

住民の掘削井戸水における有機物質分析

(カリセラユ・シエンティス村、プルチュット・セイ・ト
ウアン郡、デリ・セルダン県)

卒業論文

著者：

Vini Novalia Tambunan

178700022



生物学専攻

科学技術学部

メダン・エリア大学

メダン

2023 年

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/5/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)20/5/26

住民の掘削井戸水における有機物質分析

(カリセラユ・シエンティス村、プルチュット・セイ・ト
ウアン郡、デリ・セルダン県)

卒業論文

著者：

Vini Novalia Tambunan

178700022

本論文は、ユニベルシタス・メダン・アリア理工学部生物学科において、学士
号取得のための研究実施要件の一つとして提出するものである。

生物学専攻

科学技術学部

メダン・エリア大学

メダン

2023 年

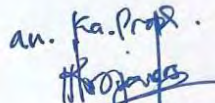
Judul Skripsi : Analisa Zat Organik Pada Air minum Sumur Gali Warga
Di Desa Kaliserayu Sientis, Kecamatan Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang

Nama : Vini Novalia Tambunan
NPM : 17870022
Prodi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing:



Dr. Ir. E. Harso Kardhinata, M.Sc.
Pembimbing I



Abdul Karim S. Si, M.Si
Pembimbing II



Dr. Ir. Siti Mardiana, M. Si
Dekan

Diketahui oleh :



Rahma Sari Siregar S.P.M.Si
Ka. Prodi/WD.I

Tanggal Lulus : 5 Mei 2023

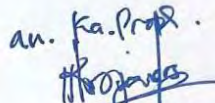
Judul Skripsi : Analisa Zat Organik Pada Air minum Sumur Gali Warga
Di Desa Kaliserayu Sientis, Kecamatan Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang

Nama : Vini Novalia Tambunan
NPM : 17870022
Prodi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing:



Dr. Ir. E. Harso Kardhinata, M.Sc.
Pembimbing I



Abdul Karim S. Si, M. Si
Pembimbing II



Dr. Ir. Siti Mardiana, M. Si
Dekan

Diketahui oleh :



Rahma Sari Siregar S.P.M.Si
Ka. Prodi/WD.I

Tanggal Lulus : 5 Mei 2023

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 22 Mei 2023



Novalia
/ini Novalia Tambunan
17.87000.22

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

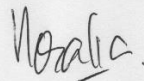
Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vini Novalia Tambunan
NPM : 17.870.0022
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Dalam pembangunan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Eksklusif Royalti-free Right)** atas karya ilmiah yang berjudul : Analisa Zat Organik Pada Air minum Sumur Gali Warga Di Desa Kaliserayu Sientis, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/formatkan. Mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan skripsi, saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/penciptaan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 22 Mei 2023



Yang menyatakan

(Vini Novalia Tambunan)

要旨

地下水は、住民が容易に清潔な水を得るための主要な代替手段の一つである。これは、井戸の建設が比較的容易かつ低コストであるためである。そのため、シエンティス周辺の住民は地下水（井戸水）を利用している。しかしながら、シエンティス地域周辺の井戸水は、家庭産業廃棄物や適切に管理されていないごみによって依然として汚染されており、これが環境汚染を引き起こし、シエンティス村の井戸水の水質に影響を与えている。また、当該地域における排水設備（ドレナージュ）の不足により、水が側溝に滞留している。この状況は、側溝水中に有機化合物が発生・増殖する要因となり、使用される井戸水を汚染する可能性がある。井戸水中に過剰な有機物が存在する原因としては、人間、動物、またはその他の要因が挙げられる。有機物とは、多量の炭素元素を含有する物質であり、例えばベンゼン、クロロホルム、洗剤、ペンタクロロフェノールなどが含まれる。有機物濃度が高い場合、その水は汚染されていることを示している。したがって、井戸水サンプル中の有機物濃度を測定し、水質を把握する必要がある。住民の掘削井戸水サンプル中の有機物濃度を測定するために、過マンガン酸滴定法（permanganometric titration method）を用いた定量分析を実施した。本法の原理は、酸性条件下で加熱しながら KMnO_4 によって有機物を酸化し、残存した KMnO_4 を過剰のシュウ酸で還元した後、余剰のシュウ酸を再び KMnO_4 で滴定するものである。分析結果に基づくと、井戸水サンプル中に含まれる有機物濃度は 42.20 mg/L および 40.20 mg/L であった。したがって、住民の掘削井戸水サンプルは飲料水として適していないと結論づけられる。これは、飲料水基準を満たしていないためである。インドネシア保健大臣規則 No. 492/MENKES/SK/VI/2010 によれば、飲料水中の有機物濃度は 10 mg/L を超えてはならない。有機物濃度が高い場合、微生物の増殖を促進し、特に人体の免疫系に有害な病原性細菌の発生を引き起こす可能性があるためである。

キーワード： 掘削井戸水、過マンガン酸滴定法、有機物質

ABSTRACT

Groundwater is one of the main alternatives for people to get clean water easily, because it is relatively easy and cheap to manufacture. Therefore, residents around the area use groundwater (well water). Well water around the scientific area is still polluted by household industrial waste or garbage which is not paid enough attention by the community which often pollutes the environment so that it can affect well water in Sientis village. Likewise, the lack of available drainage in the area has resulted in water being stuck in the ditches. This can trigger the development of organic compounds in sewer water and can contaminate the well water used. The presence of excess organic matter in well water can be caused by humans, animals or other sources. Organic matter is a substance that contains a lot of carbon elements. Examples are, benzene, chloroform, detergents, and pentachlorophenol. Organic matter with high levels indicates that the water has been polluted. Therefore, it is necessary to determine the levels of organic matter in samples of borehole water so that the quality can be determined. To determine the levels of organic matter in samples of dug well water, quantitative analysis was carried out using the permanganometric titration method. The principle of the permanganometric titration method is that organic substances can be oxidized with KMnO_4 in an acidic medium by heating. The remaining KMnO_4 is reduced with excess oxalic acid. The excess oxalic acid was back-titrated with KMnO_4 . Based on the results of the analysis, the levels of organic matter contained in the well water samples were 42.20 mg/L and 40.20 mg/L. So it can be concluded that the residents' dug well water samples are not suitable for drinking, because they do

not meet the criteria for drinking water. The criteria for drinking water according to PerMenkes RI No.492/MENKES/SK/VI/2010 are not containing more than 10 mg/L of organic matter. This is because the large number of organic substances will result in an increase in the population of microorganisms and can cause the development of pathogenic bacteria that are harmful to the human body, especially for the immune system.

Keywords: Dug well water; permanganometric titration; Organic substances

略歴

著者は 1986 年 11 月 7 日にメダンにて、故 Eddy Suhaimi Tambunan 氏と T. Palwani 氏の間にもまれた。著者は 3 人兄弟の第 1 子である。

著者は、SD Negeri 060967 Belawan にて小学校教育を修了し、SMP Negeri 39 Medan にて中学校教育を修了した。その後、SMA Hang Tuah Belawan にて高等学校教育を修了し、さらに保健ポリテクニック (Politeknik Kesehatan) においてディプロマ III 課程を修了した。

2010 年に著者は北スマトラ州保健局の国家公務員 (ASN) として採用された。

その後、2017 年度/2018 年度に、ユニベルシタス・メダン・アリア理工学部生物学科の学生として登録した。

謝辞

著者は、本卒業論文を完成することができたことに対し、あらゆる恵みと加護を授けてくださった全能の神に深く感謝と賛美を捧げる。本実験研究において著者が選定した論文題目は、「カリセラユ・シエンティス村（デリ・セルダン県プルチュット・セイ・トゥアン郡）住民の掘削井戸水における有機物質分析」である。

著者は、本論文の完成にあたり、多くの助言とご指導を賜った Dr. Ir. E. Harso Kardhinata, M.Sc 氏および Abdul Karim, S.Si., M.Si 氏に深く感謝申し上げます。

また、故父君、母君、学生仲間の皆様、ならびに家族の皆様に対し、絶え間ない祈りと支援、そして温かい励ましを賜ったことに心より感謝申し上げます。

著者は、本論文がなお不十分な点を有していることを十分認識している。そのため、本研究論文のさらなる完成度向上のため、建設的なご批判とご助言を賜りたい。著者は、本論文が教育分野のみならず社会一般に対しても有益なものとなることを願っている。最後に、著者はすべての皆様に改めて深く感謝申し上げます。

著者

(Vini Novalia Tambunan)

第1章 序論

1.1. 背景

水は、生物が生存を維持し、健康を保つために不可欠な天然資源の一つであり、水は日常生活から切り離すことはできず、水なしでは生命は存在し得ないと言える。科学の発展は、様々な現象において水がどれほど重要であることを証明してきた。

日常生活において、人間は飲用、入浴、洗濯、調理、その他の用途のために水を必要としている。一方、特定の基準を満たす水を得ることは、現在では非常に高価なものである。なぜなら、水は産業廃棄物、家庭廃棄物、その他の活動による様々な廃棄物によって汚染されているからである。

人間の水需要を満たすための取り組みとして、地下水、地表水、あるいは雨水を直接利用することが行われています。最も多く利用されている3つの水源のうち、地下水が最も一般的である。これは、地下水が他の水源に比べて、水質がより良好であり、汚染の影響が比較的少ないといった利点を持つためである。しかし、利用される地下水が常に衛生基準を満たしているとは限らない。地下水には、人間の生存を脅かす病気を引き起こす可能性のある病原体や特定の物質が含まれていることが多いためである (Santoso, 2010)。

カリセラユ・シエンティス地区に住む住民は、全体として地方水道公社 (PDAM) の浄水を利用していないが、清潔な水を得るために、日常生活の需要を満たすべく掘井戸やボーリング井戸を掘るよう努めている。量的にはこれで賄えるが、質的な面では住民による配慮が不十分である。現地調査の結果、住民の

家数軒から黄色い水が出ているのが確認された。水が黄色くなる原因は、鉄（Fe）と有機物（KMnO₄）の存在である。

これは、住民によって十分に管理されていない家庭からの産業廃棄物やゴミに起因する状況によって決定づけられるか、あるいは影響を受けており、これらが頻繁に環境を汚染することで、シエンティス村の井戸水に影響を及ぼしている可能性がある。同様に、当該地域における排水設備の不足により、水が側溝や排水路に滞留しており、これが側溝内の水における有機化合物の増殖を招き、使用される井戸水を汚染する原因となり得る。

水質の重要な条件の一つは、水中に含まれる有機物の量である。水中の有機物濃度が高ければ高いほど、その水が汚染されていることを示している。したがって、水中の有機物の測定は水質を判断する上で重要なパラメータの一つであり、その水域の汚染レベルを測る指標となる。水中の有機物の過剰は、人間、動物、またはその他の原因によって引き起こされる可能性があります。有機物とは、炭素を多く含む物質であり、一般的には動物や植物の一部を構成する物質で、その主成分は炭素、タンパク質、および脂質（リポイド）です。これらの有機物は、溶存酸素を利用して細菌によって非常に容易に分解されます。水中の有機物含有量が高いことは、その水が汚染され、廃棄物の浸出水によって汚染されており、飲料水源として安全ではないことを示しています。（Haitami et al., 2016）。

ペルカット・セイ・トゥアン・シエンティス地区は、日常生活において依然として掘削井戸水（掘削井戸およびボーリング井戸からの水）を利用している地域である。実施されたモニタリングの結果、概して井戸と廃棄物処分場の距離

は依然として近接している。さらに、井戸と浄化槽の距離は10メートル未満である。このため、周辺住民が使用する井戸水は、廃水の浸透や直接的な廃水の流れにより、依然として有機物で汚染されている可能性がある。

有機物質で汚染された掘削井戸水は、その有機物質の含有量を測定・特定することで水質を判定する必要がある。住民の掘削井戸水サンプル中の有機物質含有量を把握するため、過マンガン酸塩滴定法を用いた定量分析が行われた。過マンガン酸塩滴定法の原理は、酸性媒体中で加熱することにより、有機物質がKMnO₄によって酸化されるというものである。

1.2. における問題の定式化

以上の背景に基づき、本研究の課題は、カリセラユ・シエンティス・ペルカット・セイ・トゥアン地域の掘削井戸水中の有機物（KMnO₄）含有量はどの程度か、という点である。

1.3. 研究の目的

本研究の目的は、カリセラユ・シエンティス村の井戸が、水質の要件および監視に関するインドネシア保健大臣規則第416/MENKES/PER/IX/1990号の要件を満たしているかどうかを明らかにすることである。

1.4. 研究の意義

本研究の意義は、カリセラユ・シエンティス・ペルカット・セイ・トゥアン村の集落における掘削井戸水の有機物含有量およびその健康への影響について、著

者および地域社会に対する情報と知識を提供することにある。また、この地域の水質を評価する今後の研究者にとって、初期の情報源となる。

第2章 文献レビュー

2.1. 水質（ ）の定義と意義

水は、地球上で最も豊富な天然資源です。あらゆる生物は、生命の源として水を必要とするからです。水は化学式 H_2O を持つ化合物であり、1つの水分子は、1つの酸素原子と共有結合した2つの水素原子から構成されています。

インドネシア保健大臣規則（PERMENKES）第492/MENKES/PER/IV/2010号によると、飲料水とは、処理を経たか、あるいは処理を経ずに、衛生基準を満たし、そのまま飲用できる水を指します。健康上安全な飲料水とは、物理的、微生物学的、化学的、および放射能に関するいくつかの要件を満たすものである。一方、清潔な水とは、健康上の要件を満たしているものの、飲む前に必ず沸騰させる必要がある水を指す。その条件は、物理的、化学的、生物学的観点からの水質要件に基づいて定められている（Hartanto, 2007）。

衛生および公衆衛生用の水とは、日常生活のニーズに使用される特定の品質を持つ水であり、その品質は飲料水とは異なるものである（インドネシア保健省令第32号2017年）。

近年、清潔な水を入手することが困難になっている。その原因は、産業、家庭、農業からの廃棄物による水質汚染にある。さらに、開発や森林の乱伐により、浸食された泥が川の水に混入し、山岳地域の湧水の水質が低下している。その結果、清潔な水が不足することもある（Asmadiet al., 2011）。

Asmadiet al. (2011)はさらに、清潔な水の需要とは、入浴、洗濯、調理、植物への水やりなどの日常的な活動における水需要を満たすために必要な水の量

を指すと述べている。日常生活に必要な清潔な水源は、一般的に量と質の基準を満たさなければならない。

2.2. 清潔な水の供給源

衛生用水とは、飲料水とは異なり、日常の生活用水として使用される一定の品質基準を満たした水である（インドネシア保健省令第32号2017年）。近年、清潔な水を入手することが困難になっている。清潔な水が入手困難になっている原因は、産業、家庭、農業からの廃棄物による水質汚染である。さらに、開発や森林の乱伐により、河川の流れに乗って運ばれる浸食による泥が混入し、山岳地域の湧水の水質が低下している。その結果、清潔な水は時に希少な資源となっている（Asmadi, Khayan, & Kasjono, 2011）。

清潔な水の需要とは、入浴、洗濯、調理、植物への水やりなどの日常活動における水需要を満たすために必要な水の量を指す。日常生活における清潔な水の供給源は、一般的に、許容される量と質の基準を満たさなければならない（Asmadi, Khayan, & Kasjono, 2011）。

公衆衛生の観点からは、清潔な水資源の供給は、その供給によって社会のニーズを満たすものでなければならない。清潔な水の不足は、社会における疾病の発生を助長する。1人当たりの1日平均必要水量は、150～200 リットル、あるいは35～40ガロンである。水の必要量は、気候条件、生活水準、および社会の習慣によって異なる（Chandra, 2012）

（Chandra, 2012）によると、人間の飲用に供される水は、清潔で安全な水源から得られなければならない。清潔で安全な水源の要件は以下の通りである

: a. 汚染物質や細菌を含まないこと b. 有害かつ有毒な化学物質を含まないこと c. 味や臭いがしないこと d. 家庭および生活上のニーズを満たすために使用できること e. WHOまたはインドネシア保健省が定めた最低基準を満たしていること

2.3. 水供給に関する衛生基準

インドネシア共和国保健大臣令 No. /Birhubmas/1975 に基づくインドネシアの飲料水基準は以下の通りである：(1). 物理的基準：温度、色、臭い、味、濁度 (2). 生物学的基準：寄生虫、糞便汚染の指標となる細菌（大腸菌） (3). 化学的基準：pH、総溶解固形物およびその他の化学物質。 (4). 放射能基準：水中に検出される放射能（Chandra, 2006, p. 64）。

2.4. 水質汚染

水質汚染の指標に関する問題において、汚染物質の成分は水質汚染の指標を決定する要素の一つである。水質汚染物質は、固形廃棄物、有機廃棄物、および無機廃棄物に分類される：

A. 固形廃棄物とは、粗いまたは細かい固体状の廃棄物である。これら両方の廃棄物は井戸水を汚染し、水による固形廃棄物の溶解を引き起こすことで水の比重と濃度を高め、水底への固形廃棄物の沈殿を引き起こす

B. 有機性廃棄物は、一般的に微生物によって分解または分解可能な廃棄物である。水中の微生物が増加すると、人間にとって有害な病原菌の増殖を助長する可能性がある。

C. 無機廃棄物は、一般的に微生物によって分解されず、分解されにくい廃棄物である。水中に無機物質が過剰に存在すると、鉛 (Pb) やヒ素 (As) などの金属イオン濃度が上昇する (Wardana, 2001, pp. 79-80)。

水は、細菌、寄生虫、有害化学物質、および産業廃棄物の存在により汚染される。地表にある水は、様々な水源に由来する。水源の位置に基づいて、水は雨水、地表水、および地下水に分類される (Chandra, 2012)。

a. 雨水

大気中または降雨は、地球上の主要な水源である。降水時は最も清浄な水であるが、大気中に入ると汚染されやすい。大気中で生じる汚染は、粉塵粒子、微生物、および二酸化炭素、窒素、アンモニアなどのガスによって引き起こされる。

b. 地表水

地表水には、河川、湖、池、貯水池、湿地、滝、地表の井戸などの水域が含まれ、その大部分は地表に降った雨水に由来する。雨水はその後、土壌やゴミなどによって汚染される。

c. 地下水

地下水は、地表に降った雨水が浸透または吸収され、自然のろ過過程を経たものです。雨水が地下を流れるこの過程により、地下水は地表水よりも質が高く、より清浄なものとなります。

地下水には、他の水源と比較していくつかの利点がある。第一に、地下水は通常無菌であり、浄化や清浄化のプロセスを必要としない。また、干ばつの時期であっても、年間を通じて十分な供給量がある。一方で、地下水には他の水源

と比較していくつかの長所や短所もある。地下水には高濃度のミネラルが含まれている。マグネシウム、カリウム、鉄などの重金属といったミネラルが高濃度で含まれている。

2.5. 掘削井戸

掘削井戸は、小規模なコミュニティや個々の家庭で飲料水として地下水を汲み上げるために広く普及している一般的な構造の井戸であり、地表から7~10メートルの深さに掘削される。掘削井戸は地表に比較的近い地層から水を供給するため、そのため浸透による汚染を受けやすい。一般的に、浸透は人間や動物の排泄物、および井戸自体の汚れに起因する。これは、床や排水路が防水されていないためである。井戸の構造や取水方法も汚染源となり得る。例えば、開放式の構造でバケツを使って水を汲む場合などである。井戸は、人間と井戸内の水との間に直接的な接触がない場合、衛生上の保護レベルが高いとみなされる（インドネシア保健省、2005年）。この水源は、水を汚染する可能性のある人間の活動やその他の要因から保護されなければならない。この水源は、地表排水や洪水から保護された場所（立地）と構造を備えていなければならない。現在、清潔な水供給施設は衛生基準を満たすように作られており、汚染の発生が低減され、より良質な水が得られることが期待されている（Waluyo, 2009: 137）。

衛生面から見ると、掘削井戸の利用は、その構造があまり考慮されていないため好ましくないが、汚染の可能性を最小限に抑えることは可能である。この予防措置は、物理的状态を観察することで満たすことができる。この分野の複

数の専門家による結論に基づく井戸の物理的要件としては、汚染源から10メートル以上離れていること、井戸底の直径が井戸壁から少なくとも1メートル離れており防水性があること、排水路が10メートル以上あり恒久的なものであること、井戸の縁の高さは0.8メートル、井戸のリング（壁）は最低3メートルあり、強固で密閉性の高い井戸の蓋を備えていること（Indan, 2000: 45）

井戸は、浅井戸と深井戸の2種類に分類される。

(1)浅井戸は、インドネシアで広く利用されている取水方法である。井戸

は、地下水が汚染されていない場所に設置しなければならない。井戸の周辺に地下水汚染源がある場合、その井戸は地下水流の上流に位置し、汚染源から少なくとも10~15メートルの距離を保たなければならない。その深さは、病原菌を含む土壌から3メートル以上離れている必要があります。深さが3メートルを超える場合、土壌は細菌から清浄であるとみなされます。そのため、井戸の内壁は3メートル、あるいは5メートル以上の高さに作られることが望ましいです。

(2)井戸の内部は、周囲を地下水位に囲まれている。水位の高さは、帯水

層にかかる圧力によって決まる。地下水は、不透水層の間に位置する帯水層内に存在する。深井戸は一般に掘削井戸として知られており、小規模なコミュニティや個々の家庭で飲料水として地下水を汲み上げるために使用される、最も一般的かつ広く普及している井戸構造の一つであり、地表から7~10メートルの深さにあります。掘削井戸自体は、地表に比較的近い地層から水を供給する鉛管井戸やボーリング井戸で構成されており、そのため浸透による汚染を受けやすい傾向があり

ます。一般的に、浸透水は、人間や動物の排泄物（トイレ）の処分場、あるいは廃棄物井戸のそれ自体、その床床か排水管が防水されていないため。

表1. インドネシア保健省令第492/Menkes/Per/IV/2010号に基づく水質分析パラメータ

番号	分析パラメータ	単位	基準 最大値	試験方法
物理				
1	色	TCU	15	SNI 01-3554-2006
2	臭気	-	無臭	SNI 01-3554-2006
3	味	-	無味	SNI 01-3554-2006
4	濁度	NTU	5	IK No. 1-22/IK
5	総溶解固形物	mg/L	500	SNI 6989.27-2019
化学				
6	溶存クロム (Cr)	mg/L	0.05	SNI 6989.17:2009
7	溶存カドミウム (Cd)	mg/L	0.03	SNI 6989.16:2009
8	亜硝酸塩 (NO ₂ -N)	mg/L	3	SNI 06-6989, 9-2004
9	溶存鉄 (Fe)	mg/L	0.3	SNI 6989, 4:2009
10	硬度 (CaCO ₃)	mg/L	500	SNI 06-6989, 12-2004
11	塩化物 (Cl)	mg/L	250	SNI 6989, 19-2009
12	溶存マンガン (Mn)	mg/L	0.4	SNI 6989.5-2009
13	Ph	mg/L	6.5-8.5	SNI 6989, 11-2019
14	溶存亜鉛 (Zn)	mg/L	3	SNI 6989, 7-2009
15	硫酸塩 (SO ₄)	mg/L	250	SNI 6989, 20-2019
16	溶存銅 (Cu)	mg/L	2	SNI 6989.6-2009
17	アンモニア (NH ₃ -N)	mg/L	1.5	IK No. 1-25/IK
18	鉛 (Pb)	mg/L	0.01	SNI 6989, 8-2009
19	有機物 (KMnO ₄)	mg/L	10	SNI 06-6989, 22-2004
20	硝酸塩 (NO ₃ -N)	mg/L	50	IK No. 1-28/IK

2.6. 有機物 (KMnO₄)

水中の過剰な有機物は、色、臭い、味を引き起こすだけでなく、直接的または間接的に有毒となる可能性があるため、許容されません。水中の有機物は、自然由来のものや、日常の活動によって生じるものがあります。自然由来の悪影響は、腐敗した葉や植物に含まれるフミン酸に起因することがある。一方、人間の活動によって引き起こされる影響としては、排泄物、液体廃棄物、固体廃棄物、および社会活動、産業、農業、林業、運輸、鉱業、および農薬や肥料などの有機廃棄物を生み出す農業・林業活動によるものである。産業から排出される有機廃棄物は製品やプロセスによって異なり、同様に運輸や鉱業も炭化水素やその他の有機化合物という形の廃棄物を生み出す (Soesanto, 1996 Vol. VI No. 01)。また、自然由来のもの以外に、

A. Tresna Sastrawijaya (2000) による Hidayati および Yusrin (2010) での記述によれば、有機物質とは炭素を最も多く含む物質であり、例えば、水中に含まれるベンゼン、クロロホルム、洗剤、メトキシクロル、およびペンタクロロフェノールは、その水が廃棄物の浸出水によって汚染されており、飲料水源として安全ではないことを示している。

過マンガン酸塩として表される有機物は、1リットルの水中の有機物を微生物が酸化するために必要なKMnO₄の量 (mg/l) である。良質な飲料水は、飲料水・清潔な水の水質に関するインドネシア保健省令第492/Menkes/Per/IV/2010号に基づき、質・量の両面で定められた基準を満たさなければなりません。この規定では、飲料水または清潔な水は、物理的、化学的、生物学的要件を満たす必要があります。物理的観点から見た良質な飲料水または清潔な水には、色

と濁度が含まれる。水の濁度は、風化した岩石や金属に由来する無機物のほか、動植物に由来する有機物などの浮遊物質によって引き起こされる。インドネシア保健省令第492/Menkes/Per/IV/2010号によれば、飲料水・浄水中の有機物含有量（過マンガン酸塩価として）は最大10 mg/lとされている。

Saragih (2016) の指摘によると、有機物を無機物と区別する特徴は、可燃性であること、通常は水への溶解度が低く、異性体（いくつかの種類有機物質は同じ分子式を持つ）、イオン状ではなく分子状で反応するため他の化合物との反応が遅く、その大部分が細菌の栄養源となり得る。

水中の有機物の存在は、水の物理的性質の変化、特に許容されない色、臭気、味、濁りの発生と密接に関連している。水中の有機物の存在は、過マンガン酸塩指数を測定することで把握できる。酸化剤として作用する過マンガン酸カリウム (KMnO_4) は、存在するすべての有機物を酸化できるわけではないが、この方法はより実用的で迅速な処理法である。SNI 06-6989.22-2004に基づく飲料水または浄水中の有機物 (KMnO_4 換算) の最大許容濃度は10 mg/Lである。

2.7. 過マンガン酸カリウム (KMnO_4)

過マンガン酸法は、過マンガン酸カリウム (KMnO_4) を用いた反応に基づく滴定法である。この反応は電子の受け渡し反応であり、還元剤から放出された電子が酸化剤によって受け取られる。酸化とは物質からの電子の放出であり、還元とは物質による電子の取り込みである。酸化反応は酸化数の増加によって特徴づけられ、還元反応は酸化数の減少によって特徴づけられる。過マンガン

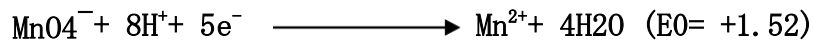
酸カリウム (KMnO_4) は、自己指示薬として作用するため、酸化滴定の標準溶液として広く使用されている (Hamdani, 2012)。

過マンガン酸カリウム (KMnO_4) は、100年以上前から知られている。滴定の大部分は、 Fe^{2+} 、溶解した酸、またはシュウ酸塩などの酸化可能な物質に対して直接行われる。Barutu (2012) によると、過マンガン酸法では酸化されない、あるいは間接的に滴定されるいくつかの金属イオンがある。例えば：

- 1) Ba^{2+} イオン、 Sr^{2+} イオン、 Zn^{2+} イオン、 Ca^{2+} イオン、 Pb^{2+} イオン、および Hg^{1+} イオンは、シュウ酸塩として沈殿させることができる。ろ過・洗浄した沈殿物を過剰の H_2SO_4 に溶解させ、定量的にシュウ酸を生成させる。このシュウ酸を最終的に滴定することで、対象となる金属イオンの量を算出できる。
- 2) Ba^{2+} および Pb^{2+} イオンは、クロム酸塩として沈殿させることができる。ろ過・洗浄した後、酸に溶解し、過剰の FeSO_4 標準溶液を加える。 Fe^{2+} イオンの一部はクロム酸によって酸化され、残りの量は KMnO_4 による滴定によって定量できる。

過マンガン酸法では、滴定液として過マンガン酸カリウムが用いられる。過マンガン酸カリウム (KMnO_4) は、酸化剤として広く使用されている。この試薬は入手しやすく、安価であり、使用する溶液が非常に希薄でない限り、指示薬は必要ない。0.01 Nの過マンガン酸カリウムを1滴加えるだけで、滴定中の溶液に淡いピンク色が生じる。この色は、滴定時に使用された試薬の過剰量を示すために用いられる (Day & Underwood, 1981)。

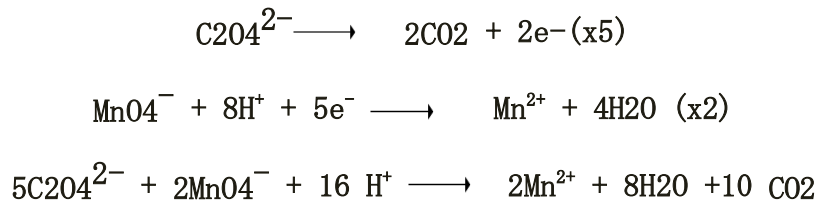
過マンガン酸カリウム (KMnO₄) は、還元電位が高いため強力な酸化剤であり、つまり過マンガン酸カリウムは還元されやすいため、反応相手となる他の物質に対して酸化力 (酸化性) を持つ。その反応式は以下の通りである：



この反応から、過マンガン酸カリウム (KMnO₄) は酸性環境下でのみ酸化剤として作用し、塩基性環境下では酸化力を示さない。沈殿してMn(OH)₂となるほか、MnO₂を形成してこれも沈殿する。過マンガン酸カリウムの濃度を滴定する際、硫酸が添加される。過マンガン酸カリウム (KMnO₄) は、自己指示薬としての機能も有する。過マンガン酸カリウムの酸化形と還元形は色が異なるため、過マンガン酸カリウムを用いた滴定では、酸化還元指示薬の添加が不要となる。過マンガン酸カリウムの濃度を測定する際、シュウ酸が主標準物質として用いられる。シュウ酸は、安定性が高く、分子量 (MR) の値が大きく、その他の基準も満たしているため、一次標準物質であると言える。シュウ酸は、以下の反応において過マンガン酸カリウム (KMnO₄) と反応する。過マンガン酸カリウム (KMnO₄) の濃度を測定する滴定の際には、硫酸を添加しなければならない。

過マンガン酸カリウム (KMnO₄) は、自己指示薬としての性質も有している。つまり、過マンガン酸カリウム (KMnO₄) の酸化形と還元形は色が著しく異なるため、過マンガン酸カリウム (KMnO₄) を用いる滴定プロセスにおいては、レドックス指示薬を追加する必要がなくなる。過マンガン酸カリウムの濃度を測定する際、シュウ酸が。シュウ酸が一次標準物質とみなされるのは、シュ

ウ酸が安定しており、高い分子量 (MR) を有し、その他にも一次標準物質としての基準を満たしているからである。過マンガン酸カリウムとシュウ酸の反応は、以下の式で表される：



シュウ酸は有機酸であるため、過マンガン酸カリウムとの反応は緩やかであり、滴定は加熱条件下で行う必要がある。これにより、滴定が容易になるだけでなく、シュウ酸と過マンガン酸カリウムの反応に時間がかかることによって生じる終点の判定ミスを防ぐことも容易になる。硫酸の添加は、滴定時の溶液を酸性化させるだけでなく、硫酸塩の生成剤としても機能する。Mn²⁺が硫酸イオンと反応して無色のMnSO₄溶液を形成するため、生成物 (Mn²⁺) が硫酸滴定時の観察を妨げないからである (Subhi, 2010)。

過マンガン酸塩は、この反応において多くの還元剤と速やかに反応するが、反応を促進するために加熱や触媒の使用を必要とする物質もある。過マンガン酸塩は、以下の反応式に従ってMn(II)をMnO₂に酸化させるのに十分な強さの酸化剤である：



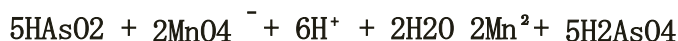
滴定終点に残るわずかな過マンガン酸塩でも、ある程度のMnO₂の沈殿を引き起こすのに十分である (Yasinta, 2014)。この沈殿を除去するには、還元可能な物質を分解するための加熱と、

。その後、溶液を標準化し、暗所で保存し、酸を添加しなければ、数ヶ月間その濃度はほとんど変化しない。(Ulfah, 2012)。

2.8. 過マンガン酸カリウムの一次標準液

2.8.1. 三酸化ヒ素

As₂O₃化合物は、過マンガン酸溶液にとって非常に優れた一次標準物質である。この化合物は吸湿的に不安定であるが、高純度で入手可能である。この酸化物は水酸化ナトリウムに溶解され、その溶液は塩酸で酸性化された後、過マンガン酸で滴定される：

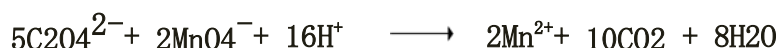


この反応は、触媒を添加しない限り、室温では遅く進行する。ヨウ化カリウム (KI)、ヨウ酸カリウム (KIO)、および塩化ヨウ素 (ICl) が触媒として用いられてきた。

2.8.2. シュウ酸ナトリウム

この化合物、Na₂C₂O₄は、酸性溶液中の過マンガン酸塩に対する優れた標準試薬でもある。この化合物は高純度で入手可能であり、乾燥状態では安定しており、吸湿性がない。過マンガン酸塩との反応はやや複雑であり、多くの研究が行われてきたにもかかわらず、その正確なメカニズムは未だ明らかになっていない。反応は室温では遅いため、通常、溶液は60° Cまで加熱される。より高い温度でも反応は緩やかに始まるが、二価のマンガンイオンが形成されると加速する。これらのイオンは、過マンガン酸塩と急速に反応して中間酸化状態 (+3または+4) のマンガンを生成することで触媒作用を発揮し、

(+3または+4) の状態のマンガンを形成し、これがさらに速やかにシュウ酸イオンを酸化して、再び二価の状態に戻る。シュウ酸と過マンガン酸塩の反応式は以下の通りである：



これは、Fe(II)、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 、Ca、および他の多くの化合物の分析に用いられる。

2.8.3. 鉄

高純度の鉄線は一次標準物質として使用できる。塩酸の非常に希薄な環境下では、この元素は溶解し、溶解過程での還元により生成される鉄はすべて鉄となる。その後、過マンガン酸塩溶液で滴定すると、鉄以外に大量の塩化物イオンが酸化される。過マンガン酸による塩化物イオンの酸化は、室温では非常に遅い。しかし、鉄が存在すると、酸化は急速に進む。鉄は塩化物イオンよりも強力な還元剤であるが、塩化物イオンは鉄と同時に酸化される。このような現象は、塩酸中の As_2O_3 や $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ の酸化では見られない。過マンガン酸塩による滴定の前に、マンガン溶液（硫酸マンガン、硫酸、およびリン酸、いわゆる「防止剤」溶液、あるいはツィーマン・ラインハルト溶液）を塩酸鉄溶液に添加することができる。（鉄イオンの濃度を低下させる）リン酸は、錯体を形成することで反応の進行を促進し、また塩化物媒体中の鉄に由来する黄色を除去する役割を果たす。このリン酸による反応は無色であり、終点もより明確になる（Kusumawardhani, 2013）。

2.9. 滴定法の概要

2.9.1. 滴定法の定義と原理

滴定法は、分析対象物質と完全に反応する滴定液の体積を測定することに基づく定量分析法である。滴定液とは滴定に使用される物質であり、分析対象物質とはその濃度を測定する物質である (Widiarto, 2009)。

エルレンマイヤーフラスコ内の被分析物は、既知の濃度を持つ溶液 (標準溶液) としてビュレットから滴定液に連続的に添加され、その後、滴定液と反応して変色を起こすためにいくつかの指示薬が添加される。この色変化が生じる点を終点と呼び、滴定の終点に達する前の最初の色変化は等価点と呼ばれる (Underwood, 2001, pp. 43-44)。滴定の終点は、明確な色変化または沈殿 (濁り) の形成によって確認できなければならない (濁り) によって確認できなければならない。理想的な滴定の終点は、滴定の終点が等価点と一致する場合である (Gandjar, 2012, p. 121)。

2.9.2. 標準溶液

滴定計算のすべては滴定液の濃度に基づいているため、滴定液の濃度は慎重に調製されなければならない。この種の滴定液は標準溶液 (スタンダード) とも呼ばれる。標準溶液は、あらかじめ計量された一定量の標準物質を溶解して調製される。

正確な量と正確な体積で溶解させる。標準溶液には、一次標準溶液と二次標準溶液の2種類がある。一次標準溶液は高い純度を有する (Gandjar, 2012, p. 129)。一次標準溶液は、重量と体積が正確に知られている高純度の物質を溶解することで調製される。一次標準溶液の要件は、高純度、空気に対して

安定、入手容易、溶解性が高く、分子量が十分に大きいことである (Widiarto 2009)。一方、二次標準溶液とは、一次溶液から調製された標準溶液を指す (Gandjar, 2012 p. 129)

2.9.3. 滴定法

滴定法で使用される方法は、1. 酸・アルカリ滴定法。2. 無水滴定 (BTA)。3. 銀滴定法。4. 錯体滴定法。5. ジアゾ化滴定法。6. 酸化還元滴定法：その一例として過マンガン酸滴定法がある (Gandjar 2012)。

過マンガン酸法は、 KMnO_4 による酸化反応の結果に基づいて物質の含有量を測定するものである。過マンガン酸法は、過マンガン酸イオンの酸化反応に基づいている。この酸化反応は、酸性、中性、およびアルカリ性の条件下で起こり得る。過マンガン酸カリウムは指示薬として作用し得るため、過マンガン酸法による滴定過程では指示薬を必要とせず、滴定の終点が観察しやすいため、一般的には酸性条件下で行われる。この過マンガン酸塩滴定の利点は、より使いやすく効果的であることだ。この反応は指示薬を必要としないが、これは KMnO_4 溶液自体が、紫色の MnO_4^- イオンとして指示薬の役割を果たしているためである。還元されて無色の Mn^{2+} イオンになると、これは自己指示薬とも呼ばれます。一方、欠点は KMnO_4 溶液にあります。実験を長時間行うと、 KMnO_4 溶液は容易に MnO_2 に分解し、そのため滴定の終点では褐色の沈殿が生じ、溶液はバラ色になる。また、過マンガン酸カリウム法において KMnO_4 溶液を使用する前に、標準化を行う必要がある。まず、還元剤の標準化には、シュウ酸、シュウ酸ナトリウム、テトラシュウ酸カリウムなどが使用できる (Hamdani 2012)。

第3章 研究方法

3.1. 研究の実施時期および場所

本研究は、計画（研究提案書の作成）から最終報告書の作成に至るまで、2022年1月から9月にかけて実施された。本研究では、デリスルダン県カリ・セラユ・シエンティス村の掘削井戸水中の有機物（KMnO₄）含有量の測定を行い、その分析はメダンにある北スマトラ州保健研究所にて実施された。

3.2. 試薬および機器の

本研究で使用した試薬は、有機物を含まない硫酸（H₂SO₄）8N、過マンガン酸カリウム（KMnO₄）0.01N、シュウ酸（H₂SO₄）0.01Nである。使用した器具は、300mlエルレンマイヤーフラスコ、1000mlおよび100mlメスフラスコ、ストップウォッチ、電気ヒーター、5mlメスシリンジ、10mlおよび100mlピペット、1000mlビーカー、25mlビュレット、および温度計である。

3.3. 研究の法

本研究では、ペルマンガネート法を用いて過マンガン酸カリウムの濃度を測定する記述的手法を採用した。

3.4. サンプルング手順

研究対象となる掘削井戸は30（三十）基であり、研究目的に沿って意図的に選定された。具体的には、有機物による汚染が疑われる井戸であり、その特徴と

して、臭気がある、色が澄んでいない（濁っている）、沈殿物があるなどが挙げられる。サンプル井戸間の距離は 20～50メートルとした。これは、井戸間の浸透による影響を排除し、その後の試験結果のバイアスを防ぐことを目的としている。

井戸水の採取に先立ち、清潔なプラスチックボトルを用意する。井戸水はロープで結んだバケツを使用して採取し、井戸の内部水面に達したら、最初に汲み上げた水をプラスチック容器に注ぎ、容器をすすいだ後、2500 mlまで満たす。この検査は3回繰り返して実施する。

3.5. 作業手順

3.5.1. 試薬の調製

有機物を含まない硫酸 H₂SO₄ 8N

有機物を含まない硫酸（H₂SO₄ 8N）の試薬調製は、次のように行う。222mlの濃硫酸を、冷却しながらビーカー内の500mlの蒸留水に少しずつ移し入れ、1000mlのメスフラスコで1000mlに希釈する。その後、再びビーカーに戻し、KMnO₄溶液を滴下して淡紅色になるまで加え、80° Cで10分間加熱する。加熱中に赤色が消えた場合は、淡紅色が安定するまで0.01NのKMnO₄溶液を再度加える

過マンガン酸カリウム、KMnO₄ (0.1 N)

1000mlのメスフラスコに3.16gのKMnO₄を蒸留水で溶解する。

使用前に24時間、暗色のボトルに保管する。

過マンガン酸カリウム、KMnO₄ 0.01 N

0.1 NのKMnO₄を100mlピペットで1000mlメスフラスコに入れ、目盛まで蒸留水を加える。

シュウ酸、(COOH)₂·2H₂O 0.1 N

6.302 gの(COOH)₂·2H₂Oを1000mlの蒸留水に溶解するか、6.7 gのシュウ酸ナトリウム(COONa)₂·2H₂Oを25mlの8 N H₂SO₄に溶解し、冷却してメスフラスコで1000mlに希釈する。

0.01 N シュウ酸

0.1 N シュウ酸溶液 100 ml をピペットで 1000 ml メスフラスコに移し、目盛まで蒸留水で定容する。

3.5.2. 過マンガン酸カリウム溶液の定量 (標準化)

0.01 N 過マンガン酸カリウム (KMnO₄) 溶液の調製手順：蒸留水を10ml (2回分) ピペットで取り、300mlのエrlenmeyerフラスコに入れ、70° Cまで加熱した後、有機物を含まない8N H₂SO₄を5ml加える。0.01 N シュウ酸標準溶液 10 ml を容量ピペットを用いて加え、0.01 N 過マンガン酸カリウム溶液でピンク色になるまで滴定し、使用量を記録する。

以下の式を用いて、過マンガン酸カリウム標準溶液の濃度を算出する：

$$N_2 = \frac{V_1 \times N_1}{V_2}$$

注記

V₁ = シュウ酸標準溶液の体積 (ml)

N₁ = 滴定に使用したシュウ酸原液の濃度

V₂ = 過マンガン酸カリウム標準溶液の体積 (ml) ; および

N₂ = 求めている過マンガン酸カリウム標準溶液の濃度

3.6. 過マンガン酸価の測定

過マンガン酸価試験：本試験は以下の手順に従って実施された。まず、100mlの試験試料をピペットで300mlのエrlenマイヤーフラスコに移し、沸石3粒を加えた後、0.01NのKMnO₄を加え、試験試料に数滴ずつ滴下して淡紅色になるまで調整した。有機物を含まない8N硫酸5mlを加え、電気ヒーター上で105° C ± 2° Cに加熱する。H₂Sの臭いがした場合は、0.01N KMnO₄標準溶液10mlをピペットで加える。再び沸騰するまで加熱し、さらに10分間待つ。試料が再び透明になるまで、0.01N シュウ酸標準溶液をピペットで10 ml 追加する。0.01N 過マンガン酸カリウムでピンク色になるまで滴定し、ビュレットに表示されたKMnO₄の使用量を記録する。0.01N過マンガン酸カリウム標準溶液の使用量が7mlを超える場合は、試験試料を希釈して試験を繰り返す

$$KMnO_4(mg/l) = \frac{\{(10 - a)b - (10xc)\} 1 \times 31.6 \times 1000}{d} \times f$$

注記：

a = 滴定時に必要な0.01N KMnO₄の体積

b = KMnO₄の実際のノルマル度

c = シュウ酸のノルマル度

d = 試料の体積

f = 試験試料の希釈倍率

第5章 結論と提言

5.1 結論

ペルカット・セイトゥアン・トゥアン地区カリセラユ・シエンティス村における掘削井戸水の有機物濃度検査の結果、住民から採取した30の掘削井戸水サンプルの濃度が10 mg/Lを超えており、保健省令第416/MENKES/PER/IX/1990号の基準を満たしていないため、当該水は日常生活での使用に適さない。

5.2 提言

ペルカット・セイトゥアン・トゥアン郡カリセラユ・シエンティス村地域における掘削井戸水の有機物含有量調査の結果に基づき、研究者は以下の通り提案する：

1. ペルカット・セイトゥアン郡カリセラユ・シエンティス地区の住民は、保健省令第416/MENKES/PER/IX/1990号で定められた基準値である10 mg/Lを満たしていないため、当該井戸水の使用を許可されない。
2. 村当局に対しては、各住民の家庭へ供給できるよう、適切な浄水設備の設置が期待される。
3. 政府に対しては、PDAM（公営水道）の整備など、利用に適した水の供給といった解決策を提供することが期待される
4. 今後の研究者に対しては、掘削井戸の水に浄水フィルターを設置する前後における有機物濃度の調査を行うことが期待される

参考文献

- Asmadi, Khayan, Kasjono H.S. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing
- Barutu, Mai Fransiska (2012), *Analisis Kadar Angka Permanganat pada Air Minum dan Air Bersih di Beberapa Daerah Medan*. Tugas Akhir, FMIPA, USU, Medan.
- Hamdani, Syarif, Siti Us'atun Hasanah, Windari Safitri dan Romauli Situmorang (2012). *Panduan Praktikum Kimia Analisis STFI*. Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia. Bandung.
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I 416/MENKES/PER/IX/1990 *Tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air*. Jakarta.
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I. No. 492/MENKES/PER/IV/2010. *Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta.
- Asmadi, Khayan, Kasjono H.S. 2011. *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing
- Standar Nasional Indonesia. 2004. *Cara uji Nilai Permanganat Secara Titrimetri SNI 06-6989.22-2004*.
- Subhi, Fajar Siddiq (2010). *Laporan Praktikum Kimia Analitik Dasar Titrasi Oksidasi-Reduksi* Jurusan kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Politeknik Negeri Bandung : Bandung
- Sulih Hartanto (2007). *Pengolahan Air Bersih*. Rineka Cipta: Jakarta
- Santoso, Agung (2010) *Studi deskriptif effect size penelitian-penelitian di Fakultas Psikologi Universitas Sanata Dharma*. Jurnal Penelitian, 14 (1). pp. 1-17.
- Underwood, A.L and R.A Day, Jr. 1981. *Analisa Kimia Kuantitatif*. Erlangga : Jakarta
- Warnida, H. (2016). Efektivitas Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Pengawet Alami Antimikroba . *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina* 1 (2) , 227-234.
- Chandra B, (2012). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Waluyo, L. 2009. *Mikrobiologi Lingkungan*. Malang: UMM Press.

- Wardana, W.A. 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. ANDI : Yogyakarta
- Soesanto, S.S 1996, 'Senyawa Organik Dalam Air Minum', Media Litbengkas, Vol.VI, no.01.
- A.L.Underwood & R.A.Day. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif. Edisi Keenam*. Erlangga : Jakarta.
- Gandjar, I.G. 2012. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar : Yogyakarta
- Widiarto,S2009, 'KimiaAnalitik',
<http://staff.unila.ac.id/sonnywidiarto/files/2011/09/VOLUMETRI>