta berlatih kembali cara menggunakan corong pisah, terutama karena alat yang digunakan dalam pelatihan ini hanya mampu menampung 5,5 mL cairan. Tantangan lainnya muncul saat memisahkan lapisan asam dan lapisan organik karena batas antarlapisan sangat tipis akibat volume campuran yang sedikit. Pada tahap ini, para peserta perlu berhati-hati agar tidak kehilangan produk, misalnya akibat kebocoran keran corong ataupun terbuangnya lapisan organik saat mengeluarkan lapisan asam yang berada di bagian bawah. Meskipun volume lapisan organik yang diperoleh hanya kurang dari 5 mL, peserta tetap harus mengeringkannya sesuai prosedur dengan menggunakan Na_2SO_4 , kemudian mendekantasinya ke dalam labu dasar bulat untuk dipisahkan dengan metode distilasi sederhana. Selanjutnya, peserta dibimbing dalam merangkai alat distilasi sederhana karena hal ini merupakan pengalaman pertama mereka bekerja dengan alat distilasi skala kecil. Sama seperti saat menggunakan alat gelas berukuran besar, sambungan antarkomponen alat gelas pada set distilasi ini harus dipastikan rapat untuk mencegah keluarnya uap dari sistem. Hal ini secara signifikan dapat mengurangi produk yang dihasilkan, terutama karena cairan yang didistilasi pun hanya sedikit. Peserta juga diajarkan cara memasang termometer pada rangkaian distilasi menggunakan tabung konektor khusus dan potongan selang kecil untuk memastikan agar termometer tersambung rapat.

Proses distilasi ini berlangsung cukup cepat, sehingga peserta dianjurkan untuk memanaskan cairan secara perlahan dan menampung distilat dalam wadah yang diletakkan di atas penangas es. Berdasarkan hasil pengamatan, distilat yang diperoleh setiap kelompok menetes pada rentang suhu 45–50 °C. Hal ini sesuai dengan titik didih dari tersier butil klorida (Valente *et al.*, 2016). Selain pengamatan suhu, karakterisasi produk dilakukan dengan mengukur indeks bias menggunakan refraktometer. Para peserta dipandu dalam menggunakan refraktometer dan membaca skala dengan tepat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa indeks bias distilat yang diperoleh setiap kelompok mendekati indeks bias tersier butil klorida, yaitu sekitar 1,385 (Wohlfarth, 2017). Hal ini mengindikasikan keberhasilan sintesis tersier butil klorida dengan menggunakan *organic microscale kit*.

Persepsi peserta terhadap pelatihan eksperimen kimia skala kecil dikumpulkan melalui wawancara singkat. Peserta menyatakan bahwa kegiatan ini sangat menarik serta memberikan wawasan dan pengalaman baru, terutama karena mereka mendapatkan kesempatan untuk menggunakan alat gelas berukuran kecil untuk melakukan eksperimen kimia organik. Mereka sepakat bahwa penggunaan kit skala

kecil dapat mendukung penerapan prinsip kimia hijau, salah satunya melalui pengurangan jumlah bahan kimia yang digunakan. Selain itu, peserta juga menekankan pentingnya ketelitian dan kehati-hatian dalam menggunakan kit tersebut. Sebagai tindak lanjut, peserta berharap agar eksperimen kimia skala kecil dapat diimplementasikan di sekolah dan pelatihan serupa dapat diikuti langsung oleh siswa.

Simpulan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui pelatihan eksperimen kimia organik skala kecil menuai respons yang positif dari para peserta. Melalui pelatihan ini, peserta mendapatkan wawasan dan pengalaman baru dalam menerapkan teknik sintesis senyawa organik melalui pendekatan skala kecil. Peserta berhasil membuktikan bahwa sintesis senyawa organik, khususnya dibenzalaseton dan tersier butil klorida dapat dilakukan secara efektif dengan memanfaatkan *organic microscale kit*. Pelatihan ini juga memberikan pemahaman kepada peserta mengenai peran kit skala mikro dalam mendukung penerapan prinsip kimia hijau.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Leading University Project for International Cooperation (LUPIC)* melalui *National Research Foundation of Korea (NRF)* yang didanai oleh Kementerian Pendidikan Korea (NRF-2023H1A7A2A02000090) dan Sogang University yang telah mendukung pengadaan *organic microscale kit* yang digunakan pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

Daftar Pustaka

- Albert, D. R., Todt, M. A., & Davis, H. F. (2012). A low-cost quantitative absorption spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1432–1435.
- Du Toit, M. H. (2021). Chemistry for the masses: The value of small scale chemistry to address misconceptions and re-establish practical work in diverse communities. In L. Mammimo & J. Apotheke (Eds.), *Research in Chemistry Education* (pp. 31–55). Springer International Publishing.
- Duarte, R. C. C., Ribeiro, M. G. T. C., & Machado, A. A. S. C. (2017). Reaction scale and green chemistry: microscale or macroscale, which is greener? *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1255–1264.
- Hidayah, F. F., Imaduddin, M., Yuliyanto, E., Gunawan, G., Djunaidi, M. C., & Qomariyah, S. (2023). Strengthening pedagogical content knowledge in designing laboratory activity based on small-scale chemistry practicum approach. *European Journal of Educational Research*, 12(4), 1631–1644.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.
- Houshia, O., Walwil, A., Jumaa, H., Qrareya, H., Daraghmeh, H., Daraghmeh, I., Owies, A., & Qushtom, A. (2019). Assessment of the ratio of geometric isomers of dibenzalacetone spectroscopically. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 31(4), 1–9.
- Kimel, H., Bradley, J. D., Durbach, S., Bell, B., & Mungarulire, J. (1998). Hands-on practical chemistry for all: Why and how? *Journal of Chemical Education*, 75(11), 1406.
- Listyarini, R. V., Pamenang, F. D. N., Harta, J., Wijayanti, L. W., Asy'ari, M., & Lee, W. (2019). The integration of green chemistry principles into small scale chemistry practicum for senior high school students. (2019). *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 8(3), 371–378.
- Lunetta, Vincent & Hofstein, Avi & Clough, Michael. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. *Handbook of Research on Science Education*. 393-441.
- Mafumiko, F. M. S. (2008). The potential of micro-scale chemistry experimentation in enhancing teaching and learning of secondary chemistry: Experiences from Tanzania classrooms. *NUE Journal of International Educational Cooperation*, 3(1), 63–79.
- Mardhiya, J., & Laila, F. N. (2022). Designing small-scale chemistry for general chemistry practical work course. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(6), 3102–3109.
- Ruiz Botella, S., & Ibáñez, S. (2020). Micro-scale experiments in the increasingly fashionable laboratory in high schools. *Science Journal of Education*, 8(5), 128-132.

- Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 393–407.
- Tantayanon, S., Faikhamta, C., Prasoplarb, T., & Panyanukit, P. (2025). Teachers' perceptions and design of small-scale chemistry driven STEM learning activities. *Chemistry Teacher International*, 7(2), 303–317.
- Tesfamariam, G. M., Lykknes, A., & Kvittingen, L. (2017). 'Named small but doing great': An investigation of small-scale chemistry experimentation for effective undergraduate practical work. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(3), 393–410.
- Urbano, R., De Jesus, H., & Dimla, P. (2022). Measuring students' learning and attitude as exposed to microscale laboratory experiments in inorganic chemistry. *International Journal of Education, Teaching, and Social Sciences*, 2(2), 41–51.
- Valente, E., Dias, C., & Constantino, L. (2016). 2.1.1. A SN1 Reaction: Synthesis of *tert*-butyl chloride. In C. A. M. Afonso, N. R. Candeias, D. P. Simão, A. F. Trindade, J. A. S. Coelho, B. Tan, & R. Franzén (Eds.), *Comprehensive Organic Chemistry Experiments for the Laboratory Classroom* (pp. 56–60). The Royal Society of Chemistry.
- Wohlfarth, C. (2017). Refractive index of 2-chloro-2-methylpropane. In M. D. Lechner (Ed.), *Optical Constants* (pp. 150–150). Springer Berlin Heidelberg.