

Isma Wulansari, S.T., M.Eng.



Monograf
**PENGOLAHAN
LIMBAH CAIR
INDUSTRI RAYON**



Monograf

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON



Rayon merupakan serat buatan yang memiliki kemampuan untuk merekayasa serat secara kimia dan struktural melalui pemanfaatan sifat selulosa. Limbah rayon merupakan material sisa hasil proses produksi rayon baik dalam fase padat, cair maupun gas yang berasal dari hasil samping pemrosesan rayon yang apabila tidak dilakukan pengolahan sebelum dialirkan ke fasilitas pengolahan limbah dapat menimbulkan permasalahan pada lingkungan hidup.

Berawal dari keterbatasan pengolahan limbah cair dalam menghadapi permasalahan limbah rayon, maka diusulkan pendekatan pengolahan limbah rayon dalam bentuk pemodelan matematis dan karakteristik sifat limbah rayon yang dituangkan oleh penulis pada monograf tentang Pengolahan Limbah Cair Industri Rayon.

Monograf Pengolahan Limbah Cair Industri Rayon ini mencoba menggabungkan dan menyelaraskan dimensi teori dan praktik untuk mendapatkan deskripsi yang komprehensif serta relevan dengan konteks dinamika pengolahan limbah terkini.

Pembahasan dalam buku ini dimulai secara berurutan dari Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Industri Rayon, Bab 3 Limbah Sulfida, Bab 4 Pemodelan Matematis dan Bab 5 Sifat Limbah. Monograf ini penting dimiliki oleh para praktisi, akademisi, mahasiswa dan peneliti di bidang pengolahan limbah agar dapat memahami tantangan dunia industri yang sudah mengalami perubahan sangat revolusioner.



eureka
media alvara

Anggota IKAPI
No. 225/JTE/2021

0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362

ISBN 978-623-151-068-6



9 786231 510686

MONOGRAF
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI
RAYON

Isma Wulansari, S.T., M.Eng.



PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

MONOGRAF
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON

Penulis : Isma Wulansari, S.T., M.Eng.

Desain Sampul : Eri Setiawan

Tata Letak : Siwi Rimayani Oktora

ISBN : 978-623-151-068-6

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, JUNI 2023**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekaediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Industrialisasi berperan dalam meningkatkan kesejahteraan serta menjamin terpenuhinya kesehatan pekerja dan masyarakat. Bahan baku sintesis yang tergolong berbahaya dalam industri dikenal sebagai limbah sebelum memberikan dampak pencemaran industri terhadap lingkungan dan memanjani masyarakat serta ekosistem secara umum. Oleh karenanya monograf ini mencoba mengenalkan pengolahan limbah cair industri rayon secara komprehensif dengan harapan masyarakat umum khususnya mahasiswa lebih memahami secara lebih mendalam.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya. Kepada seluruh dukungan yang diberikan penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga atas pengorbanannya selama ini.

Bab I terdiri dari pemaparan pendahuluan yang mengenalkan kepada pembaca tentang sejarah rayon serta gambaran umum mengenai limbah rayon. Pembahasan mengenai industri rayon dijelaskan lebih mendalam pada Bab II. Sedangkan berikutnya yaitu Bab III membahas mengenai analisis teknis limbah sulfida Bab IV menggambarkan mengenai kinetika reaksi dan karakterisasi limbah rayon. Pembahasan yang menitikberatkan pada Teknik operasional dimulai pada Bab V yaitu mengenai profil pengaruh beberapa karakteristik dan sifat pada limbah rayon.

Atas dasar semua itu, monograf ini ditulis sebagai referensi untuk pekerja di industri tekstil dan produk tekstil serta membantu pembaca memperbaiki lingkungan kerja. Adapun bahan monograf yang tertuang dihimpun dari berbagai sumber, pengalaman laboratorium dan pengujian di Universitas Gadjah Mada.

Penulis menyadari bahwa monograf ini masih mengandung kekurangan dan mengingat cakupan mengenai pengolahan limbah cair industri rayon sangat luas sehingga sulit untuk merangkup semua materi tersebut. Oleh karenanya, penulis akan sangat menghargai kritik dan saran dari pembaca guna menyempurnakan bahan monograf.

Jakarta, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Sejarah Serat Rayon	1
B. Limbah Rayon	9
BAB 2 INDUSTRI RAYON	14
A. Perkembangan Industri Rayon	14
B. Produksi Rayon	15
C. Proses Pembuatan Rayon	18
BAB 3 LIMBAH SULFIDA	21
A. Limbah Sodium Hidrogen Sulfida	21
B. Metode Oksidasi	25
C. Parameter Penentuan Limbah Sulfida	28
BAB 4 PEMODELAN MATEMATIS	31
A. Kinetika Reaksi	31
B. Stoikiometri Reaksi	32
C. Reaksi Oksidasi Katalitik	34
D. Berat Padatan	34
E. Rasio	34
F. Konstanta Kinetika Reaksi dan Orde Reaksi	35
BAB 5 SIFAT LIMBAH	37
A. Karakterisasi Awal Limbah	37
B. Derajat Keasaman Limbah pada Limbah Rayon	41
C. Temperatur pada Limbah Rayon	43
D. Padatan pada Limbah Rayon	45
E. Pengaruh Sulfida pada Limbah Rayon	46
F. Pengaruh Sulfat pada Limbah Rayon	52
BAB 6 KESIMPULAN	57
DAFTAR PUSTAKA	59
TENTANG PENULIS	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Karakteristik serat rayon.....	5
Tabel 3.1. Sifat fisis sodium hidrogen sulfida (Ixom Operations Pty Ltd, 2018) dan sodium sulfida (LabChem Inc, 2018).....	24
Tabel 5.1. Produk reaksi oksidasi yang diteliti dan beberapa penelitian terdahulu dalam mereduksi komponen sulfida.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Mesin pemintal serat buatan pertama tahun 1889 untuk memintal serat selulosa nitrat yang dikembangkan oleh Count Hilaire de Chardonnet (Woodings, 2001).....	3
Gambar 1.2.	Serat Konvensional.....	4
Gambar 1.3.	Produksi serat di dunia tahun 1900 – 2050 dalam satuan 10^6 Ton.....	6
Gambar 1.4.	Jenis rayon (Mather & Wardman, 2015).....	8
Gambar 2.1.	Produksi serat selulosa dan serat sintetis dunia dari tahun 2000 – 2021 (Fernández, 2022a) 787149 .	15
Gambar 2.2.	Produksi serat tekstil dunia tahun 1975 – 2020 serta prediksi tahun 2025 – 2030 (juta ton) (Fernández, 2022b)	16
Gambar 2.3.	Klasifikasi Serat Alam dan Serat Buatan	17
Gambar 2.4.	Proses produksi rayon	19
Gambar 3.1.	Proses <i>scrubbing</i> hidrogen sulfida oleh sodium hidroksida	21
Gambar 5.1.	Profil temperatur, pH dan massa jenis larutan limbah sulfida	38
Gambar 5.2.	Profil (a) temperatur dan massa jenis serta (b) pH dan massa jenis larutan limbah sulfida	39
Gambar 5.3.	Profil konsentrasi NaHS setiap waktu.....	40
Gambar 5.4.	Profil pH larutan terhadap waktu reaksi selama oksidasi pada berbagai konsentrasi dengan rasio $H_2O_2/NaHS$ sebesar 1:4,2 ; 1:5,6 ; 1:7,0 ; 1:8,4 ; 1:17,5	41
Gambar 5.5.	Profil temperatur larutan terhadap waktu reaksi selama proses oksidasi	43
Gambar 5.6.	Profil konstanta kecepatan reaksi terhadap konsentrasi sulfida awal	54
Gambar 5.7.	Profil konstanta kecepatan reaksi terhadap konsentrasi sulfida awal	55



**MONOGRAF
PENGOLAHAN LIMBAH
CAIR INDUSTRI RAYON**



BAB 1 | PENDAHULUAN

A. Sejarah Serat Rayon

Serat buatan pertama kali dikemukakan pada tahun 1665 oleh Robert Hooke bahwa mungkin suatu saat akan ada suatu cara untuk membuat komposisi buatan yang saling bisa melekat mirip dengan sutra yang dapat ditarik berbentuk seperti kabel kecil dan bisa digunakan.

Dalam rentang dua abad bermunculan aplikasi komersil yang menerapkan ide Hooke di berbagai sektor, akan tetapi perkembangan rayon baru mengalami kemajuan pada 100 tahun terakhir setelah diawal ide Hooke ini muncul industri serat buatan berjalan lambat. Industri serat buatan telah berkembang sedemikian semakin luas sehingga menghasilkan produk yang bervariasi dan telah tersedia secara keseluruhan.¹

Serat buatan pertama diproduksi pada tahun 1855 melalui reaksi antara selulosa dengan asam nitrat yang menghasilkan selulosa nitrat yang dilarutkan dalam campuran eter dan alkohol. Akan tetapi, serat buatan yang diproduksi dengan metode tersebut tidak dapat diproduksi secara komersial oleh industri tekstil karena menghasilkan serat dengan karakteristik yang sangat mudah terbakar dan mudah meledak.

¹ Aitken, R. 2008. The Manufacture of Viscose Rayon Fibres. *"The idea of man-made fibres is generally credited to Robert Hooke, of Hooke's Law fame, who in 1665 proposed the remarkable suggestion that one day 'there might be a way found out to make an artificial glutinous composition much resembling that substance out of which the silkworm draws his clew.. . and drawing it out into small wires for use".* 99 (5-6).

BAB 2

INDUSTRI RAYON

A. Perkembangan Industri Rayon

Serat dapat dibagi menjadi beberapa kelas diantaranya serat yang terbuat dari polimer alam dan polimer yang disintesis. Polimer sintesis merupakan polimer yang dibuat berdasarkan metode polimerisasi dari beberapa bagian komponen serat yang dilakukan di laboratorium atau industri.

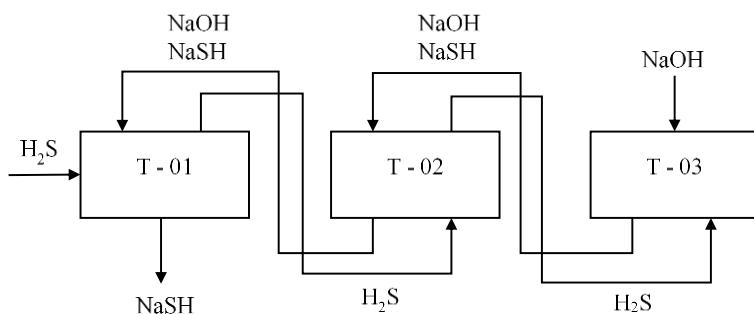
Polimer alam umumnya mencakup kelompok selulosa yang terdiri atas kayu, kasein, alginat dan karet. Polimer alam dari serat selulosa setidaknya membentuk tiga jenis rayon yaitu cuprammonium, *viscose* atau rayon dan asetat. Beberapa polimer yang termasuk kedalam golongan serat sintesis ialah nilon, poliester, akrilik dan poliolefin.

Karakterisasi polimer diatas dapat digolongkan berdasarkan sumber bahan baku serat dan dari jumlah rata-rata unit monomer berulang berdasarkan *degree of polymerization* (DP). Nilai DP untuk rayon berkisar antara 250 - 800 dimana nilai DP rayon untuk masing-masing jenis rayon adalah 270 untuk *viscose* pada umumnya, 250 - 350 untuk *improved* rayon, 500 - 600 untuk rayon jenis polinosik, dan 300 - 600 untuk modal. Sedangkan cupro dan lyocell masing-masing memiliki degree of polymerization sebesar 450 - 500 dan 550 - 600. Untuk kapas derajat polimerisasinya adalah 3.000 (untuk massa molar > 400.000) hingga 10.000 dan untuk nilon serta poliester sebesar 100 hingga 250 unit per molekul polimer.

BAB 3 | LIMBAH SULFIDA

A. Limbah Sodium Hidrogen Sulfida

Peraturan Perundang-Undang Lingkungan Hidup di Indonesia menjadi semakin ketat sehingga mendorong penelitian ke dalam strategi pengelolaan limbah yang lebih efisien dan difokuskan pada penggunaan kembali bahan kimia di dalam aliran proses sehingga meminimalkan pembentukan limbah. Dalam hal ini, limbah sulfida dapat ditangani dengan dua cara yang pertama dengan menggunakan kembali SSC atau penggantian larutan kaustik dengan basa padat sehingga pembentukan senyawa baru dari reaksi kimia antara H_2S dengan kaustik dapat diminimalkan (Afonso, 2012).



Gambar 3.1. Proses *scrubbing* hidrogen sulfida oleh sodium hidroksida

BAB 4 | PEMODELAN MATEMATIS

A. Kinetika Reaksi

Berdasarkan studi kinetika reaksi, penelitian ini menekankan pengamatan pada pemodelan kinetik menggunakan persamaan laju oksidasi antara komponen sulfur yang bereaksi dengan oksigen terlarut. Pemodelan kinetik dilakukan untuk mengetahui orde reaksi dan konstanta laju reaksi dengan menerapkan model kinetik *power-law* (O'Brien & Birkner, 1977). Untuk reaksi oksidasi katalitik dan non katalitik, diusulkan persamaan laju reaksi sebagai berikut:

$$r_{SH^-} = k_1 C_{SH^-}^{p_1} C_{H_2O_2}^{p_2} \quad 4.1$$

p_1 dan p_2 adalah *adjustable* parameter yang dapat diinterprestasikan sebagai orde reaksi berkurangnya sulfida, oksigen dan katalis, sedangkan k merupakan *adjustable* parameter konstan yang menginterprestasikan konstanta kecepatan reaksi oksidasi.

Neraca massa yang digunakan pada pemodelan ini adalah neraca massa sulfida berlaku untuk reaksi katalisis dan non katalisis. Untuk neraca massa oksidasi sulfida ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{accumulation} \\ \text{of sulfide in} \\ \text{element of volume} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Rate of sulfide} \\ \text{flow into the} \\ \text{the element} \\ \text{of volume} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Rate of sulfide} \\ \text{flow out the} \\ \text{the element} \\ \text{of volume} \end{array} \right] \pm \left[\begin{array}{c} \text{Rate of sulfide} \\ \text{loss due to chemical} \\ \text{reaction with in the} \\ \text{element of volume} \end{array} \right]$$

$$F_v C_{SH^-0} - F_v C_{SH^-} + 0 - (-r_{SH^-})V = \frac{dn_{SH^-}}{dt} \quad 4.2$$

$$\frac{d(C_{SH^-}V)}{dt} = -(-r_{SH^-})V \quad 4.3$$

BAB 5

SIFAT LIMBAH

Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis konsentrasi total sulfida sisa dengan menggunakan proses oksidasi pada kondisi operasi isotermis, non isotermis dan katalitik. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah persentase padatan tersaring, konsentrasi total sulfida, konsentrasi sulfat, pH dan temperatur. Parameter-parameter ini akan diukur untuk masing-masing variasi proses penelitian yaitu rasio $H_2O_2/NaHS$, temperatur operasi, % katalis dan konsentrasi awal limbah sulfida.

A. Karakterisasi Awal Limbah

Natrium hidrosulfida merupakan senyawa yang akan stabil hanya dalam larutan akan tetapi saat $NaHS$ bersentuhan dengan oksigen di udara maka akan secara perlahan teroksidasi. Komponen - komponen pemanasan $NaHS$ dalam temperatur di antara $30 - 100^\circ C$ membutuhkan utilitas berupa pemanas untuk menaikkan temperatur limbah sulfida.

Terdapat beberapa keuntungan pengendapan sulfida yang banyak digunakan dalam industri seperti memiliki kelarutan yang lebih rendah dari endapan logam sulfida, sebagai preferensi penghilangan logam, dapat diaplikasikan dalam menentukan laju reaksi, memperbaiki karakteristik pengendapan serta endapan sulfida dapat digunakan kembali dalam proses. Pengendapan sulfida dari senyawa sulfida dapat menghasilkan senyawa sulfida lain salah satunya ialah FeS , CaS , larutan sulfida seperti Na_2S , $NaHS$, NH_4S , $Na_2S_2O_3$, dan H_2S (Lewis, 2010). Presipitasi sulfida tidak mudah untuk

BAB

6

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang pemanfaatan limbah sulfida dari industri rayon sebagai sumber untuk memproduksi sulfat melalui proses oksidasi menggunakan oksidator hidrogen peroksida, pada kondisi temperatur terkontrol dan penambahan katalis.

Mekanisme reaksi oksidasi pada berbagai konsentrasi limbah awal lebih didominasi oleh reaksi langsung antara limbah sulfida dan hidrogen peroksida untuk mereduksi sulfida dalam limbah. Dengan penambahan konsentrasi hidrogen peroksida akan meningkatkan efektifitas proses oksidasi karena akan meningkatkan pembentukan radikal hidroksil yang akan bereaksi dengan ion SH^- . Pengurangan sulfida pada limbah rayon juga dipengaruhi oleh temperatur reaksi dan katalis. Reaksi oksidasi non isothermal dan katalitik ternyata tidak menunjukkan persentase reduksi sulfida yang berbeda.

Persentase penyisihan sulfida dipengaruhi oleh konsentrasi limbah sulfida awal dan rasio $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaHS}$. Persentase penyisihan sulfida akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi limbah sulfida awal pada rasio $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaHS}$ tetap. Nilai pengurangan konsentrasi limbah sulfida paling optimal diperoleh pada konsentrasi awal limbah 3.605 mg/L yang ditentukan berdasarkan persentase pengurangan sulfida dan kenaikan temperatur selama proses oksidasi.

Jumlah padatan terbentuk dari hasil oksidasi mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya jumlah hidrogen peroksida di dalam larutan. Konsentrasi limbah sulfida dan

DAFTAR PUSTAKA

- Afonso, J. F. P. e J. C. (2012). New Strategies For Treatment and reuse of Spent Sulfidic Caustic Stream From Petroleum Industri. *Quimica*, 35(7), 1449.
- Ahmad, N., Maitra, S., Dutta, B. K., & Ahmad, F. (2009a). Remediation of Sulfidic Wastewater by Catalytic Oxidation with Hydrogen Peroxide. *Environmental Sciences*, 21, 1735–1740.
- Ahmad, N., Maitra, S., Dutta, B. K., & Ahmad, F. (2009b). Remediation of Sulfidic Wastewater By Catalytic Oxidation With Hydrogen Peroxide. *Environmental Sciences*, 21, 1735–1740.
- Alferova LA, & Titova GA. (1969). Study Of Reaction Rate And Mechanism For Oxidation Of Hydrogen Sulfide, Sodium Hydrosulfide And Sulfides Of Sodium, Iron And Copper In Aqueous Solutions By Atmospheric Oxygen. *Zhurnal Prikladnoi Khimii*.
- A., P. N., A., K. W., & A., R. J. (1995). Use of Iron Salts to Control Dissolved Sulfide in Trunk Sewers. *Journal of Environmental Engineering*, 121(11), 824–829. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1995\)121:11\(824\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1995)121:11(824))
- Avrahami, M., & Golding, R. M. (1968). The oxidation of the sulphide ion at very low concentrations in aqueous solutions. *Journal of the Chemical Society A: Inorganic, Physical, Theoretical*. <https://doi.org/10.1039/J19680000647>
- Badawy, M. I., Ghaly, M. Y., & Gad-allah, T. A. (2006). Advanced Oxidation Processes For The Removal Of Organophosphorus Pesticides From Wastewater. *Desalination*, 194, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.027>
- Bain, J. G., Blowes, D. W., Robertson, W. D., & Frind, E. O. (2000). Modelling of Sulfide Oxidation With Reactive Transport at a Mine Drainage Site. In *Journal of Contaminant Hydrology* (Vol.

41, Issues 1-2, pp. 23-47). [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(99\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(99)00069-8)

Beltrán, F. (2004). *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater System*. <https://doi.org/10.1201/9780203509173>

Bulatovic, S. M. (2007). *Handbook of Flotation Reagents Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores*. In *Handbook* (Vol. 1).

Chen, K. Y., & Morris, J. C. (1972). Kinetics of Oxidation of Aqueous Sulfide by O₂. *Environmental Science and Technology*, 6(6), 529-537. <https://doi.org/10.1021/es60065a008>

Clark, J. H. (1995). *Chemistry of Waste Minimization*. In *Springer Science Business Media, B.V* (1st ed.). Chapman & Hall. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(96\)90067-9](https://doi.org/10.1016/1352-2310(96)90067-9)

Cline, J. D., & Richards, F. A. (1969). Oxygenation of hydrogen sulfide in seawater at constant salinity, temperature, and pH. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es60032a004>

Couvert, A., Charron, I., Laplanche, A., Renner, C., Patria, L., & Requieme, B. (2006). Treatment of odorous sulphur compounds by chemical scrubbing with hydrogen peroxide-Application to a laboratory plant. *Chemical Engineering Science*, 61(22), 7240-7248. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.07.030>

de Graaff, M., Bijmans, M. F. M., Abbas, B., Euverink, G. J. W., Muyzer, G., & Janssen, A. J. H. (2011). Biological Treatment of Refinery Spent Caustics Under Halo-Alkaline Conditions. *Bioresource Technology*, 102(15), 7257-7264. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.095>

Dittmer, D. C. (2001). Sodium Hydrogen Sulfide. In *Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis* (Issue 7, pp. 1-2).

Ellis, C. (2006). Wet Air Oxidation of Refinery Spent Caustic. *Environmental Progress*, 17(1), 28-30. <https://doi.org/10.1002/ep.670170116>

- Faust, S. D., & Aly, O. M. (1998). *Chemistry of Water Treatment* (2nd ed.). Taylor & Francis Group, LLC.
- Fernández, L. (2022a). *Chemical fiber production worldwide from 2000 to 2021, by fiber type (in 1,000 metric tons)*.
- Fernández, L. (2022b). *Production of textile fibers worldwide from 1975 to 2020 with a forecast for 2025 and 2030*.
- Hoffmann, M. R. (1977a). Kinetics and Mechanism of Oxidation of Hydrogen Sulfide by Hydrogen Peroxide in Acidic Solution Michael. *Environmental Engineering Science*, 11(1), 61–66. <https://doi.org/10.1021/es60124a004>
- Hoffmann, M. R. (1977b). Kinetics and mechanism of oxidation of hydrogen sulfide by hydrogen peroxide in acidic solution. *Environmental Science & Technology*, 11(1), 61–66. <https://doi.org/10.1021/es60124a004>
- Iliev, V., & Mihaylova, A. (2002). Photooxidation of Sodium Sulfide And Sodium Thiosulfate Under Irradiation With Visible Light Catalyzed By Water Soluble Polynuclear Phthalocyanine Complexes. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 149(1), 23–30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(01\)00655-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1010-6030(01)00655-4)
- Ixom Operations Pty Ltd. (2018). *Material Safety Data Sheet NaSH*.
- Jabari, M. Al. (2012). *Spent Caustic Treatment Using Advanced Oxidation Processes* (Issue May).
- Janssen, A. J. H., Lettinga, G., & de Keizer, A. (1999). Removal of Hydrogen Sulphide From Wastewater and Waste Gases By Biological Conversion To Elemental Sulphur : Colloidal And Interfacial Aspects of Biologically Produced Sulphur Particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 151(1), 389–397. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(98\)00507-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0927-7757(98)00507-X)

- Kim, S., Behera, S. K., Jamal, Y., & Park, H. (2011). *Optimization of Sodium Hydrosulfide Synthesis for Metal Recovery from Wastewater Using Flue Gas Containing H₂S*. 1-7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000984](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000984).
- Kuhn, A., Chana, M., & Kelsall, G. (2007). A Review of the Air Oxidation of Aqueous Sulphide Solution. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Chemical Technology*, 33(8), 406-414. <https://doi.org/10.1002/jctb.504330804>
- LabChem Inc. (2018). *Material Safety Data Sheet Sodium Sulfide*. 77(58), 1-7.
- Lewis, A. E. (2010). Review of Metal Sulphide Precipitation. *Hydrometallurgy*, 104(2), 222-234. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.06.010>
- Linkous, C. A., Huang, C., & Fowler, J. R. (2004). UV Photochemical Oxidation of Aqueous Sodium Sulfide To Produce Hydrogen And Sulfur. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 168(3), 153-160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.03.028>
- Lipczynska-Kochany, E. (1991). Degradation Of Aqueous Nitrophenols and Nitrobenzene by Means of The Fenton Reaction. *Chemosphere*, 22, 529-536.
- Li, W., Zhao, Q. liang, & Liu, H. (2009). Sulfide Removal By Simultaneous Autotrophic and Heterotrophic Desulfurization-Denitrification Process. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 848-853. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.108>
- Mallik, D., & Chaudhuri, S. K. (1999). Air Oxidation of Aqueous Sodium Sulfide Solutions With Coal Fly Ash. *Water Research*, 33(2), 585-590. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00205-X)

- Manning, F. S., & Thompson, R. E. (1991). *Oilfield Processing of Petroleum Volume One: Natural Gas* (1st ed.). PennWell Publishing Company.
- Mather, R. R., & Wardman, R. H. (2015). *The Chemistry of Textile Fibres* (2nd ed.). The Royal Society of Chemistry.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 07 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Rayon, 6 (2012).
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 07 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Rayon, 6 (2012).
- Munter, R. (2001). Advanced Oxidation Processes-Current Status And Prospects. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 50(2), 59–80.
- Nielsen, A. H., Vollertsen, J., & Hvitved-Jacobsen, T. (2003). Determination of kinetics and stoichiometry of chemical sulfide oxidation in wastewater of sewer networks. *Environmental Science and Technology*, 37(17), 3853–3858. <https://doi.org/10.1021/es034035l>
- O'Brien, D. J., & Birkner, F. B. (1977). Kinetics of Oxygenation of Reduced Sulfur Species in Aqueous Solution. *Environmental Sciences and Engineering*, 11(12), 1114–1120.
- Oliveros, E., Legrini, O., Hohl, M., Müller, T., & Braun, A. M. (1997). Industrial waste water treatment: large scale development of a light-enhanced Fenton reaction. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 36(5), 397–405. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0255-2701\(97\)00011-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0255-2701(97)00011-1)
- Park, J. J., Byun, I. G., Park, S. R., Lee, J. H., Park, S. H., Park, T. J., & Lee, T. H. (2009). Use of spent sulfidic caustic for autotrophic denitrification in the biological nitrogen removal processes: Lab-scale and pilot-scale experiments. *Journal of Industrial and*

Engineering Chemistry, 15(3), 316–322.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2008.11.008>

- Pawlak, Z., & Pawlak, A. S. (1999). Modification of Iodometric Determination of Total and Reactive Sulfide in Environmental Samples. *Talanta*, 48, 347–353.
- Poulton, S. W., Krom, M. D., Van Rijn, J., & Raiswell, R. (2002). The Use of Hydrous Iron (III) Oxides For The Removal of Hydrogen Sulphide in Aqueous Systems. *Water Research*, 36(4), 825–834. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00314-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00314-1)
- Rajganesh, B., Sublette, K. L., Camp, C., & Richardson, M. R. (1995). Biotreatment of Refinery Spent Sulfidic Caustics. *Biotechnology Progress*, 11(2), 228–230. <https://doi.org/10.1021/bp00032a017>
- Schlegelmilch, M., Streese, J., & Stegmann, R. (2005). Odour management and treatment technologies: An overview. *Waste Management*, 25(9), 928–939. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.006>
- Shahrak, M. N., Ebrahimzadeh, E., & Shahraki, F. (2015). Removal of Hydrogen Sulfide from Hydrocarbon Liquids Using a Caustic Solution. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 37(8), 791–798. <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.584121>
- Sipma, J., Svitelskaya, A., van der Mark, B., Hulshoff Pol, L. W., Lettinga, G., Buisman, C. J. N., & Janssen, A. J. H. (2004). Potentials of Biological Oxidation Processes For The Treatment of Spent Sulfidic Caustics Containing Thiols. *Water Research*, 38(20), 4331–4340. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.08.022>
- Spiller, W., Wohrle, D., Schulz-Ekloff, G., Ford, W. T., Schneider, G., & Stark, J. (1996). Photo-Oxidation of Sodium Sulfide By Sulfonated Phthalocyanines in Oxygen Saturated Aqueous

- Solution Containing Detergents or Latexes. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 95(2), 161–173. [https://doi.org/10.1016/1010-6030\(95\)04248-2](https://doi.org/10.1016/1010-6030(95)04248-2)
- Takenaka, N., Furuya, S., Sato, K., Bandow, H., Maeda, Y., & Furukawa, Y. (2003). Rapid reaction of sulfide with hydrogen peroxide and formation of different final products by freezing compared to those in solution. *International Journal of Chemical Kinetics*, 35, 198–205. <https://doi.org/10.1002/kin.10118>
- Ueno, Y., Williams, A., & Murray, F. E. (1979). A New Method For Sodium Sulfide Removal From an Aqueous Solution and Application To Industrial Wastewater And Sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 11(1), 23–42. <https://doi.org/10.1007/BF00163516>
- Üresin, E., Sarac, H. Ibrahim, Sarioglana, A., Ay, S., & Akgün, F. (2014). An experimental study for H₂S and CO₂ removal via caustic scrubbing system. *Process Safety and Environmental Protection*, 4(June), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.06.013>
- Vakhitova, L. N., Skrypka, A. V., Savelova, V. A., Popov, A. F., & Panchenko, B. V. (2005). Kinetics of the Oxidation of Methyl Phenyl Sulfide by Hydrogen Peroxide in the Presence of Hydrocarbonate Anion. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 41(2), 98–104. <https://doi.org/10.1007/s11237-005-0027-7>
- van der Zee, F. P., Villaverde, S., García, P. A., & Fdz.-Polanco, F. (2007). Sulfide Removal by Moderate Oxygenation of Anaerobic Sludge. *Bioresource Technology*, 98(3), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.011>
- Veeken, A. H. M., de Vries, S., van der Mark, A., & Rulkens, W. H. (2003). Selective Precipitation of Heavy Metals as Controlled by a Sulfide-Selective Electrode. *Separation Science and Technology*, 38(1), 1–19. <https://doi.org/10.1081/SS-120016695>

- Wang, N., Zheng, T., Zhang, G., & Wang, P. (2016). A Review on Fenton-Like Processes for Organic Wastewater Treatment. *Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 762–787. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.016>
- Wang, Y., Wang, Z., & Liu, Y. (2018). Oxidation Absorption of Gaseous H₂S Using Fenton-Like Advanced Oxidation Systems [Research-article]. *Energy and Fuels*, 32(11), 11289–11295. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02657>
- Woodings, C. (2001). *Regenerated Cellulose Fibres* (Calvin Woodings, Ed.). CRC Press.
- Young, R. A., Kundrot, R., & Tillman, D. A. (2001). *Encyclopedia of Physical Science and Technology: Pulp and Paper* (R. Meyers, Ed.; Third, Vol. 18). Elsevier Science Ltd.

TENTANG PENULIS

Isma Wulansari, S.T., M.Eng., dilahirkan di Ciamis, Jawa Barat, pada Tanggal 25 April 1995. Jenjang pendidikan dari SD sampai dengan SMA dijalankan di Ciamis, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan Perguruan Tinggi untuk S1 dan S2 di Yogyakarta. Penulis telah menyelesaikan studi strata satu di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia (2013 - 2018). Derajat magister di bidang Teknik Kimia diperoleh dari Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (2018 - 2021). Penulis bertempat tinggal dan menetap di Jakarta. Karirnya dimulai sebagai dosen tetap di Politeknik STMI Jakarta (2022 - sekarang) Program Studi Teknik Kimia Polimer.