

# EPISTEMEUS

ESSAYS

VOLUME 1; ISSUE 1 16.06.2026

## Stoikiometri sebagai Dasar Perhitungan Kuantitatif dalam Reaksi Kimia

Hosea Pratama Sinaga, Haikal Kharisma Defian

### ABSTRAK

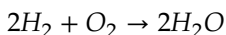
SETIAP Setiap reaksi kimia memiliki perbandingan zat yang teratur, sehingga jumlah pereaksi dan produk dapat dihitung secara tepat sebelum atau sesudah reaksi berlangsung. Stoikiometri menjadi dasar perhitungan kuantitatif dalam kimia karena menghubungkan persamaan reaksi setara dengan konsep mol, massa molar, koefisien reaksi, dan hukum kekekalan massa. Pemahaman terhadap stoikiometri membantu menentukan kebutuhan bahan, jumlah produk yang terbentuk, pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta efisiensi suatu reaksi. Kajian ini membahas stoikiometri sebagai landasan penting dalam memahami reaksi kimia secara terukur, sekaligus meninjau penerapannya dalam kegiatan laboratorium, proses industri, dan berbagai perhitungan kimia yang membutuhkan ketepatan jumlah zat.

**Kata kunci:** stoikiometri, reaksi kimia, konsep mol, persamaan reaksi, pereaksi pembatas, hasil teoritis, perhitungan kimia

## PENDAHULUAN

Reaksi kimia sering terlihat sederhana ketika ditulis dalam bentuk persamaan, seolah-olah zat hanya bertemu, bereaksi, lalu menghasilkan zat baru. Di balik persamaan singkat itu, terdapat aturan jumlah yang sangat ketat. Atom tidak muncul dari ketiadaan dan tidak hilang begitu saja saat reaksi berlangsung. Zat yang bereaksi selalu mengikuti perbandingan tertentu, sehingga jumlah pereaksi dan produk dapat dihitung secara pasti. Dari sinilah *stoikiometri* menjadi bagian penting dalam kimia, karena konsep ini membantu menjelaskan hubungan kuantitatif antara zat-zat yang terlibat dalam suatu reaksi.

*Stoikiometri* berhubungan erat dengan hukum kekekalan massa. Hukum ini menyatakan bahwa massa total zat sebelum reaksi sama dengan massa total zat setelah reaksi, selama reaksi berlangsung dalam sistem tertutup. Prinsip tersebut membuat persamaan reaksi harus disetarakan terlebih dahulu sebelum digunakan dalam perhitungan. Sebagai contoh, reaksi pembentukan air dari hidrogen dan oksigen dapat ditulis sebagai berikut.



Persamaan tersebut tidak hanya menunjukkan bahwa hidrogen bereaksi dengan oksigen membentuk air. Koefisien pada persamaan juga menunjukkan perbandingan jumlah partikel atau mol zat yang bereaksi. Dua mol hidrogen bereaksi dengan satu mol oksigen untuk menghasilkan dua mol air. Jika jumlah salah satu zat berubah, jumlah zat lain yang dibutuhkan atau dihasilkan ikut berubah sesuai perbandingan koefisien reaksi.

Dalam perhitungan kimia, konsep mol menjadi jembatan antara dunia partikel yang sangat kecil dan jumlah zat yang dapat diukur di laboratorium. Satu mol zat mengandung jumlah partikel sebesar bilangan Avogadro, yaitu  $6,022 \times 10^{23}$  partikel. Karena atom dan molekul tidak dapat dihitung satu per satu secara langsung, mol digunakan untuk menghubungkan massa zat, jumlah partikel, dan volume gas pada kondisi tertentu. Tanpa konsep mol, perhitungan reaksi kimia akan sulit diterapkan dalam percobaan nyata.

Ketepatan perhitungan *stoikiometri* sangat penting dalam kegiatan laboratorium maupun industri. Seorang praktikan perlu mengetahui massa bahan yang harus digunakan agar reaksi berlangsung sesuai rancangan. Industri kimia juga membutuhkan perhitungan yang akurat agar peng-

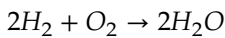
gunaan bahan baku lebih efisien dan jumlah produk dapat diperkirakan sejak awal. Jika suatu reaksi membutuhkan dua zat, apa yang terjadi ketika salah satu zat tersedia lebih sedikit dari kebutuhan idealnya? Pertanyaan ini mengarah pada konsep pereaksi pembatas, yaitu zat yang habis terlebih dahulu dan menentukan jumlah maksimum produk yang dapat terbentuk.

Kajian mengenai *stoikiometri* diperlukan untuk memahami cara kerja perhitungan kimia secara lebih terukur. Pembahasan ini mencakup persamaan reaksi setara, konsep mol, massa molar, hubungan antarkoefisien, pereaksi pembatas, hasil teoritis, serta efisiensi reaksi. Pemahaman tersebut membuat reaksi kimia tidak berhenti sebagai simbol di atas kertas, tetapi dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah zat secara nyata dalam percobaan, produksi, dan berbagai penerapan kimia lainnya.

## TEORI DASAR

*Stoikiometri* membahas hubungan jumlah zat dalam reaksi kimia, terutama hubungan antara pereaksi dan produk yang ditentukan dari persamaan reaksi setara. Dalam kimia, reaksi tidak dapat dipahami hanya sebagai perubahan nama zat, sebab setiap perubahan selalu melibatkan jumlah atom yang tetap terjaga. Prinsip ini berkaitan dengan hukum kekekalan massa, yaitu massa zat sebelum reaksi sama dengan massa zat setelah reaksi dalam sistem tertutup. Karena atom tidak diciptakan atau dimusnahkan selama reaksi kimia biasa, persamaan reaksi harus disetarakan sebelum dipakai untuk menghitung jumlah zat yang bereaksi atau terbentuk.<sup>1</sup>

Penyetaraan persamaan reaksi menjadi langkah awal dalam *stoikiometri* karena koefisien reaksi menyatakan perbandingan jumlah partikel atau mol zat. Sebagai contoh, reaksi pembentukan air dapat ditulis sebagai berikut:



Persamaan ini menyatakan bahwa dua mol hidrogen bereaksi dengan satu mol oksigen untuk menghasilkan dua mol air. Angka koefisien bukan sekadar pelengkap di depan rumus kimia, melainkan petunjuk utama untuk membaca hubungan kuantitatif antarzat dalam reaksi.<sup>2</sup>

Konsep mol memegang peran besar karena atom, molekul, dan ion berukuran terlalu kecil untuk dihitung satu per satu secara langsung. Satu mol zat mengandung  $6,022 \times 10^{23}$  partikel, nilai yang dikenal sebagai bilangan Avogadro. Di mana letak pentingnya mol dalam perhitungan kimia? Mol membuat jumlah partikel mikroskopis dapat dihubungkan dengan massa zat yang dapat ditimbang di laboratorium. Hubungan ini membuat reaksi kimia dapat dihitung secara nyata, bukan hanya dibayangkan lewat simbol dan rumus.<sup>3</sup>

Massa molar digunakan untuk mengubah massa zat menjadi jumlah mol atau sebaliknya. Nilai massa molar diperoleh dari massa atom relatif unsur-unsur penyusun suatu senyawa, lalu dinyatakan dalam satuan gram per mol. Sebagai contoh, air memiliki rumus  $H_2O$ , sehingga massa molarnya diperoleh dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Jika  $Ar\ H = 1$  dan  $Ar\ O = 16$ , massa molar  $H_2O$  adalah 18 g/mol. Perhitungan

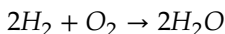
<sup>1</sup>Brown et al., 2018; Chang & Goldsby, 2016; Petrucci et al., 2017.

<sup>2</sup>Zumdahl & Zumdahl, 2014; Silberberg & Amateis, 2018; Tro, 2020.

<sup>3</sup>Atkins & Jones, 2010; McMurry & Fay, 2012; Kotz et al., 2015.

sederhana ini menjadi dasar bagi banyak soal *stoikiometri* karena massa zat yang tersedia harus diubah dahulu ke dalam mol sebelum dibandingkan dengan koefisien reaksi.<sup>4</sup>

Perbandingan koefisien dalam persamaan reaksi setara dipakai untuk menentukan jumlah zat yang dibutuhkan atau dihasilkan. Jika diketahui jumlah mol salah satu zat, jumlah mol zat lain dapat dicari dengan rasio koefisien reaksi. Misalnya pada reaksi



satu mol  $O_2$  membutuhkan dua mol  $H_2$  dan menghasilkan dua mol  $H_2O$ . Dari sini terlihat bahwa *stoikiometri* bekerja seperti peta jumlah zat dalam reaksi, sebab setiap angka koefisien memberi arah bagi perhitungan berikutnya.<sup>5</sup>

Dalam reaksi nyata, jumlah pereaksi sering tidak tersedia dalam perbandingan yang benar-benar ideal. Salah satu pereaksi dapat habis lebih dulu, sementara pereaksi lain masih tersisa. Pereaksi yang habis lebih dulu disebut pereaksi pembatas karena zat inilah yang menentukan jumlah maksimum produk yang dapat terbentuk. Jika pereaksi pembatas tidak dikenali sejak awal, perhitungan hasil reaksi bisa keliru karena jumlah produk seolah-olah dianggap masih dapat bertambah tanpa memperhatikan zat yang sudah habis.<sup>6</sup>

Hasil teoritis adalah jumlah produk maksimum yang dihitung dari persamaan reaksi setara dan pereaksi pembatas. Dalam percobaan, produk yang diperoleh sering lebih kecil daripada hasil teoritis karena reaksi tidak selalu berlangsung sempurna, sebagian zat dapat hilang saat pemindahan, atau terbentuk reaksi samping. Perbandingan antara hasil aktual dan hasil teoritis dinyatakan sebagai persen hasil. Nilai ini penting karena membantu menilai seberapa efisien suatu reaksi, baik dalam skala laboratorium maupun proses produksi kimia.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup>Brady & Senese, 2009; Whitten et al., 2014; Moore et al., 2010.

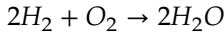
<sup>5</sup>Hill & Petrucci, 2002; Ebbing & Gammon, 2017; Jenkins, 2008.

<sup>6</sup>Masterton & Hurley, 2015; Oxtoby et al., 2016; Burdge, 2014.

<sup>7</sup>Housecroft & Constable, 2010; Timberlake, 2015; Jespersen et al., 2012.

## TEORI TAMBAHAN

Persediaan bahan di laboratorium tidak selalu hadir dalam perbandingan yang rapi seperti angka pada persamaan reaksi. Satu pereaksi bisa habis lebih awal, sementara pereaksi lain tertinggal sebagai sisa. Batas semacam itu dikenal sebagai pereaksi pembatas, yaitu zat yang mengendalikan jumlah maksimum produk. Pada reaksi



dua mol hidrogen membutuhkan satu mol oksigen. Kekurangan hidrogen membuat oksigen tidak bereaksi seluruhnya, meskipun ruang reaksi masih menyimpan oksigen berlebih.<sup>8</sup>

Pencarian pereaksi pembatas tidak cukup dilakukan dari massa awal. Massa perlu diubah menjadi mol karena koefisien reaksi berbicara dalam perbandingan jumlah partikel, bukan berat semata. Setelah mol tiap pereaksi diperoleh, masing-masing dibandingkan dengan koefisien pada persamaan setara. Pereaksi yang memberi peluang produk paling kecil menjadi pembatas reaksi. Cara ini mencegah perhitungan produk terlihat terlalu besar di atas kertas, padahal bahan utama sudah habis lebih dulu di dalam percobaan.<sup>9</sup>

Pereaksi berlebih berada di sisi lain perhitungan. Zat semacam ini tersisa setelah pereaksi pembatas habis, sehingga jumlahnya tidak lagi menambah produk utama. Pada sintesis tertentu, kelebihan salah satu bahan sengaja dipakai agar bahan lain bereaksi lebih tuntas. Pilihan tersebut biasanya dipertimbangkan dari harga bahan, kemudahan pemisahan, keamanan, dan pengaruhnya terhadap kemurnian produk. *Stoikiometri* memberi perkiraan jumlah sisa bahan sebelum percobaan selesai, sehingga reaksi tidak bergantung pada tebakan kasar.<sup>10</sup>

Hasil teoritis menggambarkan produk maksimum yang dihitung dari pereaksi pembatas dan persamaan reaksi setara. Angka tersebut bersifat ideal karena menganggap reaksi berlangsung sesuai rancangan tanpa kehilangan zat. Produk yang benar-benar diperoleh disebut hasil aktual. Selisih antara hasil teoritis dan hasil aktual sering berasal dari reaksi samping, produk tertinggal pada alat, penguapan pelarut, pemindahan zat yang kurang teliti, atau pemurnian yang belum sempurna. Dari perbedaan dua angka itu, kualitas prosedur percobaan mulai terbaca.<sup>11</sup>

<sup>8</sup>Brown et al., 2018; Chang & Goldsby, 2016; Petrucci et al., 2017.

<sup>9</sup>Zumdahl & Zumdahl, 2014; Tro, 2020; Silberberg & Amateis, 2018.

<sup>10</sup>Felder et al., 2016; Himmelblau & Riggs, 2012; Reklaitis, 1983.

<sup>11</sup>Pavia et al., 2015; Mohrig et al., 2014; Zubrick, 2016.

Persen hasil menyatakan kedekatan hasil aktual terhadap hasil teoritis. Rumusnya ditulis sebagai berikut:

$$\text{persen hasil} = \frac{\text{hasil aktual}}{\text{hasil teoritis}} \times 100\%$$

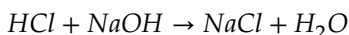
Angka yang rendah biasanya mengarah pada masalah di tahap pemanasan, pendinginan, penyaringan, pencucian, pengeringan, atau penimbangan produk. Angka yang terlalu tinggi juga patut dicurigai, sebab produk mungkin masih bercampur pengotor atau pelarut. Persen hasil akhirnya bukan sekadar angka akhir laporan, melainkan jejak untuk membaca bagian mana dari percobaan yang paling rawan kehilangan atau kesalahan.<sup>12</sup>

Pada reaksi larutan, molaritas menjadi penghubung antara volume dan jumlah zat. Molaritas menyatakan mol zat terlarut dalam satu liter larutan, sehingga rumus

$$M = \frac{n}{V}$$

sering dipakai untuk mencari mol dari data konsentrasi dan volume. Dua larutan dengan volume sama belum tentu mengandung jumlah partikel yang sama, sebab konsentrasinya bisa berbeda jauh. Larutan HCl 50 mL 0,1 M tentu membawa mol asam lebih sedikit daripada HCl 50 mL 1 M. Dari sini, perhitungan *stoikiometri* menjaga analisis larutan tetap berpijak pada jumlah zat, bukan hanya ukuran cairan yang terlihat.<sup>13</sup>

Titrasi memperlihatkan peran *stoikiometri* secara langsung dalam analisis kimia. Larutan standar diteteskan ke larutan sampel sampai jumlah mol pereaksi mencapai perbandingan setara menurut persamaan reaksi. Pada reaksi



perbandingan mol asam dan basa adalah 1 : 1. Titik ekuivalen menjadi penanda bahwa jumlah zat yang bereaksi sudah sesuai, bukan sekadar berubah warna karena indikator. Mengapa satu tetes di dekat akhir titrasi bisa mengubah hasil perhitungan secara besar? Karena volume titran pada titik tersebut menjadi dasar penentuan mol dan konsentrasi sampel.<sup>14</sup>

Gas membawa bentuk perhitungan yang sedikit berbeda karena jumlah molnya dipengaruhi tekanan, volume, dan suhu. Persamaan gas ideal

<sup>12</sup>Vogel, 1989; Furniss et al., 1989; Leonard et al., 1995.

<sup>13</sup>Mendham et al., 2000; Day & Underwood, 1991; Harvey, 2000.

<sup>14</sup>Skoog et al., 2004; Harris, 2010; Kenkel, 2013.

$$PV = nRT$$

menghubungkan kondisi fisik gas dengan jumlah mol yang terlibat. Gas hidrogen hasil reaksi logam dengan asam, misalnya, bisa dihitung dari volume gas yang terkumpul, tekanan ruang, dan temperatur percobaan. Setelah mol  $H_2$  diketahui, jumlah logam yang bereaksi bisa ditelusuri dari koefisien persamaan. *Stoikiometri* akhirnya tidak berhenti pada massa padatan, tetapi ikut membaca zat dalam wujud gas yang berubah mengikuti keadaan lingkungan.<sup>15</sup>

Skala industri membuat kesalahan *stoikiometri* berubah menjadi persoalan biaya, limbah, dan keselamatan. Produksi amonia, pupuk, obat, bahan bakar, dan polimer membutuhkan perbandingan bahan baku yang terukur sejak awal. Kelebihan pereaksi menaikkan biaya penyimpanan dan pemisahan, sedangkan kekurangan pereaksi menurunkan jumlah produk. Reaktor industri juga bekerja dengan batas suhu, tekanan, dan kapasitas tertentu, sehingga perhitungan bahan tidak boleh lepas dari rancangan proses. Pada skala besar, angka kecil dalam *stoikiometri* bisa berubah menjadi ton bahan dan jumlah limbah yang nyata.<sup>16</sup>

Kimia hijau memberi sudut pandang tambahan terhadap *stoikiometri*. Reaksi yang dirancang dengan jumlah pereaksi yang tepat cenderung meninggalkan sisa lebih sedikit dan memakai bahan secara lebih hemat. Prinsip *atom economy* menilai seberapa besar atom dari pereaksi masuk ke produk utama, bukan terbuang sebagai produk samping. Pertanyaan yang muncul bukan hanya berapa banyak produk yang terbentuk, melainkan berapa banyak bahan awal yang benar-benar berubah menjadi produk yang diinginkan. Dari pertanyaan itu, *stoikiometri* bergerak dari sekadar hitungan kelas menuju cara merancang reaksi yang lebih efisien dan bertanggung jawab.<sup>17</sup>

<sup>15</sup>Atkins et al., 2018; Engel & Reid, 2013; Levine, 2009.

<sup>16</sup>Green & Southard, 2019; Fogler, 2016; Towler & Sinnott, 2013.

<sup>17</sup>Anastas & Warner, 1998; Sheldon, 2000; Lancaster, 2016.

## PENUTUP

*Stoikiometri* memperlihatkan bahwa reaksi kimia tidak berjalan secara sembarang. Di balik simbol, koefisien, dan rumus kimia, ada keteraturan jumlah yang membuat suatu reaksi bisa dihitung secara masuk akal. Persamaan reaksi setara menjadi pintu awal untuk membaca hubungan antarzat, sedangkan mol, massa molar, dan perbandingan koefisien mengubah simbol kimia menjadi angka yang bisa dipakai di laboratorium. Tanpa perhitungan semacam ini, reaksi hanya tampak sebagai perubahan zat, bukan proses kuantitatif yang memiliki ukuran jelas.<sup>18</sup>

Kekuatan *stoikiometri* terasa jelas saat perhitungan mulai berhadapan dengan kondisi nyata. Pereaksi pembatas, pereaksi berlebih, hasil teoritis, hasil aktual, dan persen hasil membuat reaksi kimia tidak hanya dinilai dari berhasil atau tidaknya produk terbentuk. Setiap angka memberi petunjuk tentang bahan yang habis, zat yang tersisa, produk yang hilang, serta bagian percobaan yang perlu diperbaiki. Dari satu persamaan reaksi, seorang praktikan bisa memperkirakan jalannya percobaan sebelum bahan benar-benar dicampurkan.<sup>19</sup>

Pada skala yang lebih besar, *stoikiometri* berhubungan langsung dengan efisiensi bahan, biaya produksi, dan jumlah limbah. Industri kimia tidak bisa mengandalkan perkiraan kasar karena kesalahan kecil dalam perbandingan pereaksi bisa berubah menjadi kerugian besar. Perhitungan yang tepat membuat bahan baku lebih terkendali, produk lebih terukur, dan sisa reaksi lebih mudah diprediksi. Arah ini sejalan dengan gagasan *kimia hijau* yang menempatkan pencegahan limbah sejak awal sebagai bagian dari rancangan proses kimia.<sup>20</sup>

Pembahasan *stoikiometri* akhirnya membawa kimia pada cara berpikir yang lebih teliti. Pertanyaan yang muncul bukan hanya zat apa yang bereaksi, tetapi berapa banyak zat yang diperlukan, berapa banyak produk yang terbentuk, dan seberapa efisien reaksi itu berlangsung. Jawaban dari pertanyaan tersebut membuat *stoikiometri* menjadi dasar bagi percobaan, analisis larutan, perhitungan gas, proses industri, sampai rancangan reaksi yang lebih hemat bahan. Reaksi kimia yang tampak sederhana di atas kertas ternyata menyimpan perhitungan yang menentukan kualitas hasil di dunia nyata.<sup>21</sup>

<sup>18</sup>Brown et al., 2018; Chang & Goldsby, 2016; Petrucci et al., 2017.

<sup>19</sup>Zumdahl & Zumdahl, 2014; Tro, 2020; Silberberg & Amateis, 2018.

<sup>20</sup>Green & Southard, 2019; Fogler, 2016; Anastas & Warner, 1998.

<sup>21</sup>Sheldon, 2000; Lancaster, 2016; Atkins et al., 2018.

## KESIMPULAN

*Stoikiometri* menjelaskan keteraturan jumlah zat dalam reaksi kimia. Persamaan reaksi setara, konsep mol, massa molar, dan koefisien reaksi bekerja sebagai dasar untuk mengubah simbol kimia menjadi perhitungan yang terukur. Reaksi pembentukan air, pembakaran, netralisasi, sampai sintesis senyawa dapat dibaca dari perbandingan zat yang terlibat. Tanpa penyetaraan dan perhitungan mol, persamaan reaksi hanya menjadi lambang, belum menjadi alat untuk memperkirakan jumlah pereaksi dan produk secara tepat.<sup>22</sup>

Perhitungan *stoikiometri* juga memberi arah saat reaksi tidak berlangsung dalam jumlah bahan yang seimbang. Pereaksi pembatas menentukan batas produk yang terbentuk, pereaksi berlebih menjelaskan sisa zat setelah reaksi, sedangkan hasil teoritis dan persen hasil membantu membaca keberhasilan percobaan. Angka-angka tersebut membuat percobaan kimia lebih mudah dievaluasi, terutama saat produk aktual berbeda dari hasil perhitungan. Perbedaan antara rencana dan hasil nyata sering membuka ruang untuk menilai ketelitian prosedur, kemurnian produk, serta kemungkinan kehilangan zat selama percobaan.<sup>23</sup>

Penerapan *stoikiometri* tidak berhenti pada soal perhitungan di kelas. Analisis larutan, titrasi, reaksi gas, produksi industri, dan rancangan proses kimia memakai prinsip yang sama, yaitu membaca jumlah zat dari hubungan reaksi yang setara. Pada skala laboratorium, *stoikiometri* menjaga percobaan tetap akurat. Pada skala industri, perhitungan yang tepat berkaitan dengan penggunaan bahan baku, biaya produksi, keselamatan proses, dan pengurangan limbah. Arah tersebut membuat *stoikiometri* dekat dengan prinsip *kimia hijau* yang menekankan efisiensi bahan sejak awal reaksi.<sup>24</sup>

Secara keseluruhan, *stoikiometri* menjadi dasar penting dalam memahami reaksi kimia secara kuantitatif. Pertanyaan tentang berapa banyak zat yang dibutuhkan, berapa banyak produk yang terbentuk, dan seberapa efisien reaksi berlangsung selalu kembali pada perbandingan mol dan persamaan reaksi setara. Dari situlah *stoikiometri* memberi peran besar bagi kegiatan laboratorium, analisis kimia, proses industri, serta pengembangan reaksi yang lebih hemat dan bertanggung jawab terhadap sumber daya.<sup>25</sup>

<sup>22</sup>Brown et al., 2018; Chang & Goldsby, 2016; Petrucci et al., 2017.

<sup>23</sup>Zumdahl & Zumdahl, 2014; Silberberg & Amateis, 2018; Tro, 2020.

<sup>24</sup>Skoog et al., 2004; Green & Southard, 2019; Anastas & Warner, 1998.

<sup>25</sup>Atkins et al., 2018; Sheldon, 2000; Lancaster, 2016.

## Daftar Pustaka

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/green-chemistry-9780198506980>

Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2018). *Atkins' physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/atkins-physical-chemistry9780198769866>

Atkins, P., & Jones, L. (2010). *Chemical principles: The quest for insight* (5th ed.). W. H. Freeman. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemical+Principles+The+Quest+for+Insight+Atkins+Jones+2010>

Brady, J. E., & Senese, F. (2009). *Chemistry: Matter and its changes* (5th ed.). John Wiley & Sons. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+Matter+and+Its+Changes+Brady+Senese+2009>

Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/chemistry-the-central-science/P200000006990>

Burdge, J. (2014). *Chemistry* (4th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+Burdge+4th+edition+2014>

Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/chemistry-changgoldsbym9780078021510.html>

Christian, G. D., Dasgupta, P. K., & Schug, K. A. (2014). *Analytical chemistry* (7th ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Analytical+Chemistry%2C+7th+Edition-p9780470887578>

Clark, J. H., & Macquarrie, D. J. (Eds.). (2002). *Handbook of green chemistry and technology*. Blackwell Science. <https://www.worldcat.org/search?q=Handbook+of+Green+Chemistry+and+Technology+Clark+Macquarrie+2002>

Day, R. A., Jr., & Underwood, A. L. (1991). *Quantitative analysis* (6th ed.). Prentice Hall. <https://www.worldcat.org/search?q=Quantitative+Analysis+Day+Underwood+1991>

Ebbing, D. D., & Gammon, S. D. (2017). *General chemistry* (11th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/general-chemistry-11e-ebbing/>

- Engel, T., & Reid, P. (2013). *Physical chemistry* (3rd ed.). Pearson. <https://www.worldcat.org/search?q=Physical+Chemistry+Engel+Reid+2013>
- Felder, R. M., Rousseau, R. W., & Bullard, L. G. (2016). *Elementary principles of chemical processes* (4th ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Elementary+Principles+of+Chemical+Processes%2C+4th+Edition-p-9780470616291>
- Fogler, H. S. (2016). *Elements of chemical reaction engineering* (5th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/elements-of-chemical-reaction-engineering/P200000006419>
- Furniss, B. S., Hannaford, A. J., Smith, P. W. G., & Tatchell, A. R. (1989). *Vogel's textbook of practical organic chemistry* (5th ed.). Longman Scientific & Technical. <https://www.worldcat.org/search?q=Vogel%27s+Textbook+of+Practical+Organic+Chemistry+5th+edition+1989>
- Green, D. W., & Southard, M. Z. (Eds.). (2019). *Perry's chemical engineers' handbook* (9th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071834087>
- Harris, D. C. (2010). *Quantitative chemical analysis* (8th ed.). W. H. Freeman. <https://www.worldcat.org/search?q=Quantitative+Chemical+Analysis+Harris+2010>
- Harris, D. C. (2016). *Quantitative chemical analysis* (9th ed.). W. H. Freeman. <https://store.macmillanlearning.com/us/product/Quantitative-ChemicalAnalysis/p/146413538X>
- Harvey, D. (2000). *Modern analytical chemistry*. McGraw-Hill. <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/modern-analytical-chemistry>
- Hill, J. W., & Petrucci, R. H. (2002). *General chemistry: An integrated approach* (3rd ed.). Prentice Hall. <https://www.worldcat.org/search?q=General+Chemistry+An+Integrated+Approach+Hill+Petrucci+2002>
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2012). *Basic principles and calculations in chemical engineering* (8th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/basic-principles-and-calculations-in-chemical-engineering/P200000003153>
- Housecroft, C. E., & Constable, E. C. (2010). *Chemistry: An introduction to organic, inorganic and physical chemistry* (4th ed.). Pearson. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+An+Introduction+to+Organic+Inorganic+and+Physical+Chemistry+Housecroft+Constable+2010>

Jenkins, H. D. B. (2008). *Chemical thermodynamics at a glance*. Blackwell Publishing. <https://www.wiley.com/en-us/Chemical+Thermodynamics+at+a+Glance-p-9781405179973>

Jespersen, N. D., Brady, J. E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The molecular nature of matter* (6th ed.). John Wiley & Sons. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+The+Molecular+Nature+of+Matter+Jespersen+Brady+Hyslop+2012>

Kenkel, J. (2013). *Analytical chemistry for technicians* (4th ed.). CRC Press. <https://www.routledge.com/Analytical-Chemistry-forTechnicians/Kenkel/p/book/9781439881057>

Kotz, J. C., Treichel, P. M., Townsend, J. R., & Treichel, D. A. (2015). *Chemistry and chemical reactivity* (9th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/chemistry-chemical-reactivity-9e-kotz/>

Lancaster, M. (2016). *Green chemistry: An introductory text* (3rd ed.). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782622949>

Leonard, J., Lygo, B., & Procter, G. (1995). *Advanced practical organic chemistry* (2nd ed.). Blackie Academic & Professional. <https://www.worldcat.org/search?q=Advanced+Practical+Organic+Chemistry+Leonard+Lygo+Procter+1995>

Levine, I. N. (2009). *Physical chemistry* (6th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.worldcat.org/search?q=Physical+Chemistry+Levine+6th+edition+2009>

Masterton, W. L., Hurley, C. N., & Neth, E. J. (2015). *Chemistry: Principles and reactions* (8th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/chemistry-principles-and-reactions-8e-masterton/> McMurry,

J. E., & Fay, R. C. (2012). *Chemistry* (6th ed.). Pearson. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+McMurry+Fay+2012>

Mendham, J., Denney, R. C., Barnes, J. D., & Thomas, M. J. K. (2000). *Vogel's quantitative chemical analysis* (6th ed.). Prentice Hall. <https://www.worldcat.org/search?q=Vogel%27s+Quantitative+Chemical+Analysis+6th+edition+2000>

Mohrig, J. R., Alberg, D. G., Hofmeister, G. E., Schatz, P. F., & Hammond, C. N. (2014). *Techniques in organic chemistry* (4th ed.). W. H. Freeman. <https://www.worldcat.org/search?q=Techniques+in+Organic+Chemistry+Mohrig+2014>

Moore, J. W., Stanitski, C. L., & Jurs, P. C. (2010). *Chemistry: The molecular science* (4th ed.). Cengage Learning. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+The+Molecular+Science+Moore+Stanitski+Jurs+2010>

Oxtoby, D. W., Gillis, H. P., & Butler, L. J. (2016). *Principles of modern chemistry* (8th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/principles-of-modern-chemistry-8e-oxtooby/>

Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Engel, R. G. (2015). *Introduction to organic laboratory techniques: A microscale approach* (5th ed.). Cengage Learning. <https://www.worldcat.org/search?q=Introduction+to+Organic+Laboratory+Techniques+A+Microscale+Approach+Pavia+2015>

Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2017). *General chemistry: Principles and modern applications* (11th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/general-chemistry-principles-and-modern-applications/P200000006803>

Reklaitis, G. V. (1983). *Introduction to material and energy balances*. John Wiley & Sons. <https://www.worldcat.org/search?q=Introduction+to+Material+and+Energy+Balances+Reklaitis+1983>

Sheldon, R. A. (2000). *Atom efficiency and catalysis in organic synthesis*. *Pure and Applied Chemistry*, 72(7), 1233–1246. <https://doi.org/10.1351/pac200072071233>

Silberberg, M. S., & Amateis, P. G. (2018). *Chemistry: The molecular nature of matter and change* (8th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/chemistry-molecular-nature-matter-change-silberberg-amateis/M9781259631757.html>

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2004). *Fundamentals of analytical chemistry* (8th ed.). Brooks/Cole. <https://www.worldcat.org/search?q=Fundamentals+of+Analytical+Chemistry+Skoog+Holler+Crouch+2004>

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentals of analytical chemistry* (9th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/fundamentals-of-analytical-chemistry-9e-skoog/>

Timberlake, K. C. (2015). *Chemistry: An introduction to general, organic, and biological chemistry* (12th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/chemistry-an-introduction-to-general->

organic-and-biological-chemistry/P200000003310

Towler, G., & Sinnott, R. (2013). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. <https://www.sciencedirect.com/book/9780080966595/chemical-engineering-design>

Tro, N. J. (2020). *Chemistry: A molecular approach* (5th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/chemistry-a-molecular-approach/P200000006805>

Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., & Stanley, G. G. (2014). *Chemistry* (10th ed.). Cengage Learning. <https://www.worldcat.org/search?q=Chemistry+Whitten+Davis+Peck+Stanley+2014>

Zubrick, J. W. (2016). *The organic chem lab survival manual: A student's guide to techniques* (10th ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/The+Organic+Chem+Lab+Survival+Manual%3A+A+Student%27s+Guide+to+Techniques%2C+10th+Edition-p-9781118875780>

Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2014). *Chemistry* (9th ed.). Cengage Learning. <https://www.cengage.com/c/chemistry-9e-zumdahl/>