STABILITAS KIMIA AIR MINUM DALAM KEMASAN ALKALI BERDASARKAN LANGELIER SATURATION INDEX DAN ENDAPAN KALSIUM KARBONAT

CHEMICAL STABILITY OF ALKALINE BOTTLED WATER BASED ON LANGELIER SATURATION INDEX AND CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION

Dandi Umar Faqih* dan Rusmini
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

**Corresponding author, email: dandi.23046@unesa.ac.id*

Abstrak. *Air minum dalam kemasan (AMDK) alkali water memiliki karakteristik pH basa dan alkalinitas relatif tinggi yang dapat memengaruhi stabilitas kimia air selama penyimpanan. Salah satu fenomena yang sering dijumpai adalah terbentuknya endapan putih yang berpotensi menurunkan persepsi mutu produk. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas kimia AMDK alkali water berdasarkan analisis parameter fisikokimia air, karakterisasi endapan yang terbentuk, serta perhitungan Langelier Saturation Index (LSI) sebagai indikator awal kecenderungan pembentukan endapan kalsium karbonat. Penelitian dilakukan terhadap sepuluh sampel AMDK alkali water dari satu produsen dengan pengukuran pH, suhu, total dissolved solids (TDS), alkalinitas, serta konsentrasi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}. Endapan putih yang terbentuk selama penyimpanan dianalisis secara kualitatif dan dikonfirmasi melalui uji reaksi dengan asam klorida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki pH 8,35-8,50, alkalinitas 146-154 mg/L sebagai $CaCO_3$, serta dominasi ion Ca^{2+} dibandingkan Mg^{2+}. Nilai LSI pada seluruh sampel berada pada kondisi positif, yang menunjukkan keadaan supersaturasi terhadap kalsium karbonat. Hasil ini menunjukkan bahwa LSI relevan digunakan sebagai indikator awal untuk mengevaluasi stabilitas kimia AMDK alkali water selama masa simpan.*

Kata kunci: air minum dalam kemasan alkali water, stabilitas kimia, Langelier Saturation Index, endapan kalsium karbonat

Abstract. *Alkaline bottled drinking water is characterized by high pH and relatively high alkalinity, which may influence its chemical stability during storage. One commonly observed phenomenon is the formation of white precipitates that can reduce the perceived quality of the product. This study aimed to evaluate the chemical stability of alkaline bottled drinking water based on physicochemical parameter analysis, characterization of the formed precipitates, and calculation of the Langelier Saturation Index (LSI) as an initial indicator of calcium carbonate precipitation tendency. The study was conducted on ten alkaline bottled water samples from a single producer by measuring pH, temperature, total dissolved solids (TDS), alkalinity, and Ca^{2+} and Mg^{2+} ion concentrations. The white precipitates formed during storage were qualitatively analyzed and confirmed through reaction tests with hydrochloric acid. The results showed that all samples had pH values of 8.35-8.50, alkalinity of 146-154 mg/L as $CaCO_3$, and a dominance of Ca^{2+} ions over Mg^{2+} ions. All samples exhibited positive LSI values, indicating supersaturation with respect to calcium carbonate. These findings indicate that LSI is a relevant initial indicator for evaluating the chemical stability of alkaline bottled drinking water during storage.*

Keywords: alkaline bottled water, chemical stability, Langelier Saturation Index, calcium carbonate precipitate.

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

PENDAHULUAN

Air minum dalam kemasan (AMDK) merupakan sumber utama air minum masyarakat yang harus memenuhi persyaratan mutu fisik, kimia, dan mikrobiologi, serta memiliki stabilitas yang baik selama proses penyimpanan dan distribusi. Selain aspek keamanan konsumsi, stabilitas kimia air juga berperan penting karena dapat memengaruhi sifat fisik air dan persepsi konsumen terhadap kualitas produk, terutama apabila terjadi perubahan visual seperti terbentuknya endapan [1,2].

Dalam beberapa tahun terakhir, AMDK jenis alkali water semakin banyak dikonsumsi karena memiliki nilai pH yang relatif lebih tinggi dibandingkan air minum konvensional. Namun, karakteristik kimia tersebut dapat memengaruhi keseimbangan mineral dalam air. Salah satu permasalahan yang sering dijumpai pada AMDK alkali water adalah terbentuknya endapan putih selama masa penyimpanan, yang kerap menimbulkan kekhawatiran konsumen meskipun tidak selalu berkaitan langsung dengan risiko kesehatan.

Secara kimia, endapan putih pada air minum umumnya berkaitan dengan presipitasi mineral anorganik, khususnya kalsium karbonat ($CaCO_3$), yang dipengaruhi oleh parameter seperti pH, alkalinitas, kesadahan kalsium, suhu, dan total dissolved solids (TDS). Pada kondisi tertentu, terutama ketika air berada dalam keadaan supersaturasi terhadap $CaCO_3$, presipitasi mineral dapat terjadi selama penyimpanan akibat perubahan kesetimbangan sistem karbonat, termasuk perubahan tekanan parsial CO_2 [3-5].

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan pembentukan endapan mineral dan stabilitas kimia air adalah Langelier Saturation Index (LSI). Indeks ini digunakan untuk menilai tingkat kejenuhan air terhadap kalsium karbonat berdasarkan parameter pH, alkalinitas, kesadahan kalsium, suhu, dan TDS. Nilai LSI positif menunjukkan kecenderungan pembentukan endapan, nilai mendekati nol menunjukkan kondisi jenuh, sedangkan nilai negatif mengindikasikan kondisi undersaturasi [1]. Meskipun LSI bersifat indikator teoretis, indeks ini banyak digunakan sebagai alat awal untuk menilai stabilitas kimia air minum [6,7].

Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan LSI untuk mengevaluasi potensi pembentukan kerak pada sistem air minum dan air tanah. Namun, kajian yang secara khusus mengaitkan nilai LSI dengan fenomena nyata terbentuknya endapan putih pada air minum dalam kemasan alkali, serta didukung oleh analisis kualitatif dan kuantitatif endapan, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pembentukan endapan pada AMDK alkali water melalui analisis parameter fisikokimia air, analisis endapan putih yang terbentuk, serta perhitungan Langelier Saturation Index (LSI), guna menilai kesesuaian antara prediksi teoretis dan kondisi aktual selama penyimpanan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengaitan langsung antara nilai LSI sebagai indikator teoretis dengan kejadian aktual pembentukan endapan kalsium karbonat pada AMDK alkali water selama masa penyimpanan. Pendekatan ini memberikan bukti empiris bahwa LSI tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi konseptual, tetapi juga relevan untuk mengevaluasi stabilitas kimia produk AMDK alkali dalam kondisi nyata produk komersial

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi sampel air minum dalam kemasan (AMDK) alkali water, larutan asam klorida (HCl) standar, larutan asam nitrat (HNO_3) untuk preparasi sampel, larutan standar kalsium (Ca), larutan standar magnesium (Mg), dan akuades, serta bahan kimia pendukung lainnya digunakan seperlunya untuk analisis kualitatif kation dan karakterisasi endapan putih yang terbentuk.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas standar laboratorium serta instrumen analisis berupa pH meter, termometer, TDS meter, dan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Seluruh instrumen telah dikalibrasi sebelum digunakan.

Prosedur Penelitian

Observasi Lapangan dan Pengambilan Sampel

Tahap awal penelitian dilakukan melalui observasi lapangan terhadap air minum dalam kemasan (AMDK) alkali water yang diperoleh dari

satu produsen AMDK di Indonesia. Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya pembentukan endapan putih selama masa penyimpanan produk. Sampel yang digunakan merupakan produk komersial yang masih berada dalam masa simpan dan disimpan sesuai dengan kondisi penyimpanan normal.

Selama tahap penyimpanan, sampel AMDK alkali water disimpan selama 30 hari pada kondisi suhu ruang (26-27 °C), tanpa paparan langsung sinar matahari dan dalam posisi botol tegak. Selama periode penyimpanan, botol tidak dibuka. Pengamatan visual terhadap pembentukan endapan putih dilakukan hingga akhir masa penyimpanan, sebelum sampel dianalisis lebih lanjut untuk pengukuran parameter fisikokimia air serta karakterisasi endapan yang terbentuk.

Analisis Parameter Fisikokimia Air

Analisis parameter fisikokimia air dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas kimia air minum dalam kemasan alkali water. Parameter yang dianalisis meliputi pH, suhu, total dissolved solids (TDS), alkalinitas total, dan kadar kalsium (Ca^{2+}). Pengukuran pH dan suhu dilakukan secara langsung menggunakan pH meter dan termometer terkalibrasi, sedangkan TDS diukur menggunakan TDS meter. Alkalinitas total ditentukan dengan metode titrimetri menggunakan larutan HCl standar, dan kadar kalsium dianalisis secara kuantitatif menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Parameter-parameter ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan Langelier Saturation Index (LSI).

Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Endapan Putih

Endapan putih yang terbentuk pada air minum dalam kemasan alkali water dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengidentifikasi senyawa penyusunnya. Analisis kualitatif dilakukan melalui uji kation untuk mendeteksi keberadaan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}. Analisis kuantitatif kation dilakukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) untuk menentukan kation dominan dalam endapan. Selanjutnya, endapan direaksikan dengan larutan HCl untuk mengonfirmasi keberadaan ion karbonat (CO_3^{2-}), yang ditandai dengan terbentuknya gelembung gas CO_2. Hasil analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi endapan sebagai kalsium karbonat ($CaCO_3$).

Perhitungan Langelier Saturation Index (LSI)

Nilai Langelier Saturation Index (LSI) dihitung berdasarkan parameter pH, suhu, total dissolved solids (TDS), alkalinitas total, dan kesadahan kalsium (Ca^{2+}) menggunakan persamaan:

$$LSI = pH - pHs.$$

di mana pH merupakan nilai pH aktual air, sedangkan pHs adalah nilai pH pada kondisi jenuh terhadap $CaCO_3$. Nilai pHs dihitung menggunakan persamaan:

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Koefisien A, B, C, dan D masing-masing merepresentasikan pengaruh total dissolved solids (TDS) dalam mg/L, suhu air dalam °C, kesadahan kalsium dalam satuan mg/L $CaCO_3$, serta alkalinitas total dalam satuan mg/L $CaCO_3$. Nilai pHs ditentukan berdasarkan kondisi kejenuhan air terhadap kalsium karbonat ($CaCO_3$). Nilai LSI digunakan untuk mengklasifikasikan kecenderungan air berada pada kondisi supersaturasi ($LSI > 0$), jenuh ($LSI \approx 0$), atau undersaturasi ($LSI < 0$) terhadap $CaCO_3$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisikokimia Air Minum Dalam Kemasan Alkali

Hasil analisis parameter fisikokimia air minum dalam kemasan (AMDK) alkali water menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki karakteristik yang relatif seragam dengan pH berada pada kisaran basa lemah hingga basa sedang. Nilai pH sampel berkisar antara 8,35-8,50, suhu air berada pada rentang 26-27 °C, dan total dissolved solids (TDS) berkisar antara 147-150 mg/L. Nilai alkalinitas total berada pada rentang 146-154 mg/L sebagai $CaCO_3$, sedangkan konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) berkisar antara 28,0-30,2 mg/L dan ion magnesium (Mg^{2+}) antara 4,2-4,8 mg/L. Ringkasan hasil analisis parameter fisikokimia air, konsentrasi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}, serta nilai Langelier Saturation Index (LSI) pada seluruh sampel AMDK alkali water disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Parameter fisikokimia, konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+}, serta nilai LSI pada AMDK alkali water

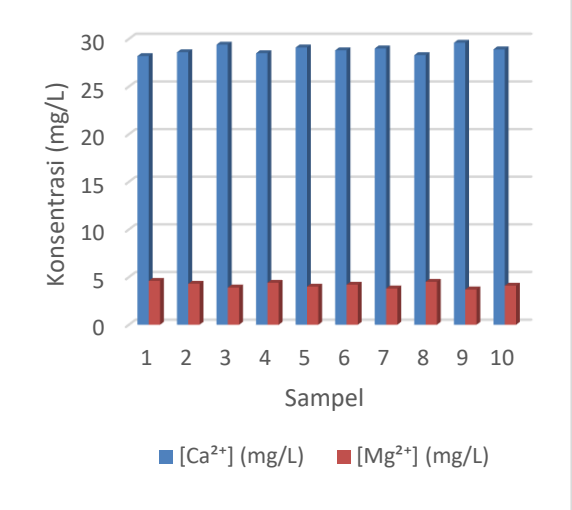
Sampel	pH	Suhu (°C)	TDS (mg/L)	Alkalinitas (mg/L $CaCO_3$)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	LSI
S1	8,43	26,0	147	146	28,2	4,6	+0,22
S2	8,43	26,2	148	149	28,6	4,3	+0,25
S3	8,43	26,5	150	154	29,4	3,9	+0,34
S4	8,43	26,3	147	148	28,5	4,4	+0,26
S5	8,43	26,7	149	152	29,1	4,0	+0,32
S6	8,43	26,1	148	150	28,8	4,2	+0,24
S7	8,43	26,4	149	151	29,0	3,8	+0,36
S8	8,43	26,0	147	147	28,3	4,5	+0,23
S9	8,43	27,0	150	153	29,6	3,7	+0,40
S10	8,43	26,3	148	149	28,9	4,1	+0,29

Parameter-parameter yang disajikan pada tabel 1 merupakan faktor utama yang memengaruhi keseimbangan sistem karbonat di dalam air. Nilai pH dan alkalinitas yang relatif tinggi, disertai dengan keberadaan ion kalsium dalam jumlah dominan dibandingkan magnesium, menunjukkan bahwa air berada pada kondisi yang mendukung terjadinya kejenuhan terhadap kalsium karbonat. Kondisi ini secara teoritis meningkatkan kecenderungan air untuk membentuk endapan mineral selama penyimpanan.

Dominasi Kation Ca^{2+} terhadap Mg^{2+} dan Implikasinya terhadap Pembentukan Endapan

Analisis kualitatif menunjukkan bahwa endapan putih mengandung kation Ca^{2+} dan Mg^{2+}, yang ditunjukkan oleh terbentuknya endapan karakteristik setelah direaksikan dengan reagen golongan IV dan V [8]. Analisis kuantitatif kation menunjukkan bahwa pada seluruh sampel, ion Ca^{2+} merupakan kation dominan dibandingkan Mg^{2+}. Misalnya, pada salah satu sampel representatif, konsentrasi Ca^{2+} terukur sebesar 28,2 mg/L, sedangkan Mg^{2+} hanya 4,6 mg/L. Rasio Ca/Mg yang tinggi ini mengindikasikan bahwa pembentukan endapan mineral dalam AMDK alkali water lebih dikendalikan oleh kalsium dibandingkan magnesium [4].

Untuk memperjelas dominasi ion kalsium dibandingkan magnesium pada seluruh sampel, dilakukan visualisasi perbandingan konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Visualisasi ini memperkuat hasil analisis kuantitatif bahwa kalsium merupakan kation dominan yang berperan utama dalam pembentukan endapan pada AMDK alkali water [4].



Gambar 1. Perbandingan konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada AMDK alkali water

Dominasi kalsium memiliki implikasi penting terhadap jenis endapan yang terbentuk. Dalam sistem air alkali dengan alkalinitas relatif tinggi, kalsium cenderung berikatan dengan ion karbonat (CO_3^{2-}) membentuk kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang bersifat sukar larut. Hal ini diperkuat melalui uji reaksi endapan dengan larutan HCl yang menghasilkan gelembung gas CO_2, yang merupakan indikasi khas keberadaan senyawa karbonat. Dengan demikian, kombinasi antara data kation dan uji reaksi kimia mendukung identifikasi endapan putih sebagai $CaCO_3$ [8].

Nilai Langelier Saturation Index (LSI) dan Kondisi Supersaturasi $CaCO_3$

Berdasarkan parameter fisikokimia yang telah dianalisis, nilai Langelier Saturation Index

(LSI) pada seluruh sampel menunjukkan nilai positif, dengan kisaran antara +0,22 hingga +0,40. Nilai ini menandakan bahwa air berada pada kondisi supersaturasi terhadap kalsium karbonat.

Nilai LSI positif mengindikasikan bahwa secara termodinamik air memiliki kecenderungan untuk mengendapkan $CaCO_3$, terutama ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan seperti pelepasan CO_2 terlarut selama penyimpanan. Meskipun LSI tidak dimaksudkan untuk memprediksi laju atau jumlah endapan secara kuantitatif, indeks ini secara luas digunakan sebagai indikator awal stabilitas kimia air [7,9,10]. Dalam konteks AMDK alkali water, nilai LSI positif menunjukkan bahwa air tidak berada dalam kondisi stabil secara mineral dan berpotensi mengalami pembentukan endapan selama masa simpan.

Kesesuaian Nilai LSI dengan Fenomena Pembentukan Endapan Putih

Fenomena terbentuknya endapan putih pada AMDK alkali water diamati secara visual selama penyimpanan produk. Endapan tampak sebagai partikel putih halus yang mengendap di dasar kemasan tanpa perubahan warna atau bau air secara signifikan.

Keberadaan endapan ini sesuai dengan hasil perhitungan LSI yang menunjukkan nilai positif pada seluruh sampel. Kesesuaian antara kondisi supersaturasi yang diprediksi oleh LSI dan terbentuknya endapan putih secara nyata menunjukkan bahwa LSI dapat berfungsi sebagai indikator awal yang relevan dalam memprediksi kecenderungan pembentukan endapan $CaCO_3$ pada AMDK alkali water. Temuan ini memperkuat hubungan antara pendekatan teoritis berbasis kesetimbangan kimia dengan fenomena lapangan yang terjadi selama penyimpanan produk.

Nilai Langelier Saturation Index (LSI) positif yang diperoleh pada seluruh sampel menunjukkan bahwa air berada pada kondisi supersaturasi terhadap kalsium karbonat. Kondisi ini sejalan dengan laporan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa air dengan pH basa dan alkalinitas tinggi cenderung memiliki potensi presipitasi $CaCO_3$ akibat pergeseran kesetimbangan sistem karbonat, terutama selama proses penyimpanan ketika terjadi pelepasan CO_2 terlarut. Namun demikian, sebagian besar kajian terdahulu memfokuskan penggunaan LSI pada sistem air distribusi atau air tanah. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan LSI juga relevan untuk mengevaluasi stabilitas kimia produk air minum dalam kemasan alkali water, yang secara nyata memperlihatkan pembentukan endapan selama masa simpan [2,11].

Implikasi terhadap Stabilitas Kimia AMDK Alkali Water

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik kimia AMDK alkali water, yang meliputi pH basa, alkalinitas relatif tinggi, serta dominasi ion kalsium, berkontribusi terhadap kondisi supersaturasi $CaCO_3$ dan terbentuknya endapan putih selama penyimpanan. Meskipun endapan tersebut tidak secara langsung menunjukkan risiko kesehatan, keberadaannya berpotensi memengaruhi persepsi mutu dan penerimaan konsumen.

Dari perspektif industri air minum dalam kemasan (AMDK), khususnya produk alkali water, nilai Langelier Saturation Index (LSI) yang positif pada seluruh sampel menunjukkan bahwa formulasi air dengan pH dan alkalinitas tinggi rentan terhadap ketidakstabilan mineral selama masa simpan. Oleh karena itu, evaluasi berbasis LSI dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu awal dalam pengendalian mutu dan optimasi formulasi, terutama melalui pengendalian alkalinitas total dan konsentrasi ion kalsium, guna meminimalkan risiko pembentukan endapan dan menjaga stabilitas produk selama penyimpanan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah air minum dalam kemasan alkali water yang diteliti memiliki karakteristik kimia berupa pH basa, alkalinitas relatif tinggi, serta dominasi ion kalsium dibandingkan magnesium. Kondisi tersebut menyebabkan air berada pada keadaan supersaturasi terhadap kalsium karbonat, yang ditunjukkan oleh nilai Langelier Saturation Index (LSI) positif pada seluruh sampel. Selama penyimpanan, terbentuk endapan putih yang berdasarkan analisis kualitatif dan kuantitatif teridentifikasi sebagai kalsium karbonat ($CaCO_3$). Kesesuaian antara nilai LSI positif dan terbentuknya endapan $CaCO_3$ menunjukkan bahwa LSI dapat digunakan sebagai indikator awal yang relevan dalam mengevaluasi stabilitas kimia AMDK alkali water dan kecenderungan

pembentukan endapan selama masa simpan. Oleh karena itu, evaluasi stabilitas kimia berbasis LSI menjadi aspek penting dalam pengendalian mutu AMDK alkali, khususnya untuk produk dengan karakteristik pH dan alkalinitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. F. Langelier, "The analytical control of anti-corrosion water treatment," *Journal of the American Water Works Association*, vol. 28, no. 10, pp. 1500–1521, 1936.

[2] World Health Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality*. [Online]. Available: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950. [Accessed: Dec. 28, 2025].

[3] V. L. Snoeyink and D. Jenkins, *Water Chemistry*, 1st ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1980.

[4] W. Stumm and J. J. Morgan, *Aquatic Chemistry*, 3rd ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1996.

[5] Y. Tang, Y. Yang, and Z. Liu, "Calcium carbonate scaling mechanisms in alkaline water systems," *Water Research*, vol. 188, p. 116519, 2021.

[6] L. N. Plummer and E. Busenberg, "The solubilities of calcite, aragonite, and vaterite in CO_2–H_2O solutions," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 46, no. 6, pp. 1011–1040, 1982.

[7] American Water Works Association, *Water Quality and Treatment*, 6th ed. Denver, CO, USA: American Water Works Association, 2011.

[8] A. I. Vogel, *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*, 5th ed. Harlow, UK: Longman Scientific & Technical, 1989.

[9] J. W. Morse, R. S. Arvidson, and A. Lüttge, "Calcium carbonate formation and dissolution," *Chemical Reviews*, vol. 107, no. 2, pp. 342–381, 2007.

[10] D. C. Harris, *Quantitative Chemical Analysis*, 9th ed. New York, NY, USA: W. H. Freeman and Company, 2015.

[11] J. A. Cotruvo, "Drinking water quality and contaminants of emerging concern," in *Drinking Water Quality and Contaminants Guide*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2019, vol. 1, pp. 1–28.