

# Integration of Green Chemistry Principles and Islamic Values in Chemical Laboratory Waste Management to Support the Sustainable Development Goals

Yusbarina<sup>1</sup>, Elvi Yenti<sup>2</sup>, Nur Afriana<sup>3(a)</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, Indonesia Panam,  
Jl. HR. Soebrantas Km. 15 Simpang Baru, Kota Pekanbaru, Riau 28293

<sup>3</sup> Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia  
Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5, Kota Pekanbaru, Riau 28293

Alamat email penulis korespondensi:nur.afriana@lecturer.unri.ac.id

**Abstract.** The management of chemical waste in educational laboratories is a crucial aspect of sustainable chemistry practices. However, many institutions still face challenges in implementing effective waste reduction and environmentally friendly laboratory management. This study aims to develop a conceptual model of chemical waste management based on Green Chemistry principles integrated with Islamic values. The approach emphasizes prevention rather than treatment by applying the 4R concept (Reduce, Reuse, Recycle, and Recovery) in laboratory activities. From an Islamic perspective, environmental care is an act of faith (iman) and a form of human responsibility (khalifah fil ardh) to maintain balance in Allah Subhanahu wa Ta'ala's creation. The integration of Green Chemistry and Islamic ethics fosters students' awareness of safety, environmental stewardship, and moral responsibility in scientific practice. This study highlights the relevance of Islamic values to the Sustainable Development Goals (SDG) 3 — Good Health and Well-being, and SDG 12 — Responsible Consumption and Production. The results suggest that incorporating Islamic ethics into chemical waste management education can strengthen a sustainable laboratory culture and shape environmentally conscious and spiritually responsible future chemists.

**Keywords:** Green Chemistry, Islamic Values, Chemical Waste, SDG 3, SDG 12

## PENDAHULUAN

Laboratorium kimia di perguruan tinggi memiliki peran strategis dalam mendukung proses pendidikan dan penelitian yang berkontribusi pada kemajuan sains dan teknologi. Namun, kegiatan praktikum dan riset di laboratorium juga berpotensi menghasilkan berbagai jenis limbah kimia berbahaya, seperti pelarut organik, logam berat, asam-basa kuat, serta residu padat yang dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia, keselamatan kerja, dan lingkungan apabila tidak dikelola dengan benar (Gupta & Babu, 2020; Prüss-Ustün et al., 2016). Pengelolaan limbah yang kurang optimal dapat menyebabkan pencemaran air, tanah, dan udara, sekaligus meningkatkan beban biaya untuk penanganan dan pembuangan limbah (Kharissova et al., 2019).

Seiring meningkatnya tuntutan global terhadap praktik berkelanjutan, pendekatan *green chemistry* menjadi semakin penting dalam merancang proses kimia yang lebih aman dan ramah lingkungan, termasuk dalam lingkungan pendidikan kimia. Muyassaroh et al. (2020) melaporkan bahwa penerapan prinsip *green chemistry* dalam praktikum mampu meningkatkan

pemahaman mahasiswa, keterampilan laboratorium, dan kesadaran ekologis. Selain itu, program pelatihan manajemen limbah kimia di laboratorium universitas terbukti meningkatkan budaya keselamatan dan keberlanjutan, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian Oliveira, Becker, dan Passos (2021).

Selain aspek teknis, nilai-nilai Islam juga memberikan landasan etika yang kuat dalam pengelolaan limbah. Konsep amanah (tanggung jawab), khalifah (pengelola bumi), dan ṭahārah (kebersihan) menuntun manusia untuk menjaga lingkungan secara bertanggung jawab. Kajian literatur oleh Kamali (2019) menunjukkan bahwa Al-Qur'an menekankan prinsip stewardship lingkungan melalui ajaran khalifah dan keseimbangan (mīzān). Selanjutnya, penelitian Suyanto (2020) menemukan bahwa pengintegrasian nilai-nilai Islam dalam program pengelolaan limbah berbasis 3R pada tingkat komunitas mampu meningkatkan partisipasi masyarakat dan efektivitas program.

Meskipun telah terdapat literatur terkait penerapan *green chemistry* di laboratorium serta kajian tentang nilai Islam dalam pengelolaan lingkungan, penelitian yang menggabungkan kedua pendekatan tersebut dalam konteks laboratorium kimia di perguruan tinggi masih terbatas. Karena itu, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan mengembangkan model pengelolaan limbah kimia yang mengintegrasikan prinsip *green chemistry* dan nilai-nilai Islam, serta mengaitkannya dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 3 (Kehidupan Sehat dan Sejahtera) dan SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab). Upaya ini menegaskan bahwa pembangunan budaya laboratorium yang aman, sehat, dan berkelanjutan bukan hanya tujuan teknis, tetapi juga mencerminkan amanah moral dan spiritual.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan studi kasus di Laboratorium Pendidikan Kimia. Data dikumpulkan melalui observasi aktivitas praktikum, wawancara dengan dosen dan laboran, serta analisis dokumen SOP K3 dan pengelolaan limbah yang telah ada. Selain itu, dilakukan identifikasi potensi penerapan prinsip *green chemistry* pada setiap tahap eksperimen. Analisis data dilakukan secara induktif dengan mengaitkan hasil temuan lapangan dengan prinsip *green chemistry* dan nilai Islam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### **Identifikasi Risiko dan Praktik K3 di Laboratorium Kimia**

Laboratorium kimia merupakan lingkungan pembelajaran dan penelitian yang memiliki

tingkat risiko tinggi karena melibatkan bahan kimia berbahaya, penggunaan peralatan teknis, serta prosedur kerja yang kompleks. Risiko kecelakaan dapat timbul dari berbagai sumber, termasuk bahan kimia toksik, kondisi fisik laboratorium, maupun perilaku pengguna. Oleh karena itu, penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi aspek fundamental dalam menjamin keselamatan personel, melindungi lingkungan, serta menjaga keberlanjutan aktivitas laboratorium (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2011; World Health Organization [WHO], 2014).

Identifikasi risiko di laboratorium kimia secara umum mencakup empat kategori utama. Risiko fisik meliputi bahaya pecahan kaca, paparan listrik, suhu tinggi, dan potensi kebakaran (International Labour Organization [ILO], 2018). Risiko kimia mencakup paparan bahan toksik, korosif, mudah terbakar, oksidator, hingga bahan bersifat karsinogenik yang dapat berdampak akut maupun kronis (OSHA, 2011). Risiko biologi dapat muncul akibat kontaminasi mikroorganisme pada sampel atau permukaan kerja (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2020). Selain itu, risiko ergonomi berkaitan dengan postur kerja yang tidak tepat, penggunaan alat secara berulang, serta tata ruang yang kurang mendukung sehingga dapat menyebabkan cedera muskuloskeletal (ILO, 2018).

Untuk meminimalkan risiko tersebut, setiap praktikan wajib memahami dan mematuhi *Standard Operating Procedures* (SOP) yang berlaku di laboratorium kimia. SOP mencakup penggunaan alat pelindung diri (APD), teknik penanganan bahan kimia, prosedur penanggulangan tumpahan, hingga pengelolaan limbah laboratorium secara aman dan berkelanjutan (American Chemical Society [ACS], 2020). Kepatuhan terhadap SOP bukan hanya memenuhi standar keselamatan, tetapi juga membentuk budaya kerja yang disiplin dan bertanggung jawab di lingkungan laboratorium.

Hasil observasi dan wawancara menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa telah memahami pentingnya penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti jas laboratorium, sarung tangan disposable, dan pelindung mata (*goggles*). Namun, penerapan prosedur K3 masih belum optimal pada tahap penanganan bahan kimia berbahaya dan pembuangan limbah cair. Dari evaluasi SOP, ditemukan bahwa beberapa laboratorium masih menggabungkan limbah organik dan anorganik tanpa pemisahan awal, yang berpotensi meningkatkan risiko reaksi berbahaya dan pencemaran lingkungan. Temuan ini memperkuat penelitian Oliveira et al. (2021) yang menegaskan perlunya pelatihan K3 berkelanjutan untuk membangun budaya keselamatan di laboratorium universitas.

### **Penerapan Prinsip *Green Chemistry* dalam Pengelolaan Limbah Laboratorium Kimia**

Pada laboratorium akademik—terutama laboratorium praktikum—penggunaan bahan kimia dilakukan dalam jumlah kecil tetapi berulang, sehingga akumulasi penggunaan tersebut menghasilkan volume limbah kimia yang cukup besar (Clark, 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kurangnya pelatihan keselamatan laboratorium, lemahnya sistem pemilahan limbah, serta penggunaan reagen yang tidak efisien turut meningkatkan beban limbah yang dihasilkan (Mahaffy et al., 2018). Selain itu, keterbatasan pemahaman mahasiswa dan teknisi mengenai alternatif prosedur eksperimen yang lebih aman dan ramah lingkungan juga menjadi faktor penghambat penerapan praktik laboratorium yang berkelanjutan (Ramos et al., 2021).

Berbagai studi menunjukkan bahwa integrasi konsep keberlanjutan, termasuk *green chemistry*, dalam pembelajaran laboratorium berpotensi mengurangi jumlah limbah hingga lebih dari 50% serta meningkatkan budaya keselamatan dan kepedulian lingkungan di laboratorium pendidikan (Cann & Connelly, 2000; Kirchhoff, 2001). Dengan demikian, penerapan prinsip *green chemistry* menjadi langkah strategis untuk mewujudkan laboratorium yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar kegiatan laboratorium masih menghasilkan limbah yang dapat diminimalkan melalui penerapan prinsip *green chemistry*. *Green chemistry* adalah pendekatan untuk meminimalkan dampak negatif bahan kimia terhadap manusia dan lingkungan. Pada penelitian ini, pendekatan yang digunakan mengadopsi konsep 4R (*Reduce*, *Reuse*, *Recycle*, dan *Recovery*). Pendekatan *Reduce* yaitu mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan sejak tahap awal. Langkah ini paling efektif dan ekonomis karena mencegah terbentuknya limbah dari sumbernya. Hal ini sesuai dengan prinsip *green chemistry Prevention* (pencegahan terbentuknya limbah). Pengolahan limbah memerlukan energi, bahan kimia tambahan, biaya, dan waktu. Mencegah limbah sejak awal mengurangi risiko paparan bahan berbahaya, mengurangi beban pengelolaan limbah cair/padat, mengurangi dampak lingkungan (air, tanah, udara), dan mengurangi biaya operasional laboratorium. Contoh penerapan di laboratorium kimia antara lain: melaksanakan praktikum skala mikro (*microscale experiment*) untuk mengurangi volume bahan kimia yang digunakan, menggunakan alat volumetrik kecil seperti mikropipet atau vial mini, menghitung stoikiometri reaksi secara tepat untuk menghindari kelebihan reagen, dan mengoptimalkan penggunaan bahan habis pakai seperti kertas saring atau tisu laboratorium.

Selain prinsip pencegahan terbentuknya limbah, pendekatan *Reduce* juga sesuai dengan prinsip *green chemistry* pemakaian bahan pelarut dan pembantu yang aman. Pendekatan

*Reduce* menyarankan untuk melakukan substitusi bahan kimia berbahaya dengan bahan aman. Contoh penerapan di laboratorium kimia antara lain: mengganti bahan toksik, mudah terbakar, atau korosif dengan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Misal, mengganti pelarut kloroform dengan etanol atau air; mengganti indikator fenolftalein dengan indikator alami dari ekstrak bunga kembang sepatu.

Pendekatan *Reuse* yaitu memanfaatkan kembali bahan atau peralatan laboratorium tanpa melalui proses pengolahan kimia, selama masih layak dan aman digunakan. Contoh penerapan di laboratorium kimia antara lain: menggunakan kembali botol reagen, gelas beaker, atau pipet setelah dicuci bersih dan dikeringkan; menyimpan larutan buffer, pelarut organik, atau indikator yang masih murni untuk digunakan ulang; menggunakan kain lap laboratorium yang dapat dicuci ulang sebagai pengganti tisu sekali pakai, dan menggunakan wadah pengumpulan limbah berulang kali setelah proses dekontaminasi.

Pendekatan *Recycle* (mendaur ulang) yaitu proses pengolahan kembali bahan kimia atau limbah agar dapat digunakan ulang, baik melalui metode fisika, kimia, maupun biologis. Contoh penerapan di laboratorium kimia antara lain: melakukan destilasi ulang terhadap etanol atau aseton bekas praktikum untuk digunakan sebagai pelarut teknis; melakukan presipitasi atau elektroplating untuk memulihkan logam berat seperti Cu, Zn, atau Fe dari limbah cair; menggunakan kembali padatan katalis setelah dikeringkan dan diuji kemurniannya; dan memanfaatkan limbah biomassa (misalnya kulit pisang atau ampas kopi) sebagai adsorben alami untuk limbah ion logam.

Pendekatan *Recovery* (pemulihan, penanganan aman sisa limbah) yaitu untuk mengolah sisa limbah yang tidak bisa didaur ulang agar tidak mencemari lingkungan melalui proses neutralisasi, pemulihan energi, atau pembuangan akhir yang aman. Contoh penerapan di laboratorium kimia antara lain: menetralisasi limbah asam dengan basa (misalnya HCl dengan NaOH) sebelum pembuangan; mengendapkan ion logam berat menggunakan Na<sub>2</sub>S atau NaOH agar tidak terbawa ke saluran air; melakukan inaktivasi limbah biologis dengan autoklaf sebelum dibuang; dan memisahkan limbah organik dan anorganik untuk mempermudah proses pengolahan oleh instansi lingkungan. Keempat prinsip pengelolaan limbah terintegrasi — *Reduce*, *Reuse*, *Recycle*, dan *Recovery* — merupakan hierarki prioritas yang perlu diterapkan dalam kegiatan laboratorium kimia. Pendekatan ini membantu menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan.

## Integrasi Nilai Islam dalam Pengelolaan Limbah dan Keselamatan Kerja

Integrasi nilai-nilai Islam dalam pengelolaan limbah dan keselamatan kerja merupakan landasan penting dalam membangun budaya laboratorium yang aman, beretika, dan berkelanjutan. Dalam Islam, aktivitas ilmiah dipandang sebagai bagian dari ibadah dan wujud tanggung jawab manusia sebagai *khalīfah fil ardh* (pemakmur bumi). Hal ini merujuk pada firman Allah Subhānahu wa Ta‘ālā dalam QS. Al-Baqarah [2]:30, yang menegaskan peran manusia untuk menjaga keseimbangan dan kelestarian bumi. Dengan demikian, kegiatan laboratorium—mulai dari penggunaan bahan kimia, teknik eksperimen, hingga pengelolaan limbah—perlu diarahkan pada perilaku bertanggung jawab, aman, dan tidak merusak lingkungan.

Nilai amanah mengajarkan bahwa setiap bahan kimia, peralatan, dan ruang laboratorium merupakan titipan yang harus digunakan dengan penuh tanggung jawab. Prinsip ini sejalan dengan larangan melakukan *isrāf* (pemborosan) sebagaimana termaktub dalam QS. Al-A‘rāf [7]:31: “...makan dan minumlah, tetapi jangan berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.” Ayat ini menjadi dasar etika dalam penggunaan reagen secara efisien, perhitungan stoikiometri yang tepat, serta pencegahan terbentuknya limbah yang tidak perlu—sejalan dengan konsep preventif dalam *green chemistry*.

Prinsip *tahārah* (kebersihan) juga sangat relevan dalam sistem K3 laboratorium. Islam memposisikan kebersihan sebagai bagian dari iman dan syarat sahnya banyak ibadah. Dalam konteks laboratorium, *tahārah* tercermin dari kebiasaan menjaga alat tetap bersih, merapikan meja kerja, memastikan tidak ada kontaminasi silang, serta mengelola limbah cair dan padat dengan benar. Nilai ini memperkuat budaya kerja ilmiah yang disiplin, teliti, dan bertanggung jawab.

Lebih lanjut, Rasulullah Shallallāhu ‘Alaihi wa Sallam bersabda:

*“Sesungguhnya Allah mencintai apabila salah seorang di antara kalian melakukan suatu pekerjaan, ia melakukannya dengan *itqān* (sempurna).” (HR. al-Baihaqi).*

Hadis ini menegaskan bahwa ketelitian dalam menimbang bahan, kehati-hatian saat memanipulasi reagen, pemisahan limbah sesuai kategorinya, maupun kepatuhan terhadap standar K3 bukan sekadar rutinitas teknis, tetapi bagian dari kualitas moral dan spiritual seorang ilmuwan Muslim.

Prinsip *mīzān* (keseimbangan) memperkuat komitmen terhadap keberlanjutan. Konsep

ini menegaskan bahwa kerusakan lingkungan merupakan bentuk pelanggaran terhadap keseimbangan ciptaan Allah Subhānahu wa Ta‘ālā, sebagaimana dijelaskan dalam QS. Ar-Rūm [30]:41 tentang kerusakan yang muncul akibat perbuatan manusia. Oleh karena itu, pengelolaan limbah harus diarahkan pada pencegahan polusi, perlindungan ekosistem, dan pemulihian lingkungan.

Integrasi nilai-nilai Islam dalam penelitian ini terbukti meningkatkan kesadaran etik mahasiswa. Mereka memahami bahwa praktik laboratorium tidak hanya mengikuti SOP, tetapi juga merepresentasikan ibadah, amanah moral, dan tanggung jawab ekologis. Temuan ini mendukung penelitian Al-Khalili (2017) dan Auda (2020), yang menunjukkan bahwa integrasi nilai Islam dalam pendidikan sains dapat membentuk karakter ilmiah yang disiplin, bertanggung jawab, dan peduli lingkungan.

### **Kontribusi terhadap SDG 3 dan SDG 12**

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penerapan pengolahan limbah laboratorium terintegrasi *green chemistry* dan nilai Islam secara langsung berkontribusi pada dua tujuan pembangunan berkelanjutan: SDG 3 — *Good Health and Well-being*: menjamin kehidupan yang sehat dan mendorong kesejahteraan semua orang di segala usia. Meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium, meminimalkan paparan bahan toksik, dan menciptakan lingkungan kerja sehat.

SDG 12 — *Responsible Consumption and Production*: menjamin pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan. Mengurangi limbah laboratorium melalui 4R (*Reduce, Reuse, Recycle, Recovery*), serta mendorong penggunaan bahan kimia ramah lingkungan.

### **Model Konseptual Pengelolaan Limbah terintegrasi *Green Chemistry* dan Nilai Islam**

Berdasarkan hasil analisis tematik, penelitian ini menghasilkan sebuah model konseptual yang memadukan prinsip-prinsip *green chemistry* dengan nilai-nilai Islam, sehingga pengelolaan limbah laboratorium tidak hanya berorientasi pada efisiensi teknis, tetapi juga pada etika dan keberlanjutan. Model ini dinamakan Model Integratif Pengelolaan Limbah Laboratorium Kimia, yang terdiri dari empat komponen utama:

#### 1. Input

Tahap awal mencakup desain kegiatan praktikum dan pemilihan reagen yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan. Pemilihan bahan kimia mengikuti prinsip *safer*

*chemicals dan safer solvents* dari Anastas & Warner (1998), yang menekankan perlunya mengurangi penggunaan bahan berbahaya sejak perencanaan eksperimen. Tahap ini dikaitkan dengan nilai amanah, yaitu tanggung jawab moral dalam menggunakan sumber daya dengan penuh kehati-hatian.

## 2. Proses

Tahap proses terdiri dari penerapan hierarki 4R—*Reduce, Reuse, Recycle*, dan *Recovery*—yang merupakan kerangka inti dalam pengelolaan limbah berkelanjutan (UNEP, 2019).

Integrasinya dengan nilai Islam meliputi:

Amanah: menggunakan bahan kimia sesuai kebutuhan dan mengikuti SOP untuk mencegah bahaya.

Itqān: bekerja secara teliti, hati-hati, dan sempurna sebagaimana tuntunan Rasulullah Shallallāhu ‘Alaihi wa Sallam dalam hadis riwayat al-Baihaqi tentang pentingnya melakukan pekerjaan dengan kualitas terbaik.

Mīzān: menjaga keseimbangan dan tidak berlebihan, sejalan dengan pesan Allah Subḥānahu wa Ta‘ālā dalam QS. Ar-Rahmān [55]:7–9 bahwa manusia wajib menegakkan keseimbangan (mīzān) dan tidak melampaui batas.

Nilai-nilai ini memperkuat prinsip *green chemistry* bahwa pencegahan limbah lebih efektif dibanding pengolahannya (Anastas & Warner, 1998).

## 3. Output

Implementasi model menghasilkan keluaran berupa: berkurangnya volume limbah laboratorium, peningkatan kesadaran ekologis mahasiswa, dan meningkatnya kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja. Temuan ini konsisten dengan penelitian Oliveira et al. (2021), yang menunjukkan bahwa intervensi berbasis *sustainability* dan pelatihan K3 meningkatkan perilaku aman di laboratorium universitas.

## 4. Outcome

Tahap ini menggambarkan terbentuknya sistem laboratorium yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan. Model ini memberi kontribusi langsung pada SDG 3 (*Good Health and Well-Being*) melalui peningkatan keselamatan kerja dan kesehatan lingkungan laboratorium,

serta SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*) melalui minimalisasi limbah dan penggunaan bahan kimia yang lebih bertanggung jawab.

Model ini menempatkan manusia—mahasiswa, dosen, dan tenaga laboratorium—bukan hanya sebagai pengguna bahan kimia, tetapi sebagai khalīfah fil ard̄h, yaitu penjaga kelestarian bumi. Konsep ini ditegaskan dalam QS. Al-Baqarah [2]:30, yang menggambarkan tanggung jawab manusia dalam memelihara keseimbangan ekosistem. Karena itu, penerapan model integratif ini tidak sekadar bersifat teknis, tetapi juga membentuk kesadaran spiritual bahwa menjaga lingkungan dan meminimalkan limbah merupakan bagian dari pengabdian dan ketaatan kepada Allah Subhānahu wa Ta‘ālā. Integrasi nilai-nilai Islam ini selaras dengan kajian Auda (2020) dan Al-Khalili (2017) yang menegaskan bahwa pendidikan sains berbasis nilai mampu meningkatkan etika ekologis, disiplin, dan tanggung jawab ilmiah mahasiswa.

## KESIMPULAN

Penerapan prinsip *green chemistry* yang terintegrasi dengan nilai-nilai Islam berpotensi meningkatkan kesadaran dan praktik pengelolaan limbah kimia yang lebih ramah lingkungan di laboratorium pendidikan. Pendekatan ini tidak hanya mendukung terwujudnya budaya kerja yang aman dan berkelanjutan, tetapi juga menanamkan tanggung jawab moral dan spiritual melalui nilai amanah, itqan, dan mīzān, sehingga pengelolaan limbah dipahami sebagai bagian dari pengabdian kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala. Integrasi ini sekaligus sejalan dengan tujuan SDG 3 terkait kesehatan dan SDG 12 terkait konsumsi serta produksi yang bertanggung jawab, menjadikan laboratorium kimia lebih bersih, beretika, dan berorientasi pada pelestarian lingkungan.

## DAFTAR RUJUKAN

- ACS. (2020). *Safety in academic chemistry laboratories* (8th ed.). American Chemical Society.
- Al-Baihaqi. *Sunan al-Baihaqi al-Kubra*.
- Al-Khalili, J. (2017). Islam and the environment: Integrating faith principles in science education. *Journal of Islamic Environmental Studies*, 5(2), 45–60.
- Al-Qur'an.
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Auda, J. (2020). *Maqasid al-Shariah as philosophy of Islamic law: A systems approach*. IIIT.
- Cann, M. C., & Connelly, M. E. (2000). *Real-world cases in green chemistry*. American Chemical Society.
- CDC. (2020). *Biosafety in microbiological and biomedical laboratories* (6th ed.). Centers for Disease Control and Prevention.
- Clark, J. H. (2019). *Green chemistry and sustainability: Towards a more efficient chemistry*. Green

- Chemistry, 21(3), 231–240. <https://doi.org/10.1039/C8GC03652A>
- Gupta, D., & Babu, B. V. (2020). Environmental risk and waste management in chemical laboratories. *Journal of Chemical Health and Safety*, 27(4), 15–25.
- ILO. (2018). Occupational safety and health in laboratories. International Labour Organization.
- Kamali, M. H. (2019). Environmental care in Islam: A Qur'anic perspective. *Journal of Islamic Ethics*, 3(1), 59–79.
- Kharissova, O. V., Dias, H. V. R., Kharisov, B. I., Pérez, B. O., & Pérez, V. M. (2019). Waste management in chemistry laboratories: Challenges and opportunities. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(3), 2879–2891.
- Kirchhoff, M. M. (2001). Promoting green chemistry in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 78(10), 1431–1435. <https://doi.org/10.1021/ed078p1431>
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A., & MacKellar, J. (2018). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02999>
- Muyassaroh, S., Rahmawati, Y., & Hadisaputra, S. (2020). Implementasi prinsip kimia hijau dalam pembelajaran praktikum untuk meningkatkan kesadaran lingkungan mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 12(2), 85–94.
- Oliveira, L. B., Becker, D., & Passos, L. S. (2021). Chemical waste management training and its impact on laboratory safety culture in universities. *Journal of Chemical Education*, 98(9), 2805–2814.
- OSHA. (2011). Laboratory safety guidance. Occupational Safety and Health Administration.
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks. World Health Organization.
- Ramos, S., Casas, L., & Romeu, M. J. (2021). Implementation of green analytical methodologies in academic laboratories: Challenges and opportunities. *Analytical Methods*, 13(5), 600–613. <https://doi.org/10.1039/D0AY01984F>
- Suyanto, B. (2020). Integrating Islamic values into community-based waste management: Enhancing participation in 3R programs. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 11(5), 1121–1130.
- WHO. (2014). Laboratory biosafety manual (3rd ed.). World Health Organization.