Kalium Permanganat:

Termodinamika Mengenai Transport Ionik dalam Air

Nur Intan Feronika¹, Rahadian Zainul²

¹Chemistry Education, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

²Physical Chemistry Laboratory, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

¹E-mail: intanferonika14@gmail.com

²E-mail : rahadianzmsiphd@yahoo.com

Abstrak. Kalium permanganat adalah suatu senyawa kimia anorganik yang memiliki rumus KMnO_4 dan merupakan garam yang mengandung ion K^+ dan MnO_4^- . Kalium permanganat larut dalam air dan menghasilkan larutan berwarna merah muda atau ungu. Senyawa ini merupakan suatu agen pengoksidasi yang baik, dimana mangan memiliki bilangan oksidasi +4 sehingga dapat dimanfaatkan di bidang kesehatan maupun industri. Review ini bertujuan untuk menganalisis bentuk dari struktur serta interaksi dalam transport ion Kalium Permanganat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan aplikasi Chemdraw 15.0 (Komputasi), penelusuran literature dengan Endnote X7, serta perhitungan matematis. Kalium permanganat memiliki struktur kristal ortorombik dengan jarak Mn–O adalah $1.62 \text{ \AA}$ dan merupakan larutan elektrolit yang memiliki sifat termokimia yaitu entropi molar standar sebesar $171,7 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, energi bebas Gibbs sebesar $-713,8 \text{ kJ/mol}$, serta entalpi pembentukan standar sebesar $-813,4 \text{ kJ/mol}$. Interaksi yang terjadi pada ion KMnO_4 dapat diperhatikan melalui beberapa parameter, diantaranya adalah konduktivitas, mobilitas, serta kecepatan hanyut ionnya. Konduktivitas dari KMnO_4 dipengaruhi oleh konsentrasi yaitu semakin banyak ion yang ada dalam larutan maka mobilitas ion yang juga berhubungan dengan kecepatan hanyut dalam larutan akan semakin berkurang sehingga nilai konduktivitas akan menurun. Mobilitas ion K^+ yaitu $7,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$, serta kecepatan hanyut KMnO_4 sebesar $0,33 \text{ V/cm}$. Berdasarkan metoda komputasi dengan ChemOffice 3D, energi total yang dibutuhkan KMnO_4 untuk bergerak sebesar $680.5699 \text{ kcal/mol}$ pada suhu 300 K dengan RMS gradient yaitu 33.114 .

Kata Kunci : *konduktivitas, mobilitas, bilangan transport, dan kecepatan hanyut, termokimia.*

I. Pendahuluan

Kalium permanganate merupakan suatu senyawa kimia anorganik yang dapat digunakan sebagai obat-obatan. Kalium permanganat dijadikan bahan untuk obat yang digunakan untuk membersihkan luka dan dermatis. Kalium Permanganat memiliki rumus kimia KMnO_4 dan merupakan garam yang mengandung ion K^+ dan MnO_4^- . Kalium permanganat merupakan agen pengoksidasi yang kuat. Kalium permanganat larut dalam air menghasilkan larutan⁽²³⁴⁾ berwarna merah muda. Penguapan larutan ini meninggalkan kristal prismatic berwarna keunguan hitam.

Kalium permanganate memiliki nama lain yaitu chameleon mineral, CI 77755, kristal condy's dan cairox. Kalium permanganat merupakan kristal perunggu dan stabil. Kalium permanganat dapat bereaksi dengan senyawa yang mudah menyala sehingga menyebabkan kebakaran dan dijauhkan dari senyawa pereduksi, asam kuat, material organik, peroksida, alkohol dan senyawa kimia logam aktif.

$\text{KMnO}_4^{(181-183)}$ adalah garam kalium dari asam permanganat (HMnO_4) yang tidak diketahui dalam keadaan bebas. Kalium permanganat adalah agen pengoksidasi kuat. Ini digunakan dalam proses industri dan pertanian dan dalam sintesis kimia. Sifat pengoksidasi yang kuat dari KMnO_4 ini digunakan dalam berbagai proses industri termasuk dekontaminasi/ disinfeksi air, sebagai suatu algicide dan sebagai agen pemutih dalam finishing tekstil.

Dari hasil penelitian toksisitas⁽²²¹⁾ kalium permanganat adalah sebagai berikut :

1. Apabila dimakan oleh tikus dengan dosis 1090-2157 mg/kg mengakibatkan kematian.
2. Apabila dimakan oleh wanita dengan konsentrasi terkecil 100 mg/kg mengakibatkan kematian.
3. Apabila dimakan oleh babi dengan dosis 1151 mg/kg mengakibatkan kematian sebanyak 50 %.

Senyawa ini panas apabila dimakan atau dihisap, juga mengakibatkan panas apabila terjadi kontak dengan kulit. Sedikit larutan Kalium permanganat dapat menyebabkan melarutnya seng dengan menggunakan air yang banyak. Kalium permanganat ini merupakan salah satu elektrolit kuat.

Kalium permanganat⁽¹⁸⁶⁻¹⁸⁹⁾ diproduksi secara industri dari mangan dioksida yang terdapat sebagai mineral pirolusit⁽²⁴⁶⁾. MnO_2 melebur dengan kalium hidroksida, lalu dipanaskan dalam udara maupun dengan sumber lain dari oksigen seperti kalium nitrat atau kalium klorat. Tahapan ini menghasilkan kalium manganat.

Sebagai suatu oksidan^(206;243), kalium permanganat dapat bertindak sebagai desinfektan⁽²³³⁾. Misalnya larutan encer digunakan untuk mengobati sariawan, desinfektan untuk tangan, pengobatan untuk phimpolix ringan, dermatitis dan infeksi jamur pada tangan dan kaki. Kalium permanganat dapat diperoleh di toko kolam pasokan, digunakan di daerah pedesaan untuk menghapus besi dan hydrogen sulfide dari sumur dan air limbah. Secara historis, ini digunakan untuk mensterilkan air minum.

Kalium berinteraksi didalam air atau dapat dikatakan terion didalam air, sehingga dapat menghantarkan listrik. Proses ini dapat diperhatikan dari termodinamika⁽¹⁹⁷⁾ yang terjadi pada larutan KMnO_4 baik dari termokimianya berupa entropi molar standar KMnO_4 adalah $171,7 \text{ JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$, energi bebas Gibbs KMnO_4 adalah $-713,8 \text{ kJ/mol}$, entalpi pembentukan standar KMnO_4 adalah $-813,4 \text{ kJ/mol}$ maupun interaksi molekulnya yang dapat dinyatakan dalam transport ion⁽²⁰¹⁾ yang melibatkan konduktivitas dari larutan KMnO_4 yang dapat menghantarkan arus listrik, yang dipengaruhi oleh kecepatan hanyut, mobilitas ion, dan nilai bilangan transportnya.

II. Metode

Metode yang digunakan dalam review ini adalah penggunaan aplikasi Chemdraw (Komputasi), penelusuran literature dengan Endnote X7, serta perhitungan matematis. Untuk penelusuran literature

1. Pilih aplikasi Endnote X7, lalu klik Online Search pilih PubMed NLM
2. Lalu pilih jenis referensi yaitu Ann Rev Physical Chem
3. Dalam mencari referensi, pilih Any Field
4. Setelah referensi didapatkan, lalu disitasi ke word

Penggambaran senyawa KMnO_4 menggunakan aplikasi Chemdraw keluaran ChemOffice 15.0. Review dilakukan dengan tahap, yakni (1) Analisis molekul KMnO_4 secara dua dimensi dengan menggunakan ChemDraw 2D, (2) Analisis molekul KMnO_4 secara tiga dimensi menggunakan Chem3D. Pada bagian Chem3D, struktur KMnO_4 dianalisis interaksi antar ionnya dengan langkah sebagai berikut :

1. Menghitung MM2 dari masing-masing molekul yang terdiri atas MM2 minimization, MM2 dynamics dan MM2 properties. Langkahnya yaitu klik pada menu calculations, pilih MM2 minimization kemudian klik minimize energy lalu klik run, langkah ini juga digunakan untuk menentukan molecular dynamics dan compute properties.
2. Menghitung charger huckle dari setiap molekul. Langkahnya yaitu klik menu calculations, pilih menu extended huckle lalu pilih calculate charges.
3. Analisis surface molekul, diantaranya Surface Solvent Accesible dengan tipe solid, wire mesh. Langkahnya yaitu klik surfaces lalu pilih display mode, lalu pilih tipe solid. Langkah ini dapat digunakan juga untuk tipe wire mesh.

III. Hasil dan Pembahasan

1. Karakterisasi

Kalium permanganate adalah suatu senyawa kimia anorganik dan obat-obatan. Kalium permanganate sebagai obat digunakan untuk membersihkan luka dan dermatitis. Senyawa ini memiliki karakteristik diantaranya rumus kimia KMnO_4 dan merupakan garam^(204;216) yang mengandung ion K^+ dan MnO_4^- . Senyawa ini merupakan agen pengoksidasi yang kuat. KMnO_4 larut dalam air menghasilkan larutan⁽²⁴¹⁾ berwarna merah muda atau ungu yang intens. Penguapan larutan ini meninggalkan Kristal⁽²¹⁸⁾ prismatic berwarna keunguan hitam. Ditahun 2000 produksi diseluruh dunia diperkirakan mencapai 30.0000 ton. Dalam senyawa ini, mangan memiliki bilangan oksidasi +7.

Analisis GAP

Sifat fisik dan kimia⁽²⁴²⁾

Keadaan fisik dan penampilan :

Bau: Tidak Berbau

Rasa: manis, astringent.

Molekul berat: 158,03 g / mol

Warna: Ungu.

Densitas : 2.703 g/cm³.

Spesifik Gravity: 2,7 @ 15 C (Air = 1).

Properti Dispersi: Lihat kelarutan dalam air, aseton metanol,.

Kelarutan:

Mudah larut dalam metanol, aseton. Sebagian larut dalam air dingin, air panas. Larut dalam Asam Sulfat

.Gambar 1. a) Molekul KMnO_4 dalam bentuk 3D mode solid, b) Molekul KMnO_4 dengan adanya PEB yang ditandai dengan tanda bola berwarna pink.,c) Molekul KMnO_4 dalam bentuk 2D,d) Molekul KMnO_4 3D dari Chem 3D 15.0 dalam bentuk solvent accessible,e Molekul KMnO_4 3D dari Chem 3D 15.0 dalam display mode : wire mesh.(Chemoffice 3D Version 15, Perkinelmer Informatic. Inc, 2015)

Keterangan :

Atom	Charge Huckle
K(1)	0.9986
Mn(2)	-5.02746
O(3)	0.996774
O(4)	0.996774
O(5)	1.31593
O(6)	0.719378

MM2	c3dAtomRadius	Eps	Weight	Reduct	Lone Pairs	Quality
190	1.950	0.160	38.964	0.000	0	3
256	2.654	0.200	54.938	0.000	0	1
7	1.740	0.066	15.995	0.000	2	4
81	1.740	0.066	15.995	0.000	0	1

Bond	KS	Bond Length	Dipole	Quality
7-20	4.600	0.600	0.900	4

-----MMFF94 Molecular Dynamics-----

Iteration 1: energy = 89.38 kcal/mol
 Iteration 2: energy = 89.38 kcal/mol
 Iteration 3: energy = 89.39 kcal/mol
 Iteration 4: energy = 89.4 kcal/mol
 Iteration 5: energy = 89.38 kcal/mol
 Iteration 6: energy = 89.36 kcal/mol
 Iteration 7: energy = 89.34 kcal/mol
 Iteration 8: energy = 89.33 kcal/mol
 Iteration 9: energy = 89.32 kcal/mol
 Iteration 10: energy = 89.31 kcal/mol
 Calculation ended

Iteration 11: energy = 89.3 kcal/mol
 Iteration 12: energy = 89.3 kcal/mol
 Iteration 13: energy = 89.3 kcal/mol
 Iteration 14: energy = 89.29 kcal/mol
 Iteration 15: energy = 89.29 kcal/mol
 Iteration 16: energy = 89.29 kcal/mol
 Iteration 17: energy = 89.27 kcal/mol
 Iteration 18: energy = 89.29 kcal/mol
 Iteration 19: energy = 89.28 kcal/mol
 Iteration 20: energy = 89.28 kcal/mol

Calculate MMFF94 Energy and Gradient-----

The total energy for this frame: 18.852 kcal/mol

The RMS Gradient is: 33.114

PenMM2 Calculation completed successfully pada T =300 K

MM2 Calculation completed successfully

-----MM2 Properties-----

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of Mn(2)

Warning: Some parameters are guessed (Quality = 1).

Stretch:	106.5933
Bend:	506.6316
Stretch-Bend:	17.9663
Torsion:	54.8802
Non-1,4 VDW:	0.0527
1,4 VDW:	4.1514
Charge/Charge:	-12.8808
Charge/Dipole:	0.1078
Dipole/Dipole:	3.0675
Total Energy:	680.5699 kcal/mol

The total energy for this frame: 680.570 kcal/mol

Calculation ended

Penyusun dari $KMnO_4$

1. Kalium

Gambar 2. a) Potongan logam Kalium⁽²¹⁹⁾, b) Ion K dari Chem 3D 15.0.

Kalium adalah suatu unsure kimia dalam table periodic yang memiliki lambang K dan nomor atom 19. Kalium berasal dari bahasa Neo-Latin. Kalium awalnya diisolasi dari potas, abu tanaman yang merupakan asal nama bahasa Inggrisnya. Dalam table periodic, Kalium adalah salah satu logam alkali. Semua Logam alkali memiliki satu electron valensi dikelompokkan elektron terluarnya, yang mudah dilepaskan untuk membentuk ion bermuatan positif, sebuah kation, yang jika bergabung dengan anion membentuk garam. Kalium di alam hanya terdapat pada garam ionic. Unsur Kalium adalah logam alkali, lunak, berwarna putih keperakan. Kalium teroksidasi di udara dan bereaksi dengan air, menghasilkan panas yang cukup untuk menyalakan hydrogen yang dipancarkan dalam reaksi dan terbakar dengan api berwarna ungu. Kalium ditemukan terlarut dalam air laut yaitu 0,04 % kalium berdasarkan berat dan merupakan bagian dari banyak mineral.

Ion ini memiliki titik lebur 336,53 K dan titik didih 1032 K. Ion K^+ juga memiliki kalor peleburan sebesar 2,33 kJ/mol dan kalor penguapan sebesar 76,9 kJ/mol serta kapasitas kalor molar yaitu 29,6 J/(mol·K). Pembentukan senyawa $KMnO_4$ ini berasal dari ion K^+ yang pada umumnya berasal dari KOH. Atom K memiliki jari-jari atom⁽²¹¹⁾ sebesar empiris :227 pm, lalu jari-jari kovalen sebesar 203±12 pm, serta jari-jari vanderwaals sebesar 275 pm, dan memiliki struktur kristal yaitu kubus badan badan.

Kalium⁽¹⁹¹⁻¹⁹⁴⁾ adalah logam berdensitas paling rendah kedua setelah litium. Kalium mudah dipotong dengan pisau. Kalium yang baru dipotong berwarna keperakan lalu berubah dengan tanda munculnya noda abu-abu saat terpapar udara. Dalam uji nyala api, Kalium dan senyawanya memancarkan sinar berwarna ungu dengan panjang gelombang puncak emisi 766,5 nanometer.

Atom kalium netral memiliki 19 elektron⁽²²⁴⁻²²⁵⁾, satu lebih banyak daripada konfigurasi gas mulia argon yang sangat stabil. Energy ionisasi pertamanya yaitu 418,8 kJ/mol, atom kalium lebih cenderung kehilangan electron terakhir sehingga bermuatan positif daripada mendapatkan satu electron

untuk memperoleh muatan negative. Proses ini membutuhkan sangat sedikit energy⁽²³⁰⁾ agar kalium mudah teroksidasi⁽²¹⁰⁾ oleh oksigen atmosfer. Energy ionisasi^(220:237) kedua sangat tinggi (3052 kJ/mol), karena pelepasan dua electron melanggar konfigurasi electron gas mulia yang stabil (konfigurasi argon inert). Kalium tidak mudah membentuk senyawa dengan keadaan oksidasi +2 atau lebih tinggi.

Kalium adalah logam yang sangat aktif bereaksi hebat dengan oksigen dengan air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida⁽²⁴⁵⁾ dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena dapat menghasilkan letupan dan menghasilkan gas hydrogen.. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer menghasilkan air⁽²⁴⁹⁾ yang bereaksi dengan sisa kalium

2. Ion permanganat

Gambar 3. a) gambar Ikatan Ion Permanganat dalam bentuk 2D ,b). gambar ion permanganate dalam bentuk 3D. .

(Chemoffice 3D Version 15, Perkinelmer Informatic. Inc, 2015)

Atom	Charge Huckle
Mn(1)	-4.97516
O(2)	1.97962
O(3)	1.97962
O(4)	1.32463
O(5)	0.69129

MM2 Constant	Value	Quality
Cubic stretch constant	-2.000	4
Quartic stretch constant	2.333	4

-----MMFF94 Molecular Dynamics-----

Iteration 1: energy = 150.3 kcal/mol
 Iteration 2: energy = 150.4 kcal/mol
 Iteration 3: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 4: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 5: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 6: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 7: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 8: energy = 152.7 kcal/mol
 Iteration 9: energy = 152.9 kcal/mol
 Iteration 10: energy = 153 kcal/mol
 Iteration 11: energy = 152.9 kcal/mol
 Iteration 12: energy = 152.8 kcal/mol

Iteration 13: energy = 152.8 kcal/mol
 Iteration 14: energy = 152.9 kcal/mol
 Iteration 15: energy = 152.8 kcal/mol
 Iteration 16: energy = 152.7 kcal/mol
 Iteration 17: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 18: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 19: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 20: energy = 152.6 kcal/mol
 Iteration 21: energy = 152.5 kcal/mol
 Iteration 22: energy = 152.5 kcal/mol
 Iteration 23: energy = 152.5 kcal/mol
 Iteration 24: energy = 152.5 kcal/mol
 Iteration 25: energy = 152.5 kcal/mol

-----MMFF94 Molecular Dynamics-----

Calculate MMFF94 Energy and Gradient-----

The total energy for this frame: 18.852 kcal/mol

The RMS Gradient is: 33.114

-----MM2 Properties-----

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of Mn(2)

Warning: Some parameters are guessed (Quality = 1).

Stretch: 64.6178
 Bend: 485.7959
 Stretch-Bend: 5.4827
 Torsion: 69.1365
 Non-1,4 VDW: -0.0844
 1,4 VDW: -0.5388
 Charge/Charge: 0.0000
 Charge/Dipole: 0.0000
 Dipole/Dipole: 2.3491
 Total Energy: 626.7587 kcal/mol

The total energy for this frame: 626.759 kcal/mol

Calculation ended

Permanganat adalah sebuah senyawa kimia yang mengandung ion manganat (VII) ion (MnO_4^-). Mangan mempunyai bilangan oksidasi sebesar +7, maka ion permanganat(VII) merupakan oksidator kuat. Ion ini mempunyai bentuk geometri⁽²¹⁵⁾ tetra hedral. Larutan permanganate biasanya berwarna ungu dan bersifat netral dan sedikit mempunyai sifat alkalinitas.

Permanganate (VII) dalam larutan asam akan tereduksi sehingga tidak berwarna dan bilangan oksidasinya menjadi +2 (ion mangan(II))

Permanganate (VII) dalam larutan basa akan tereduksi warnanya menjadi hijau dengan bilangan oksidasi +6 (manganat MnO_4^{2-}).

Permanganate (VII) dalam larutan netral akan tereduksi sehingga bilangan oksidasinya menjadi +4, warnanya hijau (mangan dioksida MnO_2)

2. Sintesis

1. Struktur Molekul

KMnO₄ membentuk Kristal⁽²²⁷⁾ ortorombik dengan konstanta : $a = 910.5 \text{ pm}$, $b = 572.0 \text{ pm}$, $c = 742.5 \text{ pm}$. Motifnya hampir serupa dengan barium sulfat dikarenakan membentuk larutan padat. Dalam padatan (seperti pada larutan), masing masing pusat MnO₄⁻ adalah tetrahedral. Jarak Mn-O adalah $1.62 \text{ \AA}$.

Gambar 4. Molekul KMnO₄ dalam bentuk 3D dengan data jari jari.
(Chemoffice 3D Version 15, Perkinelmer Informatic. Inc, 2015)

2. Sintesis KMnO₄

Kalium permanganate⁽¹⁸⁶⁻¹⁸⁹⁾ diproduksi secara industri dari mangan dioksida dan juga ditemukan sebagai mineral pirolusit. MnO₂ melebur dengan kalium hidroksida dan dipanaskan dalam udara atau dengan sumber lain dari oksigen seperti kalium nitrat atau kalium klorat. Tahapan ini menghasilkan kalium manganat.

Dengan natrium hidroksida, produk yang dihasilkan adalah senyawa Mn(V). Kalium permanganate (KMnO₄) merupakan salah satu senyawa yang bersifat oksidator⁽¹²⁵⁻¹³⁰⁾ sehingga dapat digunakan sebagai desinfektan maupun sintesis kimia organik^(203;232). Pada penelitian ini dilakukan pembuatan kalium permanganate dari pasir mangan (Pirolusit)⁽²⁰²⁾ Kliripan, Kulonprogo, Yogyakarta. Proses dimulai dengan penambahan KOH berlebih dan oksigen pada pasir mangan kemudian dipanaskan pada suhu 5000 C hingga terbentuk Kristal warna hijau. Selanjutnya Kristal dilarutkan dalam aquades dan disaring. Filtrat hasil penyaringan dituangkan sampai terbentuk larutan pekat. Larutan tersebut dipanaskan sehingga terbentuk Kristal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pasir mangan Kulonprogo, Yogyakarta dapat digunakan untuk pembuatan KMnO₄. Kalium manganat kemudian diubah menjadi permanganate melalui oksidasi elektrolit dalam media basa :

3. Termodinamika

Selanjutnya akan dibahas mengenai termodinamika dari KMnO₄ baik dari sifat sifatnya seperti entalpi, entropi dan energi bebas (termodinamika) dan Viskositas.

1. Termodinamika

Ada beberapa sifat yang harus diketahui yaitu :

1. Entalpi

Entalpi⁽¹³¹⁻¹³⁸⁾ adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi internal dari suatu sistem termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Entalpi

dapat dihitung berupa nilai perubahannya. Secara matematis, perubahan entalpi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (1)$$

di mana:

- H = entalpi sistem (joule)
- U = energi internal (joule)
- P = tekanan dari sistem (Pa)
- V = volume sistem (m^3)

Entalpi pembentukan standar $KMnO_4$ adalah -813,4 kJ/mol.

2. Entropi

Entropi⁽¹³⁹⁻¹⁴⁶⁾ adalah besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per satuan temperature⁽²²⁹⁾ yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha^(209;231). Entropi dari sebuah sistem tertutup selalu naik dan pada kondisi transfer panas, energi panas mengalir dari suatu zat yang memiliki suhu tinggi ke suatu zat yang memiliki suhu lebih rendah. Sistem yang panasnya terisolasi berjalan satu arah (irreversible). Entropi suatu sistem berguna dalam mengetahui bahwa energi tidak bisa digunakan untuk melakukan usaha pada suatu proses termodinamika. Proses-proses itu hanya bisa diterapkan oleh energi yang sudah diubah bentuknya, dan saat energi diubah menjadi kerja/usaha, maka berdasarkan teoritis mempunyai efisiensi maksimum tertentu. Selama kerja/usaha tersebut, entropi akan berada pada sistem, selanjutnya terdisipasi dalam bentuk panas buangan. Entropi reaksi standar (ΔS°) adalah perubahan entropi untuk reaksi yang terjadi pada 1 atm dan 250C. Entropi molar standar $KMnO_4$ adalah $171,7 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$.

3. Energi Bebas

Energi bebas adalah suatu potensial termodinamika yang dapat digunakan untuk menghitung kerja reversible maksimum yang dapat dilakukan oleh sistem termodinamika pada suhu dan tekanan konstan (isothermal, isobaric).

Proses spontan didasarkan atas 2 faktor, yaitu :

- H yang menurun
- ΔS yang meningkat

Untuk merumuskan dua faktor di atas diperlukan besaran yang disebut : Energi Bebas (G)⁽¹⁴⁶⁻¹⁵³⁾

$$\text{Rumus : } \Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

Keterangan : ΔG = perubahan energi bebas

ΔH = perubahan entalpi

T = temperatur

ΔS = perubahan entropi (kal/der. mol)

Energi bebas Gibbs $KMnO_4$ adalah -713,8 kJ/mol.

2. Viskositas

Viskositas⁽¹⁵⁴⁻¹⁶¹⁾ adalah suatu cara untuk menyatakan berapa daya tahan dari aliran yang diberikan oleh suatu cairan. Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida. Kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan untuk mengalir. Viskositas cairan akan menimbulkan gesekan antar bagian atau lapisan cairan yang bergerak satu terhadap yang lain. Hambatan atau gesekan yang terjadi ditimbulkan oleh gaya kohesi didalam zat cair.

Setiap zat cair memiliki viskositas yang berbeda beda. Hal ini menyebabkan daya alir setiap zat cair pun berbeda beda. Didalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat

cair. Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran yang disebut koefisien viskositas. Satuan SI nya adalah Ns/m atau Pascal second (Pa s). Satuan CGS untuk SI, koefisien viskositas adalah $\text{dyn.s/cm} = \text{poise (p)}$. Viskositas kinematik didapatkan melalui perbandingan viskositas absolut dengan kerapatan :

viskositas kinematik = viskositas absolute/kerapatan

Dalam dunia kimia fisika, ada beberapa prinsip penetapan viskositas yaitu :

1. Viskosimeter kapiler

Pada metode ini viskositas ditentukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan cairan uji untuk lewat antara dua tanda yaitu tanda awal dan akhir ketika ia mengalir karena gravitasi, melalui suatu tabung kapiler vertikal. Waktu alir yang dibutuhkan dari cairan yang diuji jika dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk sebuah cairan dimana viskositasnya sudah diketahui contohnya air untuk lewat antara dua tanda tersebut. h_1 dan h_2 diandaikan masing-masing adalah viskositas dari cairan yang tidak diketahui dan cairan standar, ρ_1 dan ρ_2 merupakan kerapatan dari masing-masing cairan, serta t_1 dan t_2 ialah waktu alir dalam detik. Viskositas cairan yang tidak diketahui adalah :

$$h_1 = \rho_1 \cdot t_1 \quad (1)$$

$$h_2 = \rho_2 \cdot t_2 \quad (2)$$

$$\eta_1 = \rho_1 \cdot t_1 \cdot h_2 \quad (3)$$

$$\rho_2 \cdot t_2$$

η_2 dan ρ_2 dapat diketahui dari literatur, ρ_1 kita peroleh dari pengukuran kerapatan (berat jenis) dengan metode piknometer, t_1 dan t_2 masing-masing diketahui dengan cara mengukur waktu yang diperlukan oleh zat uji untuk mengalir melalui dua garis tanda pada tabung kapiler viscometer ostwald.

1. Viskometer bola jatuh (viskometer Hoeppler)

Pada viskometer tipe ini, suatu bola besi jatuh ke bawah dalam suatu tabung gelas yang hampir vertikal, yang mengandung cairan yang diuji pada temperatur konstan. Kecepatan jatuhnya bola yang memiliki kerapatan serta diameter tertentu adalah kebalikan fungsi viskositas sample tersebut. Waktu yang dibutuhkan bola tersebut untuk jatuh antara dua tanda diukur dengan teliti serta diulangi beberapa kali.

Viskositas cairan dihitung dengan rumus :

$$f = 6 \pi \eta r v \quad (4)$$

dimana f : gaya tahan

η : viskositas

r : jari-jari bola

v : kecepatan

Kesetimbangan gaya ke bawah yaitu $(m - m_0)g = f$ pada viskositas, sehingga

$$6 \pi \eta r v = (m - m_0) g \quad (5)$$

Keterangan :

m : masa bola logam

m_0 : massa cairan yang dipindahkan oleh bola logam

g : konstanta

Untuk larutan KMnO_4 memiliki viskositas yang juga dipengaruhi oleh konsentrasinya. Semakin besar konsentrasi KMnO_4 berarti semakin kental pula larutannya, dan nilai koefisien viskositasnya juga akan lebih besar.

3. Energi Stability

Energi stabilitas yaitu energi dalam keadaan termodinamika pada suatu molekul yang mengalami kesetimbangan kimia dengan lingkungannya. Berikut optimasi energi stability(235;238;251-252) dari molekul Kalium permanganat yang ditinjau menggunakan Chem Ultra 3D:

MM2 Calculation completed successfully

-----MM2 Dynamics-----

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of Mn(2)

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of O(3)

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of O(4)

Warning: The number of ligands attached does not match the geometry of O(5)
 Optimal bond length of 1.818Å taken from the Measurements window forMn(2)-O(3)
 Optimal bond length of 1.818Å taken from the Measurements window forMn(2)-O(4)
 Optimal bond length of 1.817Å taken from the Measurements window forMn(2)-O(5)
 Optimal bond length of 1.819Å taken from the Measurements window forMn(2)-O(6)
 Warning: Some parameters are guessed (Quality = 1).

Iteration Time Total Energy Potential Energy Temperature

1	0.002	-44.782 ± 0.000	-44.957 ± 0.000	4.88 ± 0.00
2	0.004	15.964 ± 0.000	15.416 ± 0.000	15.33 ± 0.00
3	0.006	207.147 ± 0.000	206.293 ± 0.000	23.88 ± 0.00
4	0.008	519.887 ± 0.000	518.837 ± 0.000	29.35 ± 0.00
5	0.010	831.182 ± 0.000	829.975 ± 0.000	33.74 ± 0.00
6	0.012	990.405 ± 0.000	988.911 ± 0.000	41.79 ± 0.00
7	0.014	904.759 ± 0.000	902.849 ± 0.000	53.39 ± 0.00
8	0.016	630.694 ± 0.000	628.214 ± 0.000	69.31 ± 0.00
9	0.018	320.793 ± 0.000	317.580 ± 0.000	89.81 ± 0.00
10	0.020	107.179 ± 0.000	103.186 ± 0.000	111.61 ± 0.00
11	0.022	10.539 ± 0.000	5.750 ± 0.000	133.87 ± 0.00
12	0.024	-25.611 ± 0.000	-31.243 ± 0.000	157.46 ± 0.00
13	0.026	-27.223 ± 0.000	-33.599 ± 0.000	178.27 ± 0.00
14	0.028	40.771 ± 0.000	33.897 ± 0.000	192.18 ± 0.00
15	0.030	200.882 ± 0.000	193.627 ± 0.000	202.82 ± 0.00
16	0.032	408.967 ± 0.000	401.309 ± 0.000	214.10 ± 0.00
17	0.034	577.733 ± 0.000	569.617 ± 0.000	226.88 ± 0.00

Measurement min max average S.D.

Mn(2)-O(6)	1.819	1.837	1.828	0.007
Mn(2)-O(5)	1.817	1.833	1.826	0.005
Mn(2)-O(4)	1.818	1.832	1.826	0.004
Mn(2)-O(3)	1.818	1.832	1.825	0.004

Calculation ended

4. Transport Ion

Sifat transport adalah kemampuan zat untuk memindahkan materi, energi atau suatu sifat tertentu lainnya dari satu tempat ke tempat lain. Contohnya, molekul molekul (dalam gas, cairan, dan padatan) berdifusi mengikuti suatu gradien konsentrasi, sampai komposisinya seragam. Laju difusi ini merupakan sifat transpor. Laju konduksi termal, transpor energi mengikuti gradien temperatur, merupakan sifat transpor lainnya yang merupakan sifat umum zat dan keadaannya. Konduksi listrik merupakan transpor muatan (oleh ion atau elektron) dalam gradien potensial, dan konduktivitas listrik zat juga merupakan sifat transpor. Viskositas, seperti akan kita lihat, adalah ukuran laju ditransportasi momentum linear melalui fluida, dan karenanya inipun merupakan sifat transpor.

KMnO₄ adalah senyawa yang terion dalam air dan merupakan elektrolit kuat. Ion-ion yang berasal dari senyawa ini akan bergerak didalam air dan menghasilkan sesuatu contohnya adalah dapat menghantarkan listrik jika dihubungkan dengan alat yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. . . KMnO₄ terion sempurna dalam air sehingga merupakan elektrolit kuat. Ada beberapa faktor yang menyebabkan ion dari KMnO₄ ini dapat menghantarkan listrik dan bagaimana gerakan ion ini.

1. Parameter:

Konduktivitas

Pengukuran dasar yang digunakan untuk mempelajari gerakan ion adalah pengukuran tahanan listrik larutan. Teknik standarnya dengan memasuki sel ke dalam satu sisi jembatan tahanan dan kemudian mencari titik keseimbangan, seperti yang dijelaskan dalam buku standar tentang listrik. Kerumitan utama adalah harus digunakannya arus bolak balik, karena arus searah menyebabkan

elektrolisis dan polarisasi, yaitu modifikasi komposisi lapisan muatan yang bersentuhan dengan elektroda. Penggunaan arus bolak balik (dengan frekuensi sekitar 1KHz) dapat menghindarkan polarisasi karena perubahan yang terjadi pada separuh siklus, dibatalkan oleh separuh siklus yang kedua (jika reaksi sebaliknya layak secara kinetika).

Konduktasi dan konduktivitas :

Konduktansi G larutan merupakan kebalikan dari tahanan p . Makin rendah tahanan larutan makin besar konduktansinya. Karena tahanan dinyatakan dengan Ω . Maka konduktansi⁽²⁵⁶⁻²⁵⁸⁾ sampel dinyatakan dalam Ω^{-1} . Kebalikan ohm biasanya disebut mho tetapi sekarang satuannya adalah siemen (s). $1S = 1 \Omega^{-1}$

Tahanan sampel bertambah dengan pertambahan panjang l dan berkurang dengan pertambahan luas penampang lintang A . Oleh karena itu kita menuliskan :

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad (1)$$

Konstanta perbandingan ρ disebut resistivitas sampel. Konduktivitas merupakan kebalikan resistivitas, sehingga :

$$R = \frac{1}{k} \times \frac{l}{A} \text{ atau } k = \frac{1}{RA} \quad (2)$$

Perhitungan konduktivitas secara langsung dari tahanan sampel dan dimensi sel l dan A tidak dapat diandalkan, karena distribusi arusnya rumit. Dalam prakteknya, sel dikalibrasikan dengan sampel yang diketahui konduktivitasnya k^* , dan konstanta sel C ditentukan dari :

$$K^* = \frac{C}{R^*} \quad (3)$$

Dengan R^* merupakan tahanan standar. Dimensi C adalah $(\text{panjang})^{-1}$. Jika sampel mempunyai tahanan R dalam sel yang sama, maka konduktivitasnya adalah:

$$K = \frac{C}{R} \quad (4)$$

Konduktivitas larutan bergantung pada jumlah ion yang ada dan kita biasa memperkenalkan konduktivitas molar Λ_m , yang didefinisikan sebagai:

$$\Lambda_m = \frac{K}{C} \quad (5)$$

Konduktivitas biasanya tersedia dalam $S \text{ Cm}^{-1}$ dan konsentrasi dalam M . Sehingga hubungan praktisnya adalah :

$$\Lambda_m = \frac{100 \times \frac{K}{(S \text{ cm}^{-1}) S} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{C/M} \quad (6)$$

Konduktivitas listrik⁽¹⁶²⁻¹⁶⁶⁾ adalah ukuran kemampuan suatu larutan⁽¹⁶⁷⁻¹⁷³⁾ untuk menghantarkan arus listrik. Arus listrik di dalam larutan dihantarkan oleh ion yang terkandung didalamnya. Ion memiliki karakteristik tersendiri dalam menghantarkan arus listrik. Maka dari itu nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan. Banyaknya ion di dalam larutan juga dipengaruhi oleh padatan terlarut didalamnya. Semakin besar jumlah padatan terlarut di dalam larutan maka kemungkinan jumlah ion dalam larutan juga akan semakin besar, sehingga nilai konduktivitas listrik juga akan semakin besar. Dapat dilihat bahwa terdapat hubungan antara jumlah zat padat terlarut yang dinyatakan dengan TDS dengan nilai konduktivitas listrik. Elektrolit kuat⁽¹⁷⁴⁻¹⁷⁹⁾ adalah zat yang terionisasi sempurna dalam larutan dan meliputi padatan ion dan asam kuat. Sebagai hasil pengionan sempurna, konsentrasi ion dalam larutan sebanding dengan konsentrasi elektrolit yang ditambahkan. Berdasarkan data mengenai konduktivitas larutan KMnO_4 yang telah dilakukan yaitu :

Hasil pengukuran beda potensial dari system MFC menggunakan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dengan subtract whey tahu menggunakan larutan elektrolit⁽²⁵³⁻²⁵⁵⁾ KMnO_4 pada 5 variasi konsentrasi ditunjuk pada gambar :

Gambar 5. Beda potensial variasi konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 ⁽²⁵³⁾

Berdasarkan gambar 1 terlihat adanya perbedaan profil grafik beda potensial dari masing masing konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 namun memiliki pola kenaikan dan penurunan yang hampir sama. Pola kenaikan dan penurunan grafik sesuai dengan fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian. Beda potensial⁽²⁵⁰⁾ maksimum ditunjukkan pada system yang menggunakan subtrat whey tahu dengan kandungan karbohidrat 0,39 % dan larutan KMnO_4 dengan konsentrasi sebesar 0,2 M yaitu menunjukkan hasil beda potensial maksimum sebesar 99,2 mV.

Beda potensial yang dihasilkan system dengan variasi konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 dapat dijelaskan melalui persamaan Nerst yaitu :

$$E = E^\circ - RT \ln ([\text{MnO}_2] / [\text{MnO}_4^-])$$

Dari persamaan Nerst tersebut dapat diketahui bahwa potensial dari kompartmen katoda⁽²²⁶⁾ secara umum tergantung pada perbandingan konsentrasi MnO_2 dan MnO_4^- $[\text{MnO}_2]/[\text{MnO}_4^-]$, oleh karena itu dengan adanya variasi konsentrasi maka akan dihasilkan beda potensial akhir yang bervariasi, hasil perhitungan secara teoritis menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi yang digunakan maka nilai $[\text{MnO}_2]/[\text{MnO}_4^-]$ akan semakin kecil sehingga potensialnya semakin besar, oleh karena itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa beda potensial yang dihasilkan oleh system MFC dengan larutan elektrolit KMnO_4 dengan konsentrasi 0,2 M menghasilkan beda potensial yang lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi 0,01 M, 0,1 M, dan 0,15 M. Hasil perhitungan potensial pada kompartmen katoda dengan variasi konsentrasi menggunakan persamaan Nerst ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Potensial Katoda dengan elektrolit KMnO_4 ⁽²⁴⁰⁾

Konsentrasi KMnO_4 (M)	Potensial Kompartemen Katoda Hasil Perhitungan
0,01 M	1,66032 V
0,1 M	1,68018 V
0,15 M	1,683654 V
0,2 M	1,686132 V
0,25 M	1,688054

Untuk konsentrasi 0,25 M menghasilkan beda potensial yang rendah dibandingkan konsentrasi 0,2 M ; 0,15 M ; 0,1 M dan 0,01 M dan tidak sesuai dengan hasil perhitungan secara

teoritis karena pada kenyataannya ada faktor lain yang mempengaruhi reaksi yang terjadi di kompartemen katoda yaitu daya hantar larutan. Daya hantar larutan elektrolit KMnO_4 akan semakin meningkat dengan naiknya konsentrasi tetapi setelah mencapai konsentrasi tertentu daya hantarnya justru menurun, hal ini dibuktikan dengan pengukuran daya hantar larutan KMnO_4 pada konsentrasi 0,01 M ; 0,1 M ; 0,15 M ; 0,2 M ; 0,25 M menunjukkan hasil pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Konduktivitas KMnO_4 ⁽²⁴⁰⁾

Konsentrasi KMnO_4 (M)	Konduktivitas (mho/cm)
0,01 M	$2,0964 \times 10^{-5}$
0,1 M	$2,4752 \times 10^{-5}$
0,15 M	$3,2051 \times 10^{-5}$
0,2 M	$5,1813 \times 10^{-5}$
0,25 M	$2,1052 \times 10^{-5}$

Grafik 1. Konduktivitas KMnO_4

Pada konsentrasi rendah yang berpengaruh terhadap konduktivitas adalah jumlah ion, apabila jumlah ion yang ada dalam suatu larutan semakin banyak, maka akan semakin tinggi konduktivitasnya tetapi setelah mencapai konsentrasi tertentu, semakin banyak ion yang ada dalam larutan, mobilitas ion dalam larutan akan semakin berkurang sehingga nilai konduktivitas akan menurun.

2. Gerakan ion

Dalam menentukan pengukuran konduktivitas, terlebih dahulu mengetahui penyebab dari pergerakan ion dengan laju yang berbeda-beda, dan penyebab ion tersebut memiliki konduktivitas molar yang berlainan, serta sebab konduktivitas molar elektrolit kuat berkurang dengan akar konsentrasi.

Konsep nya adalah: makin besar mobilitas ion dalam larutan, maka makin besar pula kontribusinya pada konduktivitas (untuk muatan tertentu).

1. Kecepatan hanyut

Jika dua elektroda yang terpisah dengan jarak 1 berada pada selisih potensial ($\Delta\phi$), maka ion dalam larutan diantara kedua elektroda tersebut, mengalami medan listrik (E) sebesar :

$$E = \frac{\Delta\phi}{l} \quad (1)$$

Untuk ion ze (muatan ion) mengalami gaya sebesar :

$$F = zeE = \frac{ze\Delta\phi}{l} \quad (2)$$

Kation bereaksi dengan percepatan menuju elektroda negative dan anion bereaksi dengan percepatan menuju elektroda positif. tetapi, saat ion bergerak melalui pelarut maka ion akan mengalami gaya gesekan memperlambat I_e yang sebanding dengan kecepatannya. dan jika diasumsikan bahwa hukum Stokes untuk bola radius a dan s berlaku pada skala mikroskopis, maka kita dapat menuliskan gaya perlambatan ini sebagai: Sedangkan gaya perlambatan (F') dan gaya gesek (f) maka :

$$F' = fs \quad I_e' = fsf = 6\pi\eta a \quad (3)$$

Kedua gaya ini bekerja dalam arah yang berlawanan dan ion mencapai kecepatan akhir, yaitu kecepatan hanyut ion (s), jika gaya mempercepat F diimbangi oleh gaya perlambatan F' . Gaya⁽¹⁸⁰⁻¹⁸⁵⁾ neto menjadi nol ($F = F'$) jika :

$$s = \frac{zeE}{f} \quad (4)$$

Kecepatan hanyut mengatur laju transportasi ion, maka dapat mengharapkan konduktivitas akan berkurang dengan bertambahnya viskositas pelarut akan ukuran ion. contohnya, konduktivitas molar ion logam alkali bertambah dari Li^+ ke Cs^+ , walaupun radius ionnya bertambah. paradoks ini terpecahkan jika kita menyadari bahwa radius a dalam rumus stokes adalah radius hidrodinamik ion, yaitu radius efektifnya dalam larutan dengan memperhitungkan molekul H_2O yang dibawa dalam bola hidrasinya ion kecil menimbulkan medan listrik lebih kuat dari pada ion besar sehingga ion kecil lebih terlarut secara ekstensif dari ion besar. jadi, ion dengan radius kecil dapat mempunyai radius hidrodinamik besar, karena ion itu menyeret banyak molekul pelarut melalui larutan itu saat bermigrasi. Proton walaupun sangat kecil mempunyai konduktivitas molar yang sangat tinggi proton bertingkah laku dengan mekanisme yang tidak bersangkutan dengan gerakan sebenarnya melalui larutan. menurut mekanisme rantai migrasi proton proton yang terlarut bukan proton tunggal, bergerak melalui larutan dengan gerakan efektif yang bersangkutan dengan penataan ulang ikatan dalam gugusan molekul air. Konduktivitas diatur oleh laju rotasi molekul air ke dalam orientasi yang dapat menerima dan mendonorkan proton, dan laju penerobosan proton dari satu ujung ikatan hydrogen ke ujung lainnya.

Contoh : jika potensial $KMnO_4$ adalah 1,66 V dan jarak antara elektroda adalah 5 cm

$$E = \Delta\phi / l$$

$$E = 1,66 / 5$$

$$= 0,33, \text{ maka kecepatan hanyut } KMnO_4 \text{ sebesar } 0,33 \text{ V/cm}$$

2. Mobilitas Ion

Mobilitas ion itu berguna karena besaran ini menghubungkan antara kuantitas teoritis dengan kuantitas yang dapat diukur. Sebagai langkah pertama, kita akan menentukan hubungan antara mobilitas dengan konduktivitas. Untuk menyederhanakan perhitungannya, tanda kita abaikan dan kita berkonsentrasi pada besaran kuantitasnya : arah fluks selalu dapat ditentukan dengan logika. Mobilitas ion dapat dihitung dengan pengukuran sebenarnya jarak yang ditempuh setiap ion dalam waktu tertentu dengan metode batas bergerak.

$$U = \frac{x}{t \frac{dE}{dx}} \quad (1)$$

$$x = \text{jarak (m)}$$

$$t = \text{waktu (dt)}$$

$$\frac{dE}{dx} = \text{kekuatan medan (volt.m}^{-1}\text{)}$$

$$E = \frac{dE}{dx} = \frac{I}{AL_s} \quad (2)$$

$$\text{Maka } U = \frac{\lambda_m}{zF} \quad (3)$$

Keterangan : Z =valensi kation

F = Faraday

Mobilitas⁽¹⁹⁸⁾ ionik dalam airpada suhu 298 K :

Tabel 3. Data mobilitas ion⁽²⁴⁰⁾

Ion	Mobilitas Ionik (10 ⁻⁸ m ² s ⁻¹ V ⁻¹)
K ⁺	7,62
Na ⁺	5,29
Cl ⁻	7,91
NO3 ⁻	7,40
F ⁻	5,70

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan ion⁽¹⁸⁶⁾ :

1. Berat dan muatan ion, semakin ringan ion tiap satuan muatan maka akan semakin cepat ion bergerak.
2. Adanya hidrasi, semakin banyak molekul air yang mengerumuni ion maka akan semakin lambat gerakan ion.
3. Orientasi atmosfer pelarut disekitar ion.
4. Gaya tarik antara ion, semakin besar gaya tarik maka akan semakin lambat gerakan ion.
5. Temperatur, semakin tinggi temperatur maka akan semakin cepat gerakan ion.
6. Viskositas, semakin besar viskositas maka akan semakin lambat gerakan ion.

3.Bilangan Transport

Bilangan transport adalah fraksi dari arus total yang dibawa oleh ion jenis tertentu. Untuk larutan dengan 2 jenis ion, bilangan transport^(164; 186-190) kation :

$$t_+ = \frac{I_+}{I} \quad I = \text{ arus total}$$

$$I = t_+ + t_-$$

Bilangan transport pembatas⁽¹⁹⁷⁻¹⁹⁸⁾ (t⁰) untuk limit konsentrasi nol dari larutan elektrolit.

Jika $I \propto K$ sehingga :

$$t^0 = \frac{z v u}{\sum_i z v u_i} \quad (1)$$

Untuk elektrolit simetris (bilangan muatan untuk kedua ion sama) maka persamaan diatas disederhanakan :

$$t^0 = \frac{u}{\sum_i u_i} \quad (2)$$

Hubungan antara konduktivitas ion dengan mobilitas ion :

$$t^0 = \frac{v\lambda}{\sum_i v_i \lambda_i} = \frac{v\lambda}{\Lambda^0 m} \quad (3)$$

Jadi untuk setiap jenis ion :

$$v\lambda = t^0 \Lambda_m^0 \quad (4)$$

Bilangan transport Kalium permanganate di pengaruhi oleh kecepatan hanyut, konduktivitas ion, serta mobilitas ion.

2. Pandangan termodinamika

1. Gaya termodinamika gradien kosentrasi

Dalama larutan dengan aktivasi ^(22; 191-194) partikel α maka potensial kimianya :

$$\mu = \mu^\theta + RT \ln \alpha \dots\dots\dots(1)$$

Jika larutan tidak seragam, aktivitas itu bergantung pada posisinya dan kita dapat menuliskan :

$$T_e = - RT \left(\frac{\delta \ln \alpha}{\delta x} \right)_{p,T} \dots\dots\dots(2)$$

Jika larutan itu ideal, α dapat digantikan dengan konsentrasi c , sehingga :

$$T_e = \frac{-RT}{c} \left(\frac{\delta c}{\delta x} \right)_{p,T} \dots\dots\dots(3)$$

Karena $(d/dx) \ln c = 1/c \, dc/dx$

Andaikan konsentrasi KMnO_4 berkurang secara eksponensial menurut panjang wadah. Hitunglah gaya termodinamika zat terlarut pada 25°C , jika konsentrasinya berkurang menjadi setengah nilainya setiap 5 cm.

Penyelesaian :Konsentrasi bervariasi terhadap posisi dengan

$$c = c_0 e^{-\lambda x}$$

Dengan λ merupakan konstanta pengurangan. Karena konsentrasi turun menjadi $\frac{1}{2} c_0$ jika $x = 10 \text{ cm}$, maka kita dapat mencari λ dari :

$$\frac{1}{2} = e^{-(5 \text{ cm})(\lambda)}$$

Jadi,

$$\lambda = \frac{5 \text{ cm}}{\ln 2} = 7,25 \text{ cm}^{-1}$$

2. Hukum pertama Fick tentang difusi

Andaikan fluks ^(80; 195-200) partikel yang berdifusi ^(195; 201-205) merupakan gerakan sebagai reaksi terhadap gaya termodinamika yang timbul dari gradient konsentrasi .Partikel akan mencapai kecepatan hanyut tetap s jika gaya termodinamika f sama dengan tahanan kental, kecepatan hanyut ini sebanding dengan gaya termodinamika , dan kita tuliskan $s \propto f$. Akan tetapi , fluks partikel J sebanding dengan gaya termodinamika dan kita tuliskan .Akan tetapi ,fluks partikel sebanding dengan kecepatan hanyut dan gaya termodinamika sebanding dengan gradient konsentrasid c/dx .Rantai kesebandingan itu itu ($J \propto s$, $s \propto f$, dan $f \propto dc/dx$ menunjukkan bahwa:

$$J \propto \frac{dc}{dx}$$

Yang merupakan kandungan hukum Fick

3. Hubungan Einstein

Hukum Fick untuk fluks partikel dalam mol molekul per satuan waktu adalah :

$$J = -D \frac{dc}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan D merupakan koefisien difusi dc/dx merupakan kemiringan dari konsentrasi molar. Fluks partikel berhubungan dengan kecepatan hanyut, dengan :

$$J = sc \dots\dots\dots(2)$$

Pergerakan Ion Dalam Larutan

Dalam larutan Kalium permanganate dengan pelarutnya adalah air akan terjadi pergerakan ion. Pergerakan ionnya berupa ion K^+ akan bergerak menuju ion OH^- dalam air serta ion MnO_4^- akan bergerak menuju ion H^+ dalam air. Pergerakan itu dapat terjadi dalam beberapa bentuk. Macam macam pergerakan ion⁽²⁴⁸⁻²⁵⁰⁾ dalam larutan :

- Migrasi terjadi akibat pengaruh potensial
- Difusi terjadi akibat pengaruh konsentrasi
- Konveksi terjadi akibat pengaruh termal

5. Kegunaan

Pada umumnya aplikasi Kalium permanganat memanfaatkan sifat mengoksidasinya. Kalium permanganate merupakan oksidan kuat yang tidak menghasilkan produk samping yang beracun sehingga memiliki banyak kegunaan. Ada dua bidang yang menggunakan senyawa $KMnO_4$ ini yaitu bidang medis maupun bidang industry.

Di Bidang Medis / Kesehatan

Antiseptik

Kalium permanganate merupakan oksidan yang dapat bertindak sebagai antiseptic. Misalnya , larutan encer ,senyawa ini digunakan untuk mengobati sariawan(radang), desinfektan⁽²¹³⁾ untuk tangan dan pengobatan untuk pomfoliks,dermatis, dan infeksi jamur pada tangan atau kaki yang sifatnya ringan.

Di Bidang Industri

1. Pengolahan air

Kalium permanganate digunakan dalam industry pengolahan air. Kalium permanganat digunakan sebagai bahan kimia regenerasi⁽²¹⁴⁾ untuk menghilangkan besi dan Hydrogen sulfide(bau telur busuk) dari air sumur melalui Filter ” Manganese Greensand” . Kalium permanganate di dalam sejarahnya digunakan untuk mensterilkan air minum. Saat ini senyawa ini menemukan penerapannya dalam pengendalian organisme pengganggu seperti kerang zebra dalam pengumpulan dan pengolahan system air tawar.

2. Sintesis senyawa organik

Selain penggunaannya dalam pengolahan air, aplikasi utama lainnya dari $KMnO_4$ adalah sebagai pereaksi untuk sintesis^(236;244) senyawa organik. Jumlah yang signifikan diperlukan untuk sintesis asam askorbat, kloramfenikol, sakari, asam isonikotinat, dan asam pirazonat.

Gambar 6. Sintesis senyawa anorganik dengan bantuan Kalium permanganate⁽¹⁸⁶⁾.

3. Penggunaan analisis

Kalium permanganate dapat digunakan untuk secara kuantitatif menentukan bahan organik⁽²¹⁹⁾ keseluruhan yang dapat teroksidasi dalam sampel air. Nilai yang telah ditentukan dikenal sebagai nilai permanganate. Dalam kimia analitik, larutan standar dari KMnO_4 terkadang digunakan sebagai titran pengoksidasi untuk titrasi redoks (Permanganometri)⁽²²⁸⁾. Kalium permanganate juga digunakan sebagai pereaksi untuk menentukan bilangan kappa dari pulp kayu. Standarisasi larutan KMnO_4 , reduksi dengan asam oksalat sering digunakan. Larutan asam berair dari KMnO_4 digunakan untuk mengumpulkan gas merkuri dalam gas buang selama uji emisi sumber stasioner.

4. Untuk peralatan perfilman

Kalium permanganat merupakan salah satu bahan kimia^(227;246) utama yang digunakan dalam film dan televisi industry untuk membuat kostum dan property yang digunakan menjadi berumur. Konversinya yang mudah menjadi MnO_2 berwarna coklat membuat tampilan kuno atau seratus tahun pada kain goni, tali, kayu, dan kaca. Kalium permanganate telah digunakan dalam upaya untuk menginduksi⁽²⁴²⁾ aborsi dirumah. Insiden ini hanya mengakibatkan kerusakan vagina dari tindakan korosif bahan kimia tersebut, karena kalium permanganate terbukti tidak efektif dalam menanggapi penggunaannya sebagai abortifasien.

IV. Kesimpulan

Kalium permanganate adalah senyawa yang berasal dari ion permanganate dan ion kalium yang merupakan larutan elektrolit sehingga dapat menghantarkan arus listrik. KMnO_4 merupakan agen pengoksidasi yang kuat dengan struktur berbentuk ortorombik dengan jarak Mn-O adalah $1.62 \text{ \AA}$ dan merupakan larutan elektrolit yang memiliki sifat termokimia yaitu entropi molar standar sebesar $171,7 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, energi bebas Gibbs sebesar $-713,8 \text{ kJ/mol}$, serta entalpi pembentukan standar sebesar $-813,4 \text{ kJ/mol}$. Energi total yang dibutuhkan KMnO_4 untuk bergerak sebesar $680.5699 \text{ kcal/mol}$ pada suhu 300 K dengan RMS gradient yaitu 33.114 . Interaksi yang terjadi pada ion KMnO_4 dapat diperhatikan melalui beberapa parameter, diantaranya adalah konduktivitas, mobilitas, kecepatan hanyut ionnya. Pada konsentrasi rendah yang berpengaruh terhadap konduktivitas KMnO_4 adalah jumlah ion, apabila jumlah ion yang ada dalam suatu larutan semakin banyak, maka akan semakin tinggi konduktivitasnya tetapi setelah mencapai konsentrasi tertentu, semakin banyak ion yang ada dalam larutan mobilitas ion yang juga berhubungan dengan kecepatan hanyut dalam larutan akan semakin berkurang sehingga nilai konduktivitas akan menurun. Mobilitas ion K^+ yaitu $7,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$, serta kecepatan hanyut KMnO_4 sebesar $0,33 \text{ V/cm}$. Kalium permanganate merupakan oksidan yang baik sehingga digunakan di bidang medis sebagai desinfektan dan di bidang industry untuk analisis zat dan pengolahan air.

Referensi

1. Zhang Y, Miro M, Kolev SD. 2018. A novel on-line organic mercury digestion method combined with atomic fluorescence spectrometry for automatic mercury speciation. *Talanta* 189:220-4
2. Yan W, Zhang H, Sheng K, Mustafa AM, Yu Y. 2018. Evaluation of engineered hydrochar from KMnO_4 treated bamboo residues: Physicochemical properties, hygroscopic dynamics, and morphology. *Bioresource technology* 250:806-11

3. Kim MS, Lee HJ, Lee KM, Seo J, Lee C. 2018. Oxidation of Microcystins by Permanganate: pH and Temperature-Dependent Kinetics, Effect of DOM Characteristics, and Oxidation Mechanism Revisited. *Environmental science & technology* 52:7054-63
4. Jiang Q, Zhang D, Majaw J, Zhao C, Chai Y, et al. 2018. Minimization of the perianal infection rate of hematological malignancies with agranulocytosis by quality control circle activity and patient-hospital-student win-win concept. *The Journal of international medical research* 46:2338-45
5. Murmu SB, Mishra HN. 2018. Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava during low-temperature storage. *Food chemistry* 253:55-62
6. Alayan HM, Alsaadi MA, AlOmar MK, Hashim MA. 2018. Growth and optimization of carbon nanotubes in powder activated carbon for an efficient removal of methylene blue from aqueous solution. *Environmental technology*:1-16
7. Yang ZH, Ou JH, Dong CD, Chen CW, Lin WH, Kao CM. 2018. Remediation of TCE-contaminated groundwater using KMnO₄ oxidation: laboratory and field-scale studies. *Environmental science and pollution research international*
8. Wang Q, Ma C, Tang J, Zhang C, Ma L. 2018. Eggshell Membrane-Templated MnO₂ Nanoparticles: Facile Synthesis and Tetracycline Hydrochloride Decontamination. *Nanoscale research letters* 13:255
9. Habtewold J, Gordon R, Voroney P, Sokolov V, VanderZaag A, et al. 2018. Sodium Persulfate and Potassium Permanganate Inhibit Methanogens and Methanogenesis in Stored Liquid Dairy Manure. *Journal of environmental quality* 47:786-94
10. Zheng XQ, Wei AL, Zhang YX, Shi LY, Zhang X. 2018. [Characteristic of Nitrate Adsorption in Aqueous Solution by Iron and Manganese Oxide/Biochar Composites]. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue* 39:1220-32
11. Ahonen TJ, Rinne M, Grutschreiber P, Matlik K, Airavaara M, et al. 2018. Synthesis of 7beta-hydroxy-8-ketone opioid derivatives with antagonist activity at mu- and delta-opioid receptors. *European journal of medicinal chemistry* 151:495-507
12. Lai W, Zeng Q, Tang J, Zhang M, Tang D. 2018. A conventional chemical reaction for use in an unconventional assay: A colorimetric immunoassay for aflatoxin B₁ by using enzyme-responsive just-in-time generation of a MnO₂ based nanocatalyst. *Mikrochimica acta* 185:92
13. Haus JM, Thyfault JP. 2018. Therapeutic potential of carbonyl-scavenging carnosine derivative in metabolic disorders. *The Journal of clinical investigation*
14. Chen HM, van der Touw W, Wang YS, Kang K, Mai S, et al. 2018. Blocking immunoinhibitory receptor LILRB2 reprograms tumor-associated myeloid cells and promotes antitumor immunity. *The Journal of clinical investigation*
15. Fang X, Trexler C, Chen J. 2018. Ushering in the cardiac role of Ubiquilin1. *The Journal of clinical investigation*
16. Liu Q, Wang LA, Su J, Tong D, Lan W, et al. 2018. Giant bilateral adrenal myelolipomas in two Chinese families with congenital adrenal hyperplasia. *Endocrine connections*
17. Yuan L, Chen X, Liu Z, Wu D, Lu J, et al. 2018. Novel SLC02A1 mutations cause gender differentiated pachydermoperiostosis. *Endocrine connections*
18. Najafpour MM, Moghaddam NJ, Hassani L, Bagheri R, Song Z, Allakhverdiev SI. 2018. Toward Escherichia coli bacteria machine for water oxidation. *Photosynthesis research* 136:257-67
19. Ding T, Lin K, Yang M, Bao L, Li J, et al. 2018. Biodegradation of triclosan in diatom *Navicula* sp.: Kinetics, transformation products, toxicity evaluation and the effects of pH and potassium permanganate. *Journal of hazardous materials* 344:200-9
20. Kubinakova E, Hives J, Gal M, Faskova A. 2017. Effect of ferrate on green algae removal. *Environmental science and pollution research international* 24:21894-901
21. Yang D, He Y, Chen F. 2017. Determination of fluvoxamine maleate in human urine and human serum using alkaline KMnO₄-rhodamine B chemiluminescence. *Luminescence : the journal of biological and chemical luminescence* 32:1077-83
22. Mukherjee S, Dohno C, Asano K, Nakatani K. 2016. Cyclic mismatch binding ligand CMBL4 binds to the 5'-T-3'/5'-GG-3' site by inducing the flipping out of thymine base. *Nucleic acids research* 44:7090-9

23. Lin JL, Hua LC, Wu Y, Huang C. 2016. Pretreatment of algae-laden and manganese-containing waters by oxidation-assisted coagulation: Effects of oxidation on algal cell viability and manganese precipitation. *Water research* 89:261-9
24. Moon SA, Salunke BK, Alkotaini B, Sathiyamoorthi E, Kim BS. 2015. Biological synthesis of manganese dioxide nanoparticles by *Kalopanax pictus* plant extract. *IET nanobiotechnology* 9:220-5
25. Kalwa A, Habrat B. 2015. [Cognitive dysfunctions caused by excessive exposure to manganese compounds. Cognitive disturbances in intravenous users of ephedrone (methcathinone) with manganese compounds]. *Psychiatria polska* 49:305-14
26. Selim MB, Nobrega FS, Faco LL, Filippo Hagen SC, De Zoppa A, et al. 2018. Histological and Radiographic Evaluation of Equine Bone Structure after Implantation of Castor Oil Polymer. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology : V.C.O.T*
27. Ganjaei KG, Soler ZM, Mappus ED, Worley ML, Rowan NR, et al. 2018. Radiologic changes in the aging nasal cavity. *Rhinology*
28. Oh JK, Im YJ, Park K, Paick JS. 2018. Effects of combined growth hormone and testosterone treatments in a rat model of micropenis. *Endocrine connections*
29. Parveen S, Velmurugan G, Sinn E, Venuvanalingam P, Govindarajan S. 2018. Water-soluble Cobalt(II) & Cobalt(III) complexes supported by new triazine Schiff base ligands: Synthesis, structure and biological evaluation. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology* 189:152-64
30. Soto LR, Byrne E, van Niel EWJ, Sayed M, Villanueva CC, Hatti-Kaul R. 2018. Hydrogen and polyhydroxybutyrate production from wheat straw hydrolysate using *Caldicellulosiruptor* species and *Ralstonia eutropha* in a coupled process. *Bioresource technology* 272:259-66
31. Fabianska MJ, Kozielska B, Konieczynski J, Bielaczyc P. 2018. Occurrence of organic phosphates in particulate matter of the vehicle exhausts and outdoor environment - A case study. *Environmental pollution* 244:351-60
32. Pazhamalai P, Krishnamoorthy K, Mariappan VK, Kim SJ. 2018. Blue TiO₂ nanosheets as a high-performance electrode material for supercapacitors. *Journal of colloid and interface science* 536:62-70
33. Peng J, Li XP. 2018. Apolipoprotein A-IV: a potential therapeutic target for atherosclerosis. *Prostaglandins & other lipid mediators*
34. Vil VA, Gomes GDP, Ekimova MV, Lyssenko KA, Syroeshkin MA, et al. 2018. Five Roads That Converge at the Cyclic Peroxy-Criegee Intermediates: BF₃-Catalyzed Synthesis of beta-Hydroperoxy-beta-peroxylactones. *The Journal of organic chemistry*
35. Desai AV, Joarder B, Roy A, Samanta P, Babarao R, Ghosh SK. 2018. Multifunctional Behavior of Sulfonate-Based Hydrolytically Stable Microporous Metal-Organic Frameworks. *ACS applied materials & interfaces*
36. Chong Q, Zhang S, Cheng F, Wang J, Hong X, Meng F. 2018. N-Heterocyclic Carbene-Cu-Catalyzed Enantioselective Allenyl Conjugate Addition. *Organic letters*
37. Frederic CJ, Cornil J, Vandamme M, Dumitrescu L, Tikad A, et al. 2018. Highly (Z)-Diastereoselective Synthesis of Trifluoromethylated exo-Glycals via Photoredox and Copper Catalysis. *Organic letters*
38. Lazcano A. 2018. Prebiotic Evolution and Self-Assembly of Nucleic Acids. *ACS nano* 12:9643-7
39. Blank PN, Pemberton TA, Chow JY, Poulter CD, Christianson DW. 2018. Crystal Structure of Cucumene Synthase, a Terpenoid Cyclase That Generates a Linear Triquinane Sesquiterpene. *Biochemistry*
40. Krause J, Alexandropoulos DI, Carrella LM, Rentschler E, Stamatatos TC. 2018. Increasing the nuclearity and spin ground state in a new family of ferromagnetically-coupled {Ni₁₀} disk-like complexes bearing exclusively end-on bridging azido ligands. *Chemical communications*
41. Frichert A, Jones PG, Lindel T. 2018. Synthesis of eunicellane-type bicycles embedding a 1,3-cyclohexadiene moiety. *Beilstein journal of organic chemistry* 14:2461-7
42. Mohamed LW, Shaaban MA, Zaher AF, Alhamaky SM, Elsahar AM. 2018. Synthesis of new pyrazoles and pyrozolo [3,4-b] pyridines as anti-inflammatory agents by inhibition of COX-2 enzyme. *Bioorganic chemistry* 83:47-54

43. Cai Y, Liu X, Zhou P, Feng X. 2018. Asymmetric Catalytic Halofunctionalization of alpha,beta-Unsaturated Carbonyl Compounds. *The Journal of organic chemistry*
44. Reddy MS, Vaze MB, Madhusudan K, Muniyappa K. 2000. Binding of SSB and RecA protein to DNA-containing stem loop structures: SSB ensures the polarity of RecA polymerization on single-stranded DNA. *Biochemistry* 39:14250-62
45. Kladde MP, D'Cunha J, Gorski J. 1993. Multiple transitions to non-B-DNA structures occur in the distal regulatory region of the rat prolactin gene. *Journal of molecular biology* 229:344-67
46. Krumm A, Meulia T, Brunvand M, Groudine M. 1992. The block to transcriptional elongation within the human c-myc gene is determined in the promoter-proximal region. *Genes & development* 6:2201-13
47. Jayasena SD, Johnston BH. 1992. Intramolecular triple-helix formation at (PunPyn).(PunPyn) tracts: recognition of alternate strands via Pu.PuPy and Py.PuPy base triplets. *Biochemistry* 31:320-7
48. Haner R, Dervan PB. 1990. Single-strand DNA triple-helix formation. *Biochemistry* 29:9761-5
49. Holzner G, Binder C, Kriel FH, Priest C. 2017. Directed Growth of Orthorhombic Crystals in a Micropillar Array. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids* 33:1547-51
50. Li X, Lin P, Wang J, Liu Y, Li Y, et al. 2016. Treatment technologies and mechanisms for three odorants at trace level: IPMP, IBMP, and TCA. *Environmental technology* 37:308-15
51. Rufus AL, Sathyaseelan VS, Narasimhan SV, Velmurugan S. 2013. Dissolution of synthetic uranium dibutyl phosphate deposits in oxidizing and reducing chemical formulations. *Journal of hazardous materials* 254-255:263-9
52. Ohno H, Suzuki M, Mutsuga M, Kawamura Y. 2009. [Study of relationship between consumption of potassium permanganate and total organic carbon on plastic kitchen utensils, food packages and toys]. *Shokuhin eiseigaku zasshi. Journal of the Food Hygienic Society of Japan* 50:230-6
53. Kim K, Gurol MD. 2005. Reaction of nonaqueous phase TCE with permanganate. *Environmental science & technology* 39:9303-8
54. Zhai X, Hua I, Rao PS, Lee LS. 2006. Cosolvent-enhanced chemical oxidation of perchloroethylene by potassium permanganate. *Journal of contaminant hydrology* 82:61-74
55. Do JC, Choi IH, Nahm KH. 2005. Effects of chemically amended litter on broiler performances, atmospheric ammonia concentration, and phosphorus solubility in litter. *Poultry science* 84:679-86
56. Pugliese P, Molto JC, Damiani P, Marin R, Cossignani L, Manes J. 2004. Gas chromatographic evaluation of pesticide residue contents in nectarines after non-toxic washing treatments. *Journal of chromatography. A* 1050:185-91
57. Ye J, Chen Z, Hao Q, Xu C, Hou J. 2018. One-step mild fabrication of porous core-shelled Si@TiO₂ nanocomposite as high performance anode for Li-ion batteries. *Journal of colloid and interface science* 536:171-9
58. Mantovani C, Prado RM, Pivetta KFL. 2018. Impact of Nitrate and Ammonium ratio on Nutrition and Growth of two Epiphytic Orchids. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*
59. Song J, Chen Y, Cao K, Lu Y, Xin JH, Tao X. 2018. Fully Controllable Design and Fabrication of Three-Dimensional Lattice Supercapacitors. *ACS applied materials & interfaces*
60. Ayzman RI, Panova AS, Sorokina TS, Odintsova VV. 2018. [The Becoming and Development of the Scientific School of Physiology of Kidneys and Water-Salt Metabolism in Novosibirsk]. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdavookhraneniia i istorii meditsiny* 26:247-51
61. Lin W, Yuan D, Deng Z, Niu B, Chen Q. 2018. The cellular and molecular mechanism of glutaraldehyde- didecyltrimethylammonium bromide as a disinfectant against *Candida albicans*. *Journal of applied microbiology*
62. Ray P, Balducci A, Kirchner B. 2018. Molecular Dynamics Simulations of Lithium Doped Ionic-Liquid Electrolytes. *The journal of physical chemistry. B*
63. Cao S, Huang W, Wu L, Tian M, Song Y. 2018. On the interfacial adhesion between TiO₂ nanotube array layer and Ti substrate. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids*
64. Xu Y, Stetson C, Wood K, Sivonxay E, Jiang C, et al. 2018. Mechanical Properties and Chemical Reactivity of Li xSiO y Thin Films. *ACS applied materials & interfaces*

65. Saha S, Mishra MK, Reddy CM, Desiraju GR. 2018. From Molecules to Interactions to Crystal Engineering: Mechanical Properties of Organic Solids. *Accounts of chemical research*
66. Sierra-Almeida A, Cavieres LA, Bravo LA. 2018. Warmer Temperatures Affect the in situ Freezing Resistance of the Antarctic Vascular Plants. *Frontiers in plant science* 9:1456
67. Cai Q, Fauvart M, Wiederkehr RS, Jones B, Cools P, et al. 2019. Ultra-fast, sensitive and quantitative on-chip detection of group B streptococci in clinical samples. *Talanta* 192:220-5
68. Dharadhar S, Majumdar A, Dhoble S, Patravale V. 2018. Microneedles for Transdermal Drug Delivery: A Systematic Review. *Drug development and industrial pharmacy*:1-53
69. Brouns T, De Keersmaecker H, Konrad SF, Kodera N, Ando T, et al. 2018. Free Energy Landscape and Dynamics of Supercoiled DNA by High-Speed Atomic Force Microscopy. *ACS nano*
70. Soya N, Roldan A, Lukacs GL. 2019. Differential Scanning Fluorimetry and Hydrogen Deuterium Exchange Mass Spectrometry to Monitor the Conformational Dynamics of NBD1 in Cystic Fibrosis. *Methods in molecular biology* 1873:53-67
71. Zhang M, Huang G, Zhang X, Lin Z, Li Y, et al. 2018. Inexpensive Weight-Reducing Aid (L-Carnitine) as An Efficient Catalyst for Synthesis of Benzimidazoles. *Combinatorial chemistry & high throughput screening*
72. Balic A, Bukvic Mokos Z, Marinovic B, Ledic Drvar D. 2018. Tatami Mats: A Source of Pitted Keratolysis in a Martial Arts Athlete? *Acta dermatovenerologica Croatica : ADC* 26:68-70
73. Coutinho de Paula E, Gomes JCL, Amaral MCS. 2017. Recycling of end-of-life reverse osmosis membranes by oxidative treatment: a technical evaluation. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 76:605-22
74. Huawei Z, Xiuli L, Li W, Peng L. 2014. Characteristics and stability of mercury vapor adsorption over two kinds of modified semicoke. *TheScientificWorldJournal* 2014:260141
75. Pereira R, Pfeifer L, Fournier J, Gouverneur V, Cvengros J. 2017. Twisting the ethano-Troger's base: the bisamide. *Organic & biomolecular chemistry* 15:628-33
76. Shoja Y, Rafati AA, Ghodsi J. 2017. Polythiophene supported MnO₂ nanoparticles as nano-stabilizer for simultaneously electrostatically immobilization of d-amino acid oxidase and hemoglobin as efficient bio-nanocomposite in fabrication of dopamine bi-enzyme biosensor. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications* 76:637-45
77. Moridi Mahdiah Z, Shekarriz S, Afshar Taromi F, Montazer M. 2018. Obtention of 74:26 polyester/cellulose fabric blend with super-hydrophobic and super-hydrophilic properties by air corona discharge treatment and their characterization. *Carbohydrate polymers* 198:17-25
78. Hu SC, Chen YC, Lin XZ, Shiue A, Huang PH, et al. 2018. Characterization and adsorption capacity of potassium permanganate used to modify activated carbon filter media for indoor formaldehyde removal. *Environmental science and pollution research international* 25:28525-45
79. Chen HW, Chuang YH, Hsu CF, Huang WJ. 2017. Adsorption characteristics of trace levels of bromate in drinking water by modified bamboo-based activated carbons. *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering* 52:1055-62
80. Lee BS, Cui S, Xing X, Liu H, Yue X, et al. 2018. Dendrite Suppression Membranes for Rechargeable Zinc Batteries. *ACS applied materials & interfaces*
81. Ishiuchi SI, Sasaki Y, Lisy JM, Fujii M. 2018. Ion-peptide interactions between alkali metal ions and a termini-protected dipeptide: modeling a portion of the selectivity filter in K(+) channels. *Physical chemistry chemical physics : PCCP*
82. Denisenko YG, Atuchin VV, Molochev MS, Aleksandrovsky AS, Krylov AS, et al. 2018. Structure, Thermal Stability, and Spectroscopic Properties of Triclinic Double Sulfate AgEu(SO₄)₂ with Isolated SO₄ Groups. *Inorganic chemistry*
83. Ghosh M, Jorissen KFA, Wood JA, Lammertink RGH. 2018. Ion Transport through Perforated Graphene. *The journal of physical chemistry letters*:6339-44
84. Yan Z, Liu S, Xing J, Zheng Z, Pi Z, et al. 2018. Equivalently quantitative ion strategy with quaternary ammonium cation derivatization for high sensitive quantification of lanostane-type triterpene acids without standards by UHPLC-MS/MS. *Analytical chemistry*

85. Kojima K, Watanabe HC, Doi S, Miyoshi N, Kato M, et al. 2018. Mutational analysis of the conserved carboxylates of anion channelrhodopsin-2 (ACR2) expressed in *Escherichia coli* and their roles in anion transport. *Biophysics and physicobiology* 15:179-88
86. Karasuyama M, Inoue K, Nakamura R, Kandori H, Takeuchi I. 2018. Understanding Colour Tuning Rules and Predicting Absorption Wavelengths of Microbial Rhodopsins by Data-Driven Machine-Learning Approach. *Scientific reports* 8:15580
87. Zhang W, Zhang X, Qu S. 2018. Substrate-Induced Motion between TM4 and TM7 of the Glutamate Transporter EAAT1 Revealed by Paired Cysteine Mutagenesis. *Molecular pharmacology*
88. Li J, Jiang J, Pang SY, Zhou Y, Gao Y, et al. 2018. Transformation of Methylparaben by aqueous permanganate in the presence of iodide: Kinetics, modeling, and formation of iodinated aromatic products. *Water research* 135:75-84
89. Liu B, Qu F, Chen W, Liang H, Wang T, et al. 2017. Microcystis aeruginosa-laden water treatment using enhanced coagulation by persulfate/Fe(II), ozone and permanganate: Comparison of the simultaneous and successive oxidant dosing strategy. *Water research* 125:72-80
90. Ma B, Qi J, Wang X, Ma M, Miao S, et al. 2018. Moderate KMnO₄-Fe(II) pre-oxidation for alleviating ultrafiltration membrane fouling by algae during drinking water treatment. *Water research* 142:96-104
91. Murillo Pulgarin JA, Alanon Molina A, Jimenez Garcia E. 2018. Simplex optimization of the variables influencing the determination of pefloxacin by time-resolved chemiluminescence. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy* 193:117-24
92. Rathee VS, Sidky H, Sikora BJ, Whitmer JK. 2018. The role of associative charging in the entropy - energy balance of polyelectrolyte complexes. *Journal of the American Chemical Society*
93. Tang LP, Tang LM, Wang D, Deng HX, Chen KQ. 2018. Metal and ligand effects on the stability and electronic properties of crystalline two-dimensional metal-benzenehexathiolate coordination compounds. *Journal of physics. Condensed matter : an Institute of Physics journal* 30:465301
94. Du B, Zielinski DC, Monk JM, Palsson BO. 2018. Thermodynamic favorability and pathway yield as evolutionary tradeoffs in biosynthetic pathway choice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*
95. Wang C, Piroozan N, Javidpour L, Sahimi M. 2018. Effect of the geometry of confining media on the stability and folding rate of alpha -helix proteins. *The Journal of chemical physics* 148:194305
96. Xue Y, Liu Y, Luo Q, Wang H, Chen R, et al. 2018. Antiradical Activity and Mechanism of Coumarin-Chalcone Hybrids: Theoretical Insights. *The journal of physical chemistry. A*
97. Banu T, Sen K, Das AK. 2018. Atmospheric Fate of Criegee Intermediate Formed During Ozonolysis of Styrene in the Presence of H₂O and NH₃: The Crucial Role of Stereochemistry. *The journal of physical chemistry. A*
98. Medina P, Clark J, Kiwi M, Torres F, Rogan J, Valdivia JA. 2018. The Stochastic Transport Dynamics of a Conserved Quantity on a Complex Network. *Scientific reports* 8:14288
99. Aguilera-Segura SM, Di Renzo F, Mineva T. 2018. Structures, intermolecular interactions, and chemical hardness of binary water-organic solvents: a molecular dynamics study. *Journal of molecular modeling* 24:292
100. Maheedhara RS, Jing H, Sachar HS, Das S. 2018. Highly enhanced liquid flows via thermoosmotic effects in soft and charged nanochannels. *Physical chemistry chemical physics : PCCP* 20:24300-16
101. Burelbach J, Bruckner DB, Frenkel D, Eiser E. 2018. Thermophoretic forces on a mesoscopic scale. *Soft matter* 14:7446-54
102. Jamshidi P, Shemirani F. 2018. Synthesis of a magnetic WO₃ nanocomposite for use in highly selective preconcentration of Pb(II) prior to its quantification by FAAS. *Mikrochimica acta* 185:421
103. Bistafa C, Kitamura Y, Martins-Costa MTC, Nagaoka M, Ruiz-Lopez MF. 2018. Cost-Effective Method for Free-Energy Minimization in Complex Systems with Elaborated Ab Initio Potentials. *Journal of chemical theory and computation* 14:3262-71
104. Yang MM, Kim DJ, Alexe M. 2018. Flexo-photovoltaic effect. *Science* 360:904-7

105. Reilly J, Glisic B. 2018. Identifying Time Periods of Minimal Thermal Gradient for Temperature-Driven Structural Health Monitoring. *Sensors* 18
106. Minelli M, Sarti GC. 2018. Gas Transport in Glassy Polymers: Prediction of Diffusional Time Lag. *Membranes* 8
107. Mueller E, Alsop RJ, Scotti A, Bleuel M, Rheinstadter MC, et al. 2018. Dynamically Cross-Linked Self-Assembled Thermoresponsive Microgels with Homogeneous Internal Structures. *Langmuir : the ACS journal of surfaces and colloids* 34:1601-12
108. Tozzi A, Peters JF, Chafin C, De Falco D, Torday JS. 2018. A timeless biology. *Progress in biophysics and molecular biology* 134:38-43
109. Peter EK. 2017. Adaptive enhanced sampling with a path-variable for the simulation of protein folding and aggregation. *The Journal of chemical physics* 147:214902
110. Wang J, He Y, Li J, Kou H, Beaunon E. 2017. Strong magnetic field effect on the nucleation of a highly undercooled Co-Sn melt. *Scientific reports* 7:4958
111. Wambo TO, Rodriguez RA, Chen LY. 2017. Computing osmotic permeabilities of aquaporins AQP4, AQP5, and GlpF from near-equilibrium simulations. *Biochimica et biophysica acta. Biomembranes* 1859:1310-6
112. Indulkar AS, Mo H, Gao Y, Raina SA, Zhang GGZ, Taylor LS. 2017. Impact of Micellar Surfactant on Supersaturation and Insight into Solubilization Mechanisms in Supersaturated Solutions of Atazanavir. *Pharmaceutical research* 34:1276-95
113. Gavrilov M, Bechhoefer J. 2017. Feedback traps for virtual potentials. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 375
114. Yevick A, Evans DJ, Grier DG. 2017. Photokinetic analysis of the forces and torques exerted by optical tweezers carrying angular momentum. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 375
115. Giraudet C, Bataller H, Sun Y, Donev A, Ortiz de Zarate JM, Croccolo F. 2016. Confinement effect on the dynamics of non-equilibrium concentration fluctuations far from the onset of convection. *The European physical journal. E, Soft matter* 39:120
116. Marianski M, Supady A, Ingram T, Schneider M, Baldauf C. 2016. Assessing the Accuracy of Across-the-Scale Methods for Predicting Carbohydrate Conformational Energies for the Examples of Glucose and alpha-Maltose. *Journal of chemical theory and computation* 12:6157-68
117. Sansanaphongpricha K, DeSantis MC, Chen H, Cheng W, Sun K, et al. 2017. Multibuilding Block Janus Synthesized by Seed-Mediated Self-Assembly for Enhanced Photothermal Effects and Colored Brownian Motion in an Optical Trap. *Small* 13
118. Cresswell AJ, Wheatley RJ, Wilkinson RD, Graham RS. 2016. Molecular simulation of the thermophysical properties and phase behaviour of impure CO2 relevant to CCS. *Faraday discussions* 192:415-36
119. Chatzieftheriou S, Adendorff MR, Lagaros ND. 2016. Generalized Potential Energy Finite Elements for Modeling Molecular Nanostructures. *Journal of chemical information and modeling* 56:1963-78
120. Anandakrishnan R, Zhang Z, Donovan-Maiye R, Zuckerman DM. 2016. Biophysical comparison of ATP synthesis mechanisms shows a kinetic advantage for the rotary process. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113:11220-5
121. Borbas E, Sinko B, Tsinman O, Tsinman K, Kiserdei E, et al. 2016. Investigation and Mathematical Description of the Real Driving Force of Passive Transport of Drug Molecules from Supersaturated Solutions. *Molecular pharmaceutics* 13:3816-26
122. Maki S. 2016. Magnetothermal Convection of Water with the Presence or Absence of a Magnetic Force Acting on the Susceptibility Gradient. *PloS one* 11:e0160090
123. Roger K, Liebi M, Heimdal J, Pham QD, Sparr E. 2016. Controlling water evaporation through self-assembly. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113:10275-80
124. Jackson JB. 2016. Natural pH Gradients in Hydrothermal Alkali Vents Were Unlikely to Have Played a Role in the Origin of Life. *Journal of molecular evolution* 83:1-11
125. Huang J, Li N, Zhang C, Meng Z. 2018. Metal-Organic Framework as a Microreactor for in Situ Fabrication of Multifunctional Nanocomposites for Photothermal-Chemotherapy of Tumors in Vivo. *ACS applied materials & interfaces*

126. Navarro SM, Haeberle HS, Sokunbi OF, Frankel WC, Wera GD, et al. 2018. The Evidence Behind Peroxide in Orthopedic Surgery. *Orthopedics*:1-9
127. Pringle P, Gorman A, Sparkes H, Young T, Bailey J, Fey N. 2018. Inorganic Triphenylphosphine. *Angewandte Chemie*
128. Nolis GM, Bolotnikov JM, Cabana J. 2018. Control of Size and Composition of Colloidal Nanocrystals of Manganese Oxide. *Inorganic chemistry* 57:12900-7
129. Huang X, Xiaokaiti Y, Yang J, Pan J, Li Z, et al. 2018. Inhibition of phosphodiesterase 2 reverses gp91phox oxidase-mediated depression- and anxiety-like behavior. *Neuropharmacology* 143:176-85
130. Du Z, Zhang X, Guo Z, Xie J, Dong X, et al. 2018. X-Ray-Controlled Generation of Peroxynitrite Based on Nanosized LiLuF₄:Ce(3+) Scintillators and their Applications for Radiosensitization. *Advanced materials* 30:e1804046
131. Dumych T, Bridot C, Gouin SG, Lensink MF, Paryzhak S, et al. 2018. A Novel Integrated Way for Deciphering the Glycan Code for the FimH Lectin. *Molecules* 23
132. Xie Y, Li MN, Chen HQ, Zhang B. 2019. Effects of the combination of repeated heat-moisture treatment and compound enzymes hydrolysis on the structural and physicochemical properties of porous wheat starch. *Food chemistry* 274:351-9
133. Khan MA. 2018. Phosphorylation of Translation Initiation Factor eIFiso4E Promotes Translation Through Enhanced Binding to Potyvirus VPg. *Journal of biochemistry*
134. Ibarra-Hernandez W, Hajinazar S, Avendano-Franco G, Bautista-Hernandez A, Kolmogorov AN, Romero AH. 2018. Structural search for stable Mg-Ca alloys accelerated with a neural network interatomic model. *Physical chemistry chemical physics : PCCP*
135. Wang C, Almeida PF, Regen SL. 2018. Net Interactions That Push Cholesterol Away From Unsaturated Phospholipids Are Driven By Enthalpy. *Biochemistry*
136. Hendrikse NM, Charpentier G, Nordling E, Syren PO. 2018. Ancestral diterpene cyclases show increased thermostability and substrate acceptance. *The FEBS journal*
137. Parikh V, Gupta P. 2018. Thermodynamic analysis of r-hGH-polymer surface Interaction using isothermal titration calorimetry. *Growth hormone & IGF research : official journal of the Growth Hormone Research Society and the International IGF Research Society* 42-43:86-93
138. Sagastuy-Brena M, Mileo PGM, Sanchez-Gonzalez E, Reynolds JE, Jurado-Vazquez T, et al. 2018. Humidity-induced CO₂ capture enhancement in Mg-CUK-1. *Dalton transactions*
139. Hasan M, Paul S, Mourikis AI, Roy-Chowdhury AK. 2018. Context-Aware Query Selection for Active Learning in Event Recognition. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*
140. De Nardis J, Bernard D, Doyon B. 2018. Hydrodynamic Diffusion in Integrable Systems. *Physical review letters* 121:160603
141. Mancino L, Cavina V, De Pasquale A, Sbroscia M, Booth RI, et al. 2018. Geometrical Bounds on Irreversibility in Open Quantum Systems. *Physical review letters* 121:160602
142. Brunelli M, Fusco L, Landig R, Wieczorek W, Hoelscher-Obermaier J, et al. 2018. Experimental Determination of Irreversible Entropy Production in out-of-Equilibrium Mesoscopic Quantum Systems. *Physical review letters* 121:160604
143. Li L, Alsharif N, Brown KA. 2018. Confinement Induced Stiffening of Elastomer Thin Films. *The journal of physical chemistry. B*
144. Wang C, Tang H, Zhu F, Jiang Z, Shi J, et al. 2018. Prognostic value of left-ventricular systolic and diastolic dyssynchrony measured from gated SPECT MPI in patients with dilated cardiomyopathy. *Journal of nuclear cardiology : official publication of the American Society of Nuclear Cardiology*
145. Saeidfirozeh H, Shafiekhani A, Cifra M, Masoudi AA. 2018. Endogenous Chemiluminescence from Germinating Arabidopsis Thaliana Seeds. *Scientific reports* 8:16231
146. Ran Q, Xu X, Dey P, Yu S, Lu Y, et al. 2018. Interaction of human serum albumin with dendritic polyglycerol sulfate: Rationalizing the thermodynamics of binding. *The Journal of chemical physics* 149:163324
147. Li J, Pu K. 2018. Development of organic semiconducting materials for deep-tissue optical imaging, phototherapy and photoactivation. *Chemical Society reviews*

148. Alnaed MK, Endicott JF. 2018. Chemical Scavenging Yields for Short-Lived Products from the Visible Light Photoionization of the tris-Bipyridine-Ruthenium(II) Triplet Metal-to-Ligand Charge-Transfer Excited State. *The journal of physical chemistry. A*
149. Ju SH, Kim JC, Noh SM, Cheong IW. 2018. Environmentally Adaptable and Temperature-Selective Self-Healing Polymers. *Macromolecular rapid communications*:e1800689
150. Santra D, Sen K. 2018. Generating cellulose-agar composite hydrogels for uptake-release kinetic studies of selenate and selenomethionine. *International journal of biological macromolecules*
151. Bush DB, Knotts TAt. 2018. The effects of antigen size, binding site valency, and flexibility on fab-antigen binding near solid surfaces. *The Journal of chemical physics* 149:165102
152. Friedowitz S, Salehi A, Larson RG, Qin J. 2018. Role of electrostatic correlations in polyelectrolyte charge association. *The Journal of chemical physics* 149:163335
153. Lin J, Yan Y, Zheng X, Zhong Z, Wang Y, et al. 2018. Designing and constructing core-shell NiCo₂S₄@Ni₃S₂ on Ni foam by facile one-step strategy as advanced battery-type electrodes for supercapattery. *Journal of colloid and interface science* 536:456-62
154. Khalil ISM, Tabak AF, Abou Seif M, Klingner A, Sitti M. 2018. Controllable switching between planar and helical flagellar swimming of a soft robotic sperm. *PloS one* 13:e0206456
155. Falkovich G, Vladimirova N. 2018. Turbulence Appearance and Nonappearance in Thin Fluid Layers. *Physical review letters* 121:164501
156. Jo W, Yoo B. 2018. Effects of Cellulose Gums on Rheological Interactions in Binary Mixtures of Xanthan Gum and Locust Bean Gum. *Preventive nutrition and food science* 23:269-74
157. Yoo SH, Chang YH. 2018. Effect of Tara Gum Addition on Steady and Dynamic Shear Rheological Properties of Rice Starch Isolated from the Korean Rice Variety 'Boramchan'. *Preventive nutrition and food science* 23:254-9
158. Jee AY, Cho YK, Granick S, Thursty T. 2018. Catalytic enzymes are active matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*
159. Kinloch IA, Suhr J, Lou J, Young RJ, Ajayan PM. 2018. Composites with carbon nanotubes and graphene: An outlook. *Science* 362:547-53
160. Walenga RL, Babiskin AH, Zhang X, Absar M, Zhao L, Lionberger RA. 2018. Impact of Vehicle Physicochemical Properties on Modeling-Based Predictions of Cyclosporine Ophthalmic Emulsion Bioavailability and Tear Film Breakup Time. *Journal of pharmaceutical sciences*
161. Kampf N, Wachtel EJ, Zilman A, Ben-Shalom N, Klein J. 2018. Anomalous viscosity-time behavior of polysaccharide dispersions. *The Journal of chemical physics* 149:163320
162. Hu Y, Liu X, Tian L, Zhao T, Wang H, et al. 2018. Multi-Dimensional Ternary Hybrids with Synergistically Enhanced Electrical Performance for Conductive Nanocomposites and Prosthetic Electronic Skin. *ACS applied materials & interfaces*
163. Wang Y, Wu H, Liu Z, Zhao H, Liu H, Zhang Y. 2018. Bottom-Up Construction of Reduced-Graphene-Oxide-Anchored MnO with an Nitrogen-Doped Carbon Coating for Synergistically Improving Lithium-Ion Storage. *Inorganic chemistry*
164. Sheskin A, Schwarz T, Yu Y, Zhang S, Abdellaoui L, et al. 2018. Tailoring Thermoelectric Transport Properties of Ag-Alloyed PbTe: Effects of Microstructure Evolution. *ACS applied materials & interfaces*
165. Christov F, Gluth MB, Lahti SJ, Ludwig S, Hans S, et al. 2018. Electric compound action potentials (ECAPs) and impedances in an open and closed operative site during cochlear implantation. *Cochlear implants international*:1-8
166. Liu C, Li X, Li X, Xu T, Song C, et al. 2018. Preparation of Conductive Polyester Fibers Using Continuous Two-Step Plating Silver. *Materials* 11
167. Moya-Salazar J, Rojas-Zumaran V. 2018. Eco-Pap: The Ecological Modification of the Papanicolaou Stain for Sustainable Cervical Cancer Diagnosis. *Acta cytologica*:1-9
168. Shi XL, Li Y, Zhao LM, Su LW, Ding G. 2018. Delivery of MTH1 inhibitor (TH287) and MDR1 siRNA via hyaluronic acid-based mesoporous silica nanoparticles for oral cancers treatment. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces* 173:599-606
169. Wang J, Yan C, Zhu L, Gu D, Zhang D, et al. 2018. Solar binary chemical depolymerization of lignin for efficient production of small molecules and hydrogen. *Bioresource technology* 272:249-58

170. Garbo F, Pivato A, Manachini B, Moretto CG, Lavagnolo MC. 2018. Assessment of the ecotoxicity of phytotreatment substrate soil as landfill cover material for in-situ leachate management. *Journal of environmental management* 231:289-96
171. Xu X, Huang H, Zhang Y, Xu Z, Cao X. 2018. Biochar as both electron donor and electron shuttle for the reduction transformation of Cr(VI) during its sorption. *Environmental pollution* 244:423-30
172. Tong Z, Zhang Y, Wei X. 2018. The effect of human serum and dentin powder alone or in combination on the antibacterial activity of sodium hypochlorite against *Enterococcus faecalis*. *Archives of oral biology* 97:72-6
173. Men C, Liu R, Wang Q, Guo L, Miao Y, Shen Z. 2018. Uncertainty analysis in source apportionment of heavy metals in road dust based on positive matrix factorization model and geographic information system. *The Science of the total environment* 652:27-39
174. Alharthi S, El Rassi Z. 2019. CE with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). Part I. Functionalized and SDS coated MWCNTs as pseudo-stationary phases in nanoparticle EKC - Studies on retention energetics. *Talanta* 192:534-44
175. Aran-Ais RM, Gao D, Roldan Cuenya B. 2018. Structure- and Electrolyte-Sensitivity in CO₂ Electroreduction. *Accounts of chemical research*
176. Song R, Dong C, Wang C, Zhang H, Yang Z. 2018. [Effectiveness of Xuebijing in treatment of multiple organ dysfunction syndrome: a Meta analysis]. *Zhonghua wei zhong bing ji jiu yi xue* 30:848-54
177. Girotto M, Malossi RM, Dos Santos AP, Levin Y. 2018. Lattice model of ionic liquid confined by metal electrodes. *The Journal of chemical physics* 148:193829
178. Mendez-Morales T, Burbano M, Haeftle M, Rotenberg B, Salanne M. 2018. Ion-ion correlations across and between electrified graphene layers. *The Journal of chemical physics* 148:193812
179. Guo L, Ji L, Wang J, Zuo S, Chen Z. 2018. Walnut-like Transition Metal Carbides with Three-Dimensional Networks by a Versatile Electropolymerization-Assisted Method for Efficient Hydrogen Evolution. *ACS applied materials & interfaces*
180. Cuhadar C, Kim SG, Yang JM, Seo JY, Lee D, Park NG. 2018. All-Inorganic Bismuth Halide Perovskite-Like Materials A₃Bi₂I₉ and A₃Bi_{1.8}Na_{0.2}I_{8.6} (A = Rb and Cs) for Low-Voltage Switching Resistive Memory. *ACS applied materials & interfaces* 10:29741-9
181. Shizgal BD. 2018. Kappa and other nonequilibrium distributions from the Fokker-Planck equation and the relationship to Tsallis entropy. *Physical review. E* 97:052144
182. Chen LJ, Wang S, Wilson LB, Schwartz S, Bessho N, et al. 2018. Electron Bulk Acceleration and Thermalization at Earth's Quasiperpendicular Bow Shock. *Physical review letters* 120:225101
183. Park J, Hadamek T, Posadas AB, Cha E, Demkov AA, Hwang H. 2017. Multi-layered NiOy/NbOx/NiOy fast drift-free threshold switch with high Ion/Ioff ratio for selector application. *Scientific reports* 7:4068
184. Yefremova Y, Opuni KFM, Danquah BD, Thiesen HJ, Glocker MO. 2017. Intact Transition Epitope Mapping (ITEM). *Journal of the American Society for Mass Spectrometry* 28:1612-22
185. Zhu Q, Zhang Q, Zhang N, Gong M. 2017. Alternate injections coupled with flow-gated capillary electrophoresis for rapid and accurate quantitative analysis of urine samples. *Analytica chimica acta* 978:55-60
186. Heuveling J, Landmesser H, Schneider E. 2018. Evidence from mutational analysis for a single transmembrane substrate binding site in the histidine ATP-binding cassette transporter of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Journal of bacteriology*
187. Mueller N, Rojas-Rueda D, Khreis H, Cirach M, Mila C, et al. 2018. Socioeconomic inequalities in urban and transport planning related exposures and mortality: A health impact assessment study for Bradford, UK. *Environment international* 121:931-41
188. Astumian RD. 2018. Trajectory and Cycle-Based Thermodynamics and Kinetics of Molecular Machines: The Importance of Microscopic Reversibility. *Accounts of chemical research*
189. Zhao B, Dang W, Liu Y, Li B, Li J, et al. 2018. Synthetic Control of Two-Dimensional NiTe₂ Single Crystals with Highly Uniform Thickness Distributions. *Journal of the American Chemical Society*

190. Wu D, Li Q, Ding X, Sun J, Li D, et al. 2018. Primary Particulate Matter Emitted from Heavy Fuel and Diesel Oil Combustion in a Typical Container Ship: Characteristics and Toxicity. *Environmental science & technology*
191. Scharf RE. 2018. Platelet Signaling in Primary Haemostasis and Arterial Thrombus Formation: Part I. *Hamostaseologie*
192. Li CJ, Xiao Y, Yang M, Su T, Sun X, et al. 2018. Long noncoding RNA Bmncr regulates mesenchymal stem cell fate during skeletal aging. *The Journal of clinical investigation*
193. Yang L, Yu X, Yang Y. 2018. Autotaxin upregulated by STAT3 activation contributes to invasion in pancreatic neuroendocrine neoplasms. *Endocrine connections*
194. Sousa ASP. 2018. Antagonist co-activation during short and medium latency responses in subjects with chronic ankle instability. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 43:168-73
195. Wu X, Wang Y, Zhang Q, Zhao H, Yang Y, et al. 2018. Seasonal variation, air-water exchange, and multivariate source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal area of Dalian, China. *Environmental pollution* 244:405-13
196. Antonia Nunes M, Pawlowski S, Costa ASG, Alves RC, Oliveira M, Velizarov S. 2018. Valorization of olive pomace by a green integrated approach applying sustainable extraction and membrane-assisted concentration. *The Science of the total environment* 652:40-7
197. Zainul, R., Oktavia, B., Dewata, I., & efendi, j. (2017, February 4). *Studi Dinamika Molekular dan Kinetika Reaksi pada Pembelahan Molekul Air untuk Produksi Gas Hidrogen*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/876s3>
198. Zainul, R., Alif, A., Aziz, H., Arief, S., & s. (2015, October 22). *Photoelectrosplitting Water Mechanism at Carbon Electrode Surface using Indoor lights*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/vcxq8>
199. Aguilar-Rodriguez J, Wagner A. 2018. Metabolic determinants of enzyme evolution in a genome-scale bacterial metabolic network. *Genome biology and evolution*
200. Ahumada-Castro U, Silva-Pavez E, Lovy A, Pardo E, Molgo J, Cardenas C. 2018. MTOR-independent autophagy induced by interrupted endoplasmic reticulum-mitochondrial Ca(2+) communication: a dead end in cancer cells. *Autophagy*
201. M., Yani, S. R., & Zainul, R. (2017, September 4). *Aktivasi Tanah Napa dan Pengaruhnya Terhadap Adsorpsi Ion Timbal (II)/ Pb2+*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/ps523>
202. P, O. M., A, L. G., S, A. Y. M., & Zainul, R. (2018, September 1). *A Review Grinding : Teknik dan Prinsip Dasar pada Pengolahan Material*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/trv4q>
203. H., Sanjaya, H., & Zainul, R. (2016, August 30). *Synthesis and Electrical Properties of ZnO-ITO and Al-ITO thin Film by Spin Coating Technique Through Sol Gel Process*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/unrt4>
204. M., Sanjaya, H., & Zainul, R. (2015, December 30). *Characterization of napa soil and adsorption of Pb (II) from aqueous solutions using on column method*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/t8fh9>
205. chaidir, z., Fadjria, N., A., & Zainul, R. (2016, December 5). *Isolation And Molecular Identification Of Freshwater Microalgae In Maninjau Lake West Sumatera*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/nbcuf>
206. chaidir, z., Zainul, R., Nurakhbari, D., & Salim, M. (2016, September 24). *Optimization of Spirulina Platensis Culture for Antioxidant Production*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/FD6E4>
207. Armenise I, Kustova E. 2018. Effect of Asymmetric Mode on CO2 State-to-State Vibrational-Chemical Kinetics. *The journal of physical chemistry*.
208. Winward JD, Ragan CM, Jimenez AG. 2018. Cellular metabolic rates and oxidative stress profiles in primary fibroblast cells isolated from virgin females, reproductively experienced females, and male Sprague-Dawley rats. *Physiological reports* 6:e13909

209. Zainul R, Oktavia B, Dewata I, Efendi J. *Thermal and Surface Evaluation on The Process of Forming a Cu₂O/CuO Semiconductor Photocatalyst on a Thin Copper Plate*. Proc. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 335:012039: IOP Publishing
210. Zainul R, Alif A, Aziz H, Arief S, Dradjad S, Munaf E. 2015. *Design of photovoltaic cell with copper oxide electrode by using indoor lights*. RESEARCH JOURNAL OF PHARMACEUTICAL BIOLOGICAL AND CHEMICAL SCIENCES 6:353-61
211. Mawardi M, Deyundha D, Zainul R. *Characterization of PCC Cement by Addition of Napa Soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District as Alternative Additional Material for Semen Padang*. Proc. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 335:012034: IOP Publishing
212. Giganti F, Allen C, Piper JW, Mirando D, Stabile A, et al. 2018. Sequential prostate MRI reporting in men on active surveillance: initial experience of a dedicated PRECISE software program. *Magnetic resonance imaging*
213. Anhar A, Sumarmin R, Zainul R. 2016. *Measurement of Glycemic Index of West Sumatera Local Rice Genotypes for Healthy Food Selection*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/tgy8h>
214. Zainul R, Dewata I. 2015. *Determination of pH-BOD-COD and degradation in batang arau watersheds at Padang city*. [10.31227/osf.io/efdji](https://doi.org/10.31227/osf.io/efdji)
215. Zainul R, Alif A, Aziz H, Arief S. 2015. *Disain Geometri Reaktor Fotosel Cahaya Ruang*. Jurnal Riset Kimia 8:131. <https://doi.org/10.25077/jrk.v8i2.230>
216. Zainul R, Alif A, Aziz H, Arief S, Darajat S. 2015. *Modifikasi dan Karakteristik IV Sel Fotovoltaik Cu₂O/Cu-Gel Na₂SO₄ Melalui Iluminasi Lampu Neon*. EKSAKTA 2:50
217. Tan KT, Chung TH, Wu YP, Chew CY, Lam CH. 2018. Imaging and Quantification of Secreted Peroxynitrite at the Cell Surface by Streptavidin-Biotin Controlled Binding Probe. *Chembiochem : a European journal of chemical biology*
218. Horiza, H., Azhar, M. and Efendi, J. (2017) “*Ekstraksi Dan Karakterisasi Inulin Dari Umbi Dahlia (Dahlia Sp.L) Segar Dan Disimpan*”, EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 18(01), pp. 31-39. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/14>
219. Iryani, I., Iswendi, I. and Katrina, I. T. (2017) “*Uji Aktivitas Anti Diabetes Mellitus Senyawa Metabolit Sekunder Fraksi Air Dari Beras Ketan Hitam (Oryza Satival. Var Glutinosa) Pada Mencit Putih*”, EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 18(01), pp. 54-60. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/17>.
220. Suryelita, S., Etika, S. B. and Kurnia, N. S. (2017) “*Isolasi Dan Karakterisasi Senyawa Steroid Dari Daun Cemara Natal (Cupressus Funnebris Endl.)*”, EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 18(01), pp. 86-94. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/23>.
221. Iskandar, I., Horiza, H. and Fauzi, N. (2017) “*Efektivitas Bubuk Biji Pepaya (Carica Papaya Linnaeus) Sebagai Larvasida Alami Terhadap Kematian Larva Aedes Aegypti Tahun 2015*”, EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA, 18(01), pp. 12-18. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/12>.
222. Vinarov Z, Katev V, Burdzhiev N, Tcholakova S, Denkov ND. 2018. Effect of surfactant-bile interactions on the solubility of hydrophobic drugs in biorelevant dissolution media. *Molecular pharmaceutics*
223. Pearson J, Nguyen TL, Colfen H, Mulvaney P. 2018. Sedimentation of C60 and C70: Testing the Limits of Stokes' Law. *The journal of physical chemistry letters*:6345-9
224. Zainul, R. (2016, December 18). Design and Modification of Copper Oxide Electrodes for Improving Conversion Coefficient Indoors Lights (PV-Cell) Photocells. <https://doi.org/10.31227/osf.io/pgn84>
225. Zainul, R. (2016, December 18). Design and Modification of Copper Oxide Electrodes for Improving Conversion Coefficient Indoors Lights (PV-Cell) Photocells. <https://doi.org/10.31227/osf.io/pgn84>
226. Zainul, R. (2016, September 24). Determination of the half-life and the quantum yield of ZnO semiconductor photocatalyst in humic acid. <https://doi.org/10.31227/osf.io/e8a9x>

227. Febriani, S. S., Yolanda, T., Arianti, V. A., & Zainul, R. (2018, September 2). A Review Solid Stated : Principles and Methode. <https://doi.org/10.31227/osf.io/7us4x>
228. Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018, September 29). *Sol Gel : Principle And Technique (A Review)*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/2cuh8>
229. Zainul, R. (2016, November 19). Effect of Temperature and Particle Motion against the ability of ZnO Semiconductor Photocatalyst in Humic Acid. <https://doi.org/10.31227/osf.io/wnygb>
230. Dinata, A. A., Rosyadi, A. M., Hamid, S., & Zainul, R. (2018, August 31). *A Review Chemical Vapor Deposition : Process And Application*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/yfeau>
231. Putri, D. F., Ritonga, H. M., Murdiati, V., & Zainul, R. (2018, August 31). *A Review What Is Hydrothermal ?*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/dm56c>
232. Awalliyah, A., Ikhwan, H., Nugiasari, V., & Zainul, R. (2018, August 31). *A Review Prinsip Dasar Milling Dalam Sintesis Material*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/9xsqe>
233. Candani, D., Ulfah, M., Noviana, W., & Zainul, R. (2018, September 1). *A Review Pemanfaatan Teknologi Sonikasi*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/uxknv>
234. Fatimah, P., Jumalia, R., Novianti, E. R., & Zainul, R. (2018, August 31). *A REVIEW Teknik Blended : Prinsip dan Dasar-Dasar*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/tm2w4>
235. Ramli, R., Jonuarti, R. and Hartono, A. (2017) “Analisis Struktur Nano Dari Lapisan Tipis Cobalt Ferrite Yang Dipreparasi Dengan Metode Sputtering”, *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(01), pp. 46-53. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss01/16>.
236. Sanjaya, H. (2017) “DEGRADASI METHYLENE BLUE MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-PEG DENGAN METODE FOTOSONOLISIS”, *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), pp. 21-29. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/45>.
237. Ningsih, S. K. (2017) “Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Zn Doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol-Gel”, *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), pp. 39-51. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/51>.
238. Saiya, A. (2017) “Analisis Residu Klorpirifos Dalam Sayuran Kubis Dengan Metode Hplc Di Beberapa Pasar Tradisional Di Sulawesi Utara”, *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang Mipa*, 18(02), pp. 77-85. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/57>.
239. Nurttilla S, Brenner W, Mosquera J, van Vliet K, Nitschke J, Reek J. 2018. Size-selective hydroformylation by a rhodium catalyst confined in a supramolecular cage. *Chemistry*
240. Ilmi Muftiana , et al. *The Effect of KMnO₄ and K₃[Fe(CN)₆] Concentrations on Electrical Production in Fuel Cell Microbial System with Lactobacillus bulgaricus Bacteria in a Tofu Whey Substart*, 2018 : p. 49 – 53.
241. Syafei, N. (2017) “Analisa Fenomena Korosi Pelat Pipa Baja Karbon Api 5l-X65 Dalam Larutan 250 Ml Asam Asetat Dan 4750 Ml Aquades Pada Kondisi Gas Co₂ Dan H₂s Jenuh Pada Suhu Ruang”, *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), pp. 113-120. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/63>.
242. Tutuarima, T. (2017) “Sifat Fisik Dan Kimia Marmalade Jeruk Kalamansi (*Citrus Microcarpa*) : Kajian Konsentrasi Pektin Dan Sukrosa Physical And Chemical Properties Of Marmalade Citrus Of Calamondin (*Citrus Microcarpa*) : Study of Pectin and Sucrose Concentrations”, *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), pp. 164-172. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/73>.

243. Ruswandi, R. (2018) "Determination of Fructose Content resulted by Inulin Hydrolysis with DNS as Oxidizer", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), pp. 14-23. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/102>.
244. Sanjaya, H. (2018) "Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO₂ Secara Fotolisis", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), pp. 91-99. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131>.
245. Hidayani, T. (2018) "Grafting Polipropilena Dengan Maleat Anhidrida Sebagai Pengikat Silang Dengan Inisiator Benzoin Peroksida", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), pp. 56-62. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/127>.
246. Prabowo, H. (2018) "Penyelidikan Kelayakan Kimia Dan Penyebaran Cadangan Pasir Besi Daerah Tiku Kabupaten Agam Untuk Bahan Baku Semen Pada Pt. Semen Padang", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), pp. 39-42. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/121>.
247. Syafei, N. (2018) "Riset Material Analisa Fenomena Korosi Pelat Pipa Baja Karbon Api 5L-X65 Dalam Larutan 7900 Ml Air Laut Dan 100 Ml Amoniak Pada Kondisi Gas CO₂ Dan H₂S Jenuh Pada Suhu Ruang.", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), pp. 7-13. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/83>.
248. Parbuntari, H., Prestica, Y., Gunawan, R., Nurman, M. and Adella, F. (2018) "Preliminary Phytochemical Screening (Qualitative Analysis) of Cacao Leaves (*Theobroma cacao* L.)", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(2), pp. 40-45. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss2/142>.
249. Dinata, M. and Soehardi, F. (2018) "Factor Analysis of Physics Chemistry Waters that Affects Damage Safety Cliff on the Outskirts of River Siak", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(2), pp. 46-49. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss2/143>.
250. Sofyanita, S. and Octaria, Z. (2018) "Fenthion Compound Degradation in the Pesticide Bayleton 500 ec in Sonolysis, Ozonolysis and Sonochemical with Addition of TiO₂-anatase", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(2), pp. 70-79. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss2/153>.
251. Harahap, F. and Lubis, L. (2018) "Analysis of Heavy Metals Distribution in the River Town of Hamasaki's Rod Padangsidimpuan", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(2), pp. 50-56. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss2/149>.
252. Syafei, N., Hidayat, D., Emilliano, E. and Men, L. (2018) "Analysis Cracking Corrosion on Carbon Steel Pipes API 5L-X65 In Solution 7700 ml Aquades, 250 ml Acetic Acid and 50 ml Ammonia with Gas CO₂ and H₂S in Saturation Condition", *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(2), pp. 21-31. doi: <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss2/138>.
253. Yasthoopi A. 2015. Photoelectrospitting water for hydrogen production using illumination of indoor lights. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7:246-56
254. Zainul R. 2015. Disain dan Modifikasi Kolektor dan Reflektor Cahaya pada Panel Sel Surya Al/Cu₂O-Gel Na₂SO₄. <http://repository.unp.ac.id/id/eprint/610>
255. Mawardi Anwar E, Kosela S, Wibowo W, Zainul R. 2015. Study of Pb (II) biosorption from aqueous solution using immobilized *Spirogyra subsalsala* biomass. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7:715-22
256. Desy Kurniawati I, Harmiwati SS, Chaidir Z, Munaf E, Rahmiana Zein, Hermansyah Aziz, Rahadian Zainul. 2015. Biosorption of Pb (II) from Aqueous Solutions Using Column Method by Lengken (Euphoria logan lour) Seed and Shell. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7:872-7
257. Chaidir, z., Zainul, R., Nurakhbari, D., & Salim, M. (2016, September 24). Optimization of *Spirulina Platensis* Culture for Antioxidant Production. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/FD6E4>

258. Zainul, R., & Prima, C. B. (2017, June 29). Desain Geometri Sel PV.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/7n8t4>