

Perbandingan Kadar Trihalomethane di Negara Tropis dan Non Tropis: Studi Literatur

Najla Shalmabillah Hidayat, Nur Alifah Fauzia*, Mohamad Rangga Sururi, Mila Dirgawati

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Koresponden email: nur.alifah@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 28 Januari 2026

Disetujui: 02 Februari 2026

Abstract

Trihalomethane (THM) is a disinfection by-product formed due to the relationship between chlorine and Natural Organic Matter/NOM in drinking water sources, and its existence is an important concern because it has the potential to cause long-term health. This study aims to examine and compare the characteristics, dominant factors, and concentration levels in drinking water supply systems in tropical and non-tropical regions through a literature review approach. The method used is a literature review by tracing scientific articles published in the last ten years that discuss THM concentration, precursors to its formation, and the influence of environmental conditions and raw water quality. The results of the study showed that the formation of THM was generally dominated by the presence of dissolved organic matter, especially humic and aromatic fractions represented by the parameters of DOC, UV254, SUVA and Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM). In tropical regions such as, Indonesia, Thailand, Sri Lanka, and Brazil THM concentrations tend to be high and varied, with the formation of nearly 1,000 $\mu\text{g/L}$ with peatland characteristics. This condition is influenced by the high content of NOM, and high environmental temperatures, as well as the quality of raw water exposed to anthropogenic activities. In non-tropical regions such as Europe and North America, THM concentrations are generally lower and realistically more controlled, although they are still influenced by water source quality and treatment practices.

Keywords: *trihalomethane, disinfection by products, chromophoric dissolved organic matter, tropical river, non tropical river*

Abstrak

Trihalometan (THM) merupakan produk samping disinfeksi yang terbentuk akibat relasi antara klorin dengan bahan organik alami (natural organic matter/NOM) pada sumber air baku air minum, dan keberadaannya menjadi perhatian penting karena berpotensi menimbulkan dampak kesehatan jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan karakteristik, faktor dominan, serta tingkat konsentrasi pada system penyediaan air minum di wilayah tropis dan non-tropis melalui pendekatan studi literatur. Metode yang digunakan adalah *literatur review* dengan penelusuran artikel ilmiah terbitan sepuluh tahun terakhir yang membahas konsentrasi THM, prekursor pembentukannya, serta pengaruh kondisi lingkungan dan kualitas air baku. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembentukan THM secara umum didominasi oleh keberadaan bahan organik terlarut, khususnya fraksi humik dan aromatic yang direpresentasikan oleh parameter DOC, UV254, SUVA, seta *chromophoric dissolved organic matter* (CDOM). Di wilayah tropis seperti, Indonesia, Thailand, Sri Langka, dan Brazil konsentrasi THM cenderung tinggi dan bervariasi, dengan pembentukan hampir 1.000 $\mu\text{g/L}$ dengan karakteristik lahan gambut. Kondisi ini dipengaruhi oleh tingginya kandungan NOM, dan suhu lingkungan yang tinggi, serta kualitas air baku yang terpapar aktivitas antropogenik. Wilayah non tropis seperti Eropa dan Amerika Utara, konsentrasi THM umumnya lebih rendah dan relatif lebih terkendali, meskipun masih dipengaruhi oleh kualitas sumber air dan praktik pengolahan.

Kata Kunci: *trihalomethane, produk sampingan disinfeksi, materi organik terlarut kromoforik, sungai tropis, sungai non tropis*

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan air bersih di Indonesia sampai saat ini menjadi masalah besar terutama air baku. Salah satu sumber air baku yang digunakan oleh instalasi pengolahan air minum adalah Sungai. Air yang digunakan untuk diolah menjadi air minum terdapat banyak organik yang terkandung dalam air tersebut karena dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitarnya, sehingga tingkat pencemarannya umumnya berasal dari kegiatan antropogenik [1]. Air Baku untuk penyediaan air minum sering mengandung bahan organik

alami yang berasal dari pelapukan tumbuhan, aktivitas mikroorganisme, dan limpasan dari daerah tangkapan air [2]. Kehadiran DOM (*Dissolved Organic Matter*) pada air baku menjadi tantangan besar bagi instalasi pengolahan air minum karena dapat meningkatkan kebutuhan dosis koagulan dan DOM bertindak sebagai precursor utama dalam pembentukan THM (Trihalometana). Oleh karena itu, pengendalian dan karakterisasi DOM sejak tahap air baku menjadi kunci penting dalam meminimalkan pembentukan THM serta menjamin mutu dan keamanan air minum bagi masyarakat [3].

CDOM (*Chromophoric Dissolved Organic Matter*) merupakan salah satu parameter DOM yang memiliki sifat hidrofobik, aromatic, dan humik memiliki peran penting dalam proses pembentukan THM setelah tahap pembubuhan klorin. Gugus fungsi pada senyawa organik tersebut akan reaktif apabila menyatu dengan klorin di dalam air. Studi yang dilakukan oleh [4] menunjukkan bahwa CDOM, khususnya yang diindikasikan oleh A254 serta kandungan senyawa humik memberikan kontribusi besar terhadap potensi pembentukan THM. Oleh karena itu, CDOM seringkali menjadi parameter prekursor, yaitu bahan yang keberadaannya sebelumnya dapat mempengaruhi pembentukan dari senyawa lain. Pada proses ini CDOM menjadi prekursor dari THM.

Sebagian besar kajian mengenai penelitian ini berfokus di wilayah air permukaan non tropis, sedangkan penelitian ini masih terbatas untuk di wilayah tropis [5]. Kajian sistematis dan meta – analisis internasional juga melaporkan bahwa sistem penyediaan air minum dengan kandungan bahan organik tinggi cenderung menghasilkan THM dalam jumlah besar, dengan kloroform sebagai senyawa dominan, pengelolaan kualitas air baku yang mengandung bahan organik tidak hanya penting dari aspek teknis pengolahan, tetapi juga dari sudut pandang perlindungan Kesehatan Masyarakat [6]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [7] dengan membandingkan konsentrasi THM di 20 Negara di negara maju dan berkembang, hasil menunjukkan bahwa, negara maju memiliki rentang konsentrasi THM pada nilai 0,5 – 215 $\mu\text{g/L}$ sedangkan negara berkembang memiliki nilai THM pada rentang 3 – 439,2 $\mu\text{g/L}$. Hal tersebut dipengaruhi oleh sumber air, kualitas air baku yang digunakan, kondisi lingkungan sekitar dan efisiensi teknologi pengolahan air minum. Nilai THM perlu untuk dikurangi hingga menghasilkan konsentrasi seminim mungkin, karena sifat dari senyawa tersebut yang karsinogenik, serta berbahaya untuk hati dan ginjal apabila dikonsumsi oleh manusia.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyusun artikel ini yaitu *Literatur review*. Proses penyusunan artikel ini menggunakan aplikasi *publish or perish 8* dengan menggunakan *googles scholar* dan memasukkan kata kunci yang berkaitan dengan *trihalomethane*, khususnya mengenai besar konsentrasinya di suatu sungai di negara tropis dan non tropis, dan muncul sekitar 100 jurnal. Selanjutnya dipilih jurnal yang sesuai detail judul ini, dengan total sumber literatur yang digunakan adalah 14 literatur, di mana 7 literatur mewakili kondisi *trihalomethane* di sungai tropis, dan 7 lainnya di sungai non-tropis. Jurnal yang digunakan dalam menyusun artikel *literatur review* ini menggunakan data pada 10 tahun terakhir yaitu pada tahun 2016-2026, yang spesifik membahas mengenai nilai parameter *trihalomethane* di negara tropis dan non tropis, sumber *trihalomethane*, konsentrasi *trihalomethane*, dan perbedaan nilai konsentrasi *trihalomethane* berdasarkan kondisi. Selanjutnya, perbandingan konsentrasi dapat digunakan sebagai gambaran secara umum konsentrasi *trihalomethane* bagi penelitian-penelitian selanjutnya mengenai parameter ini, disesuaikan dengan iklim dari lokasi tersebut.

3. Prekursor Senyawa *Trihalomethane*

Prekursor trihalometana dalam konteks pengolahan air minum merujuk kepada senyawa organik yang bereaksi dengan agen disinfektan seperti klorin untuk membentuk THM sebagai produk samping disinfeksi. Prekursor utama tersebut terutama adalah *Natural Organic Matter* (NOM) yaitu campuran kompleks bahan organik terlarut di sumber air yang berasal dari degradasi tumbuhan, humus, alga, dan material biologis lain [8].

Penelitian lain menyebutkan bahwa *Chromophoric Dissolved Organic Matter* dan THMFP sangat penting dalam memahami pembentukan produk samping disinfeksi dalam pengolahan air minum. CDOM merupakan fraksi DOM yang menyerap cahaya UV dan mengandung senyawa aromatic serta gugus fungsional reaktif yang dapat menjadi prekursor THM saat bereaksi dengan klorin [9]. CDOM yang direpresentasikan oleh parameter absorbansi UV pada panjang gelombang A254 dan A355, mencerminkan kandungan senyawa aromatic dan humic like dalam *dissolved organic matter* yang bersifat reaktif terhadap klorin. Pada saat musim hujan, pada saat musim hujan ketika nilai SUVA berada pada rentang 2 – 4 L/mg/m yang menandakan keseimbangan antara fraksi aromatic dan non – aromatic DOM, terdapat korelasi signifikan antara CDOM dan THMFP. Sebaliknya pada musim kemarau dengan nilai SUVA >5 L/mg/m

yang menunjukkan dominasi senyawa aromatic dan hidrofobik, korelasi antara CDOM dan THMFP menjadi lemah, diduga akibat keberadaan senyawa aromatic antropogenik yang kurang reaktif terhadap klorin [10].

4. Pengukuran Senyawa Trihalomethane

Pengukuran kadar trihalometan dalam air minum untuk kepatuhan terhadap standar kualitas air, khususnya diikuti oleh Lembaga pengatur seperti USEPA. , dilakukan melalui metode analitis berbasis gas *chromatography* (GC) setelah ekstraksi senyawa volatile dari sampel air, dalam praktik pemantauan THM. USEPA telah menetapkan beberapa metode yang digunakan secara luas di laboratorium pengujian, yang masing-masing menggabungkan teknik ekstraksi (*liquid-liquid extraction* atau *purge and trap*) dengan pemisahan dan deteksi menggunakan GC-ECD (*Electron Capture Detector*), GC-PID/ELCD (*Photoionization + Electrolytic Conductivity Detector*), atau GC-MS (*Mass Spectrometry*) untuk mengidentifikasi serta mengukur empat senyawa THM yaitu (kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan, dan bromoform). Metode-metode ini telah digunakan secara global untuk pemantauan kepatuhan THM di jaringan distribusi air dengan kemampuan deteksi pada level $\mu\text{g/L}$ (ppb) yang diperlukan untuk menilai konsentrasi THM terhadap batas maksimum yang diatur [11].

5. Jenis Senyawa Trihalomethan

Trihalometan

Trihalometan adalah sekelompok senyawa organik halogenasi yang terbentuk sebagai produk samping disinfeksi air minum, terutama ketika agen disinfektan seperti klorin bereaksi dengan bahan organik alami yang terdapat pada sumber air baku seperti air sungai, danau, atau waduk. Senyawa yang termasuk kedalam THM antara lain kloroform, bromodiklorometana, dibromoklorometana, dan bromoform. THM penting dalam pengelolaan air minum karena kadar tinggi THM telah dikaitkan dengan risiko kesehatan jangka panjang, termasuk kedala peningkatan risiko kanker tertentu dari paparan oral terus-menerus [12].

Penyebab terbentuknya THM pada sumber air baku adalah reaksi antara residu disinfektan dengan prekursor bahan organik terlarut di dalam air sebelum atau selama proses pengolahan air. Sumber air permukaan biasanya memiliki kandungan NOM lebih tinggi dibandingkan air tanah, sehingga lebih rentan menghasilkan THM saat dilakukan klorinasi. Variasi musiman juga dapat meningkatkan konsentrasi NOM di badan air, yang pada gilirannya menaikkan potensi pembentukan THM saat disinfeksi dilakukan [13].

Sumber air baku terutama air permukaan seperti sungai, danau, dan waduk umumnya mengandung NOM (*Natural Organic Matter*) dalam bentuk *humic* dan *fulvic acids*. Ketika klorin ditambahkan selama tahap disinfeksi di pengolahan air minum, klorin tersebut bereaksi dengan NOM dan menghasilkan THM sebagai produk samping. Parameter kualitas air seperti pH, suhu, absorbansi UV 254, dan residu klorin memiliki hubungan erat dengan kejadian THM di air minum akhir. Parameter ini menjadi indikator penting untuk memprediksi tingkat THM yang terbentuk karena mereka mencerminkan reaktivitas klorin dengan bahan organik dalam sumber air baku [14].

Kloroform

Kloroform merupakan indikator utama senyawa trihalometana yang terbentuk selama proses klorinasi, kloroform sendiri merupakan produk samping desinfeksi yang terjari ketika residu klorin ditambahkan untuk membunuh mikroorganisme bereaksi dengan senyawa organik alami yang terdapat dalam air baku [16].

Kloroform terbentuk dalam pengolahan air minum sebagai produk samping disinfeksi melalui reaksi antara klorin dengan bahan organik alami yang terdapat pada sumber air baku, terutama pada air permukaan. Reaksi diawali dengan ketika klorin atau asam hipoklorit yang terbentuk setelah klorin dilarutkan dalam air bereaksi dengan gugus reaktif pada senyawa organik seperti asam humat dan asam fulvat. Senyawa organik tersebut mengalami oksidasi dan substansi halogen, dimana atom hidrogen pada struktur karbon organik digantikan oleh atom klorin, sehingga menghasilkan senyawa halogenasi volatil seperti kloroform [17].

Besarnya pembentukan kloroform sangat dipengaruhi oleh kualitas air baku dan kondisi proses pengolahan, terutama total organic carbon atau dissolved organic carbon sebagai prekursor utama, dosis klorin, nilai pH, suhu, serta waktu tinggal air dalam system pengolahan. Pada pH netral laju pembentukan kloroform cenderung meningkat karena dominasi spesies hipoklorit reaktif terhadap senyawa organik [14].

Bromoform

Bromoform adalah salah satu senyawa trihalometana terbrominasi yang dapat terbentuk sebagai produk samping dari proses disinfeksi air minum bila air baku mengandung ion bromide bersama dengan natural organic matter. Selama klorinasi air, klorin bebas bereaksi dengan bromide untuk menghasilkan asam hipobromus yang sangat reaktif terhadap prekursor organik. Senyawa HOBr kemudian dapat berpartisipasi dalam substitusi halogenasi terhadap gugus organik NOM menggantikan atom hidrogen dengan atom bromin. Secara bertahap terbentuk bromoform sebagai salah satu produk brominasi dominan ketika konsentrasi bromide meningkat khususnya dalam air. Kondisi bromida yang tinggi juga cenderung menggeser profil THM dari senyawa yang lebih mengandung banyak klorin menuju spesies brominasi penuh seperti bromoform [18].

Dalam studi ini meneliti efek ion bromide terhadap pembentukan produk samping selama klorinasi air, ditemukan bahwa peningkatan konsentrasi bromide secara linear meningkatkan pembentukan bromoform. Sedangkan pembentukan kloroform justru menurun dengan tingginya kadar bromide karena bromide lebih mudah terinkorporasi dalam struktur THM. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan bromide dalam sumber air baku dengan tingkat bromide yang tinggi merupakan faktor dominan THM mendorong pembentukan bromoform yang lebih tinggi dibandingkan THM lainnya dalam kondisi tertentu [4].

Reaksi klorinasi pada air yang kaya bromide menghasilkan proporsi bromoform lebih tinggi daripada ozonisasi. Karena klorin bereaksi lebih cepat dengan bromide dan prekursor organik dibandingkan ozon, menghasilkan bromoform sebagai produk THM, karakteristik NOM yang berbeda dapat mempengaruhi laju pembentukan bromoform [19].

Dibromoklorometana

Dibromoklorometana adalah salah satu dari spesies dari trihalometana yang terbentuk sebagai produk samping disinfeksi air minum ketika proses klorinasi air yang mengandung NOM dan ion bromide berlangsung. Dalam air baku yang memiliki kandungan bromide yang tidak rendah, ion bromide yang bereaksi dengan klorin akan dioksidasi menjadi hipobromus (HOBr), suatu spesies bromin reaktif. Spesies HOBr ini kemudian dapat bereaksi dengan gugus organik NOM melalui mekanisme substitusi halogenasi. Dimana atom hidrogen pada molekul organik digantikan oleh atom halogen jika atom yang terlibat adalah bromin dan klorin. Proporsi dibromoklorometana dalam total THM meningkat seiring kenaikan konsentrasi bromidan dalam air baku, karena bromide lebih mudah diintegrasikan ke dalam struktur THM daripada klorin ketika prekursor organik tersedia [20].

Studi empiris menunjukkan bahwa pH, dosis klorin, waktu kontak, dan karakteristik NOM sangat mempengaruhi pembentukan dan spesiasi dibromoklorometan. Dalam kondisi pH netral hingga agak basa serta dengan waktu kontak klorin yang panjang, reaksi substitusi halogenasi lebih lanjut dengan prekursor organik memfavoritkan pembentukan brominated THMs seperti dibromoklorometana. Ketika rasio bromide terhadap organik meningkat, spesies THM yang lebih brominasi cenderung endominasi dibandingkan kloroform, karena HOBr lebih reaktif terhadap organik daripada HOCl dalam menghasilkan spesies brominasi [18].

Bromodiklorometana

Bromodiklorometana adalah salah satu spesies trihalometana yang terbentuk sebagai produk samping disinfeksi air minum ketika sumber air baku yang mengandung ion bromide dan natural organic matter mengalami klorinasi untuk menjamin keamanan mikrobiologis. Selama proses klorinasi, klorin bebas seperti HOCl/HOCl- akan mengoksidasi bromide menjadi hipobromus, suatu spesies bromin yang sangat reaktif terhadap gugus organik dalam NOM. Hipobromus ini kemudian bereaksi dengan struktur organik NOM melalui mekanisme halogenasi. Dimana atom hidrogen dalam molekul organik digantikan oleh atom halogen, sehingga menghasilkan senyawa THM terbrominasi seperti bromodiklorometana [21].

Tingginya konsentrasi bromide dalam air baku relatif meningkatkan proporsi pembentukan bromodiklorometana dan senyawa brominasi lainnya dibandingkan senyawa klorinasi seperti kloroform, karena HOBr lebih reaktif dalam substitusi halogenasi daripada HOCl dalam kondisi tersebut. Selain itu, faktor lain seperti rasio bromide terhadap klorin, pH, suhu, waktu kontak klorin serta parameter organik seperti DOC atau TOC mempengaruhi besarnya pembentukan bromodiklorometan dalam air [21].

6. Perbandingan Nilai THM dari beberapa negara Tropis

Studi kasus nilai THM di IPAM Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo

Penelitian ini dilakukan di IPAM Siwalanpanji, Kabupaten Sidoarjo, dengan sumber air baku berasal dari Afvoer Buduran. Penelitian ini berfokus pada pembentukan trihalometan (THM) dengan konsentrasi

nilai TTHM pada lokasi tersebut yaitu 0,017 – 0,07 mg/L atau 17 – 70 µg/L. Parameter dominan yang mempengaruhi THM di lokasi tersebut adalah kandungan bahan organik alami yang direpresentasikan oleh TOC/COD, UV24, dosis klor, waktu kontak serta pendukung lain berupa pH dan suhu [2].

Studi kasus nilai THM di IPAM Palyja Taman Kota Jakarta Barat

Proses pengolahan air yang dilakukan di IPAM Palyja Taman Kota Jakarta barat memanfaatkan sumber air baku dari Cengkareng drain dengan kualitas air yang sangat buruk dengan kandungan organik serta ammonium yang sangat tinggi. Parameter dominan yang memengaruhi potensi pembentukan THM di lokasi penelitian adalah kandungan bahan organik, konsentrasi ammonium, dosis klorin, pH, dan suhu air. Penyebab utama tingginya potensi pembentukan THM di IPAM taman kota adalah cemaran domestik, limpasan kota serta tingginya kandungan NOM dan DOM disisi lain, iklim tropis Kota Jakarta dengan suhu yang tinggi menjadi salah satu penyebab reaksi pembentukan THM [22].

Studi kasus nilai THM di sumber ai baku Muaragembong, Bekasi

Penelitian yang dilakukan di Desa Pantai Sederhana Kecamatan Muara Gembong menunjukkan adanya permasalahan trihalometan yang bersifat karsinogenik. Penyebab tingginya THM di lokasi tersebut akibat pencemaran air baku akibat aktivitas manusia yang mengandung senyawa organik seperti humus [23].

Studi kasus nilai THM di Pulau Jawa dan Sumatera

Penelitian ini dilakukan di Pulau Jawa dan Sumatera di sekitar lahan gambut, tingginya kadar THM di lokasi tersebut disebabkan oleh kandungan bahan organik alami berupa asam humat [24].

Studi kasus nilai THM di Kabupaten Indragiri, Provinsi Riau

Penelitian ini mengkaji potensi pembentukan THM di Kawasan gambut yang berlokasi di kawasan lahan gambut Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. Sumber air pada daerah tersebut diambil dari kanal yang tidak pasang surut dan air sungai yang dipengaruhi pasang surut. Penelitian ini diambil dari 2 kondisi yaitu pada saat musim hujan dan musim kemarau. Hasil menunjukkan bahwa yang mempengaruhi pembentukan THM secara dominan adalah karbon organik terlarut (DOC) karakteristik bahan organik alami direpresentasikan dalam (UV254, SUVA, dan rasio E4 dan E6. Nilai tertinggi THM pada daerah tersebut adalah pada saat musim hujan akibat proses pelindian dari lahan gambut. Nilai THMFP pada daerah tersebut berkisar antara 250,7 – 1167,8 µg/L. Tingginya potensi pembentukan THM pada daerah tersebut disebabkan oleh tingginya kandungan bahan organik humat pada air gambut [25].

Studi kasus nilai THM di Kota Sri Lanka

Penelitian ini membahas mengenai senyawa trihaloetana di Kota Sri Lanka, penelitian ini dilakukan di wilayah tropis dengan kualitas air, teknologi, dan kondisi alam yang beragam. THM yang terdeteksi terutama adalah kloroform dan bromodikloroetana dengan variasi nilai berkisar antara 0 hingga 16 µg/L dan 0 hingga 54 µg/L. Penyebab utama adanya THM di lokasi penelitian adalah reaksi antara residu klorin dari proses desinfeksi dan sumber organik alami di sumber air permukaan [15].

Studi kasus nilai THM di Thailand

Penelitian ini dilakukan di Thailand dengan pengambilan sampel selama tujuh bulan untuk memahami hubungan antara bahan organik terlarut dengan pembentukan THM. Trihalometana yang dianalisis mencakup kloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane, dan broform dimana parameter dominan yang teridentifikasi sebagai THM adalah kloroform. Parameter dominan yang memengaruhi pembentukan THM adalah kandungan bahan organik terlarut, absorbansi UV254 nm. Karakteristik DOM berupa humic light, fulvic DOM, serta protein DOM, penyebab utama tingginya THM di lokasi ini adalah prekursor bahan organik alami yang bereaksi dengan klorin pada saat pengolahan [26].

Studi kasus nilai THM di Chang Mai, Thailand

Penelitian ini dilakukan di wilayah Chiang Mai, Thailand berfokus kepada pengolahan air baku menjadi air minum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat spesies THM terdeteksi, yaitu kloroform, bromodiklorometana, dibromoklorometana, dan bromoform, dengan kloroform sebagai komponen utama dalam pembentukan THM. Nilai tertinggi THM pada pengolahan tersebut mencapai 189,52 µg/L. Penyebab utama terbentuknya THM di lokasi studi adalah reaksi antara bahan organik aromatik (termasuk asam humik) yang ada di air baku selama waktu pengolahan [13].

7. Perbandingan Nilai THM dari beberapa negara Non Tropis

Nilai Kadar THM di beberapa benua dengan pendekatan meta analisis

Berdasarkan studi tinjauan sistematis dan analisis meta yang dilakukan oleh [6] trihalomethane merupakan produk samping utama dari proses klorinasi air minum yang terbentuk akibat reaksi klorin dengan bahan organik alami di air baku. Konsentrasi THM yang dilaporkan dalam berbagai studi epidemiologi berada pada rentang 0 hingga 100 µg/L. Tingginya konsentrasi THM disusun atas empat senyawa utama yaitu kloroform, bromodiklorometana, dibromodiklorometana dan bromoform dengan kloroform sebagai komponen dominan [6]. Lokasi penelitian tersebut dilakukan di Amerika Utara, Eropa, dan Asia Timur. Tingginya konsentrasi di wilayah tersebut disebabkan oleh kandungan bahan organik alami dari air baku selain itu kualitas air permukaan dipengaruhi oleh aktivitas pertanian, perkotaan dan alam turut berkontribusi terhadap peningkatan pembentukan THM [6].

Studi kasus nilai THM di Kota Salvador Brazil

Penelitian yang dilakukan di Kota Salvador Brazil bertujuan untuk mengetahui nilai parameter THM sebelum dilakukan distribusi kepada konsumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai THM yang terkandung pada air tersebut adalah 277 µg/L dan sudah melampaui batas baku mutu internasional yaitu 100 µg/L. Parameter dominan pembentukan THM pada lokasi penelitian ini adalah triklorometana (CHCl₃), tingginya konsentrasi THM di lokasi ini akibat bahan organik alami dan aktivitas antropogenik ditambah dengan suhu lingkungan tropis yang cukup tinggi [9].

Studi kasus nilai THM di Zongdulak Turki

Penelitian ini mengkaji keberadaan trihalomethane di Provinsi Zongdulak, Turki dengan sumber air baku yang digunakan untuk pengolahan air minum berasal dari Bendungan Ulutan dan Bendungan Kizilcapinar. Nilai konsentrasi THM berada pada kisaran nilai median 41-71 µg/L dengan spesies THM dominan yaitu kloroform diikuti bromodiklorometana, dibromodiklorometana, dan tribromometana. Parameter dominan THM di lokasi penelitian adalah kandungan bahan organik alami yang direpresentasikan oleh TOC, UV254, dan SUVA [12].

Studi kasus nilai THM di Addis Ababa, Ethiopia

Penelitian ini dilakukan di kota Addis Ababa, Ethiopia dengan sumber air baku yang berasal dari sistem air permukaan Legedadi dan Gefersan serta sistem air tanah, hasil menunjukkan bahwa nilai THM berada pada rentang 76,3 – 97,4 µg/L. Parameter dominan yang menyebabkan terbentuknya THM di lokasi tersebut adalah sisa klorin dan UV 254 (sebagai indikator organik alami, tingginya kadar THM di lokasi tersebut disebabkan oleh kandungan organik tinggi di dalam air baku [27].

Studi kasus nilai THM di Skala Regional beberapa Negara

Penelitian ini dilakukan pada skala regional beberapa negara, hasil menunjukkan adanya nilai yang bervariasi dari setiap negara, Siprus (11,7 µg/L), Malta (49,4 µg/L), Irlandia (47,3 µg/L), Spanyol (28,8 µg/L), Yunani (26,3 µg/L), Denmark (0,02 µg/L) dan Belanda (0,2 µg/L). Tingginya kadar THM pada lokasi tersebut disebabkan adanya klorin pada sumber air dengan prekursor dominan organik dan bromide [28].

Studi kasus nilai THM di Madrid, Spanyol

Penelitian ini mengevaluasi senyawa trihalometana di kota Madrid, Spanyol. THM di Kota ini terbentuk akibat reaksi antara desinfeksi dengan bahan organik alami yang ada di sumber air permukaan sehingga menghasilkan produk samping seperti kloroform, dibromodiklorometan, bromoform, dan bromodiklorometana dimana kloroform menjadi komponen THM yang paling dominan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi total rata-rata sebesar sekitar 33,1 µg/L dengan rentang nilai 4,5 sampai 74,2 µg/L. Variasi spasial menunjukkan bahwa THM lebih tinggi di pusat kota dibandingkan distrik pinggiran. Penyebab utama tingginya THM di lokasi tersebut akibat adanya NOM dalam air baku [29].

Studi kasus nilai THM di Iran bagian Utara

Artikel ini membahas keberadaan trihalometan sebagai produk samping desinfeksi pada sistem distribusi air minum di wilayah Iran bagian utara, yang menggunakan proses klorinasi untuk pengendalian mikrobiologis. Lokasi penelitian mencakup beberapa kota di wilayah pesisir laut kaspia, yang sumber air bakunya didominasi oleh air permukaan dan air tanah dengan kandungan bahan organik alami (*Natural Organic Matter/NOM*) yang relatif tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan THM

terutama dipengaruhi oleh parameter dominan berupa konsentrasi (TOC/DOC), dosis klorin, waktu kontak, suhu air, serta nilai pH, Dimana peningkatan parameter – parameter tersebut berasosiasi dengan kenaikan kadar THM. Penyebab tingginya THM di lokasi penelitian adalah reaksi antara klorin dengan NOM dalam air baku, yang diperkuat oleh suhu lingkungan yang relative tinggi dan lamanya waktu tinggal air dalam jaringan distribusi. Kloroform menjadi spesies THM paling dominan, diikuti bromodiklorometana dan dibromoklorometana [30].

8. Perbandingan Kadar THM di Negara Tropis dan Non-tropis

Berdasarkan berbagai studi kasus yang dirangkum, nilai trihalometan di daerah tropis umumnya menunjukkan potensi dan konsentrasi yang lebih tinggi serta lebih bervariasi dibandingkan daerah non tropis, terutama akibat karakteristik iklim dan sumber air baku. Di wilayah tropis seperti (Pulau Jawa, Sumatera, Riau), Thailand, Sri Lanka, dan Brazil, pembentukan THM didominasi oleh tingginya kandungan bahan organik alami (NOM) yang bersifat humat dan aromatik, yang berasal dari lahan gambut, limpasan permukiman, pertanian, serta pencemaran domestik, diperkuat oleh suhu lingkungan yang tinggi sehingga mempercepat reaksi antara klorin dan presursor organik. Nilai THM di daerah tropis dilaporkan berkisar dari belasan $\mu\text{g/L}$ hingga sangat tinggi, bahkan THMFP mencapai 250,7 – 1167,8 $\mu\text{g/L}$ di kawasan gambut Indragiri Hilir, serta konsentrasi THM hingga 189,52 $\mu\text{g/L}$ di Chiang Mai, Thailand dengan kloroform sebagai spesies dominan.

Sebaliknya, di wilayah non tropis seperti Eropa, Amerika Utara, dan sebagian Asia Timur, nilai THM umumnya berada pada kisaran lebih rendah dan terkendali yakni sekitar 0 – 100 $\mu\text{g/L}$. Banyak negara Eropa (Denmark, Belanda, Siprus, Spanyol) menunjukkan konsentrasi rata – rata di bawah 50 $\mu\text{g/L}$, meskipun beberapa lokasi tertentu (misalnya Iran Utara atau Addis Ababa) mendekati batas baku mutu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa iklim tropis, dominasi NOM humat, serta suhu tinggi merupakan faktor kunci yang menyebabkan kecenderungan nilai THM lebih tinggi di daerah tropis, sementara di daerah non – tropis pembentukan THM lebih dipengaruhi oleh kualitas air baku, praktik pengolahan, dan pengendali prekursor organik yang relatif lebih baik.

9. Daftar Pustaka

- [1] Fadhillah, A., & Haribowo, R. (2023). Analisis Kualitas Air berdasarkan Tata Guna Lahan di Sungai Bango. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 104-112.
- [2] Josopandojo, B., & Purnomo, A. (2021). Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D53-D58.
- [3] Awad, J., Leeuwen, J.V., Chow, C., Drikan, M., Smernik, R.J., Chittleborough, D.J., & Bestland, E. (2016). *Characterization of Dissolved Organic Matter for Prediction of Trihalomethane Formation Potential in Surface and sub-Surface*. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 430 – 439.
- [4] Liu, R., Tian, C., Hu, C., Qi, Z., Liu, H., & Qu, J. (2018). Effects of bromide on the formation and transformation of disinfection by-products during chlorination and chloramination. *Science of the Total Environment*, 625, 252-261.
- [5] Kujlu, R., Mahdavianpour, M., & Ghanbari, F. (2020). Multi-route human health risk assessment from trihalomethanes in drinking and non-drinking water in Abadan, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42621-42630.
- [6] Helte, E., Söderlund, F., Säve-Söderbergh, M., Larsson, S. C., & Åkesson, A. (2025). Exposure to drinking water trihalomethanes and risk of cancer: a systematic review of the epidemiologic evidence and dose–response meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 133(1), 016001.
- [7] Kothe, A., Wachasunder, N., Rodge, A., Labhasetwar, P., & Maldhure, A. (2024). Trihalomethanes in developed and developing countries. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(1), 17.
- [8] Adityosulindro, S., Hartono, D. M., & Moersidik, S. S. (2024). Analysis of Natural Organic Matter as Precursors of Trihalomethanes and Its Removal in Water Treatment Plant. *EnvironmentAsia*, 17(1).
- [9] Dirgawati, M., & Sururi, M. R. (2023). Characteristics of Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Forming Potential Occurrence in Watersheds with Different Upstream Land Use: 10.32526/enrj/21/202200179. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(2), 140-152.
- [10] Sururi, M. R., Notodarmojo, S., & Roosmini, D. (2019). Aquatic organic matter characteristics and THMFP occurrence in a tropical river. *International Journal of GEOMATE (Geotechnique, Construction Material & Environment)*, 17(63), 203-211.

- [11] Watts III, T. E., Snow, R. A., Brown, A. W., York, J. C., Fantom, G., Simone Jr, P. S., & Emmert, G. L. (2015). Using automated on-site monitoring to calibrate empirical models of trihalomethanes concentrations in drinking water. *Beverages*, 1(4), 225-247.
- [12] Özdemir, K., & Özdoğan, N. (2025). Analysis of Trihalomethanes in Drinking Water Distribution Lines and Assessment of Their Carcinogenic Risk Potentials. *Sustainability*, 17(17), 7618.
- [13] Sriboonnak, S., Induvesa, P., Wattanachira, S., Rakruam, P., Siyasukh, A., Pumas, C., ... & Khan, E. (2021). Trihalomethanes in water supply system and water distribution networks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9066.
- [14] Xu, Z., Shen, J., Qu, Y., Chen, H., Zhou, X., Hong, H., ... & Wu, F. (2022). Using simple and easy water quality parameters to predict trihalomethane occurrence in tap water. *Chemosphere*, 286, 131586.
- [15] Amarasooriya, A. A. G. D., Weragoda, S. K., Makehelwala, M., & Weerasooriya, R. (2018). Occurrence of trihalomethane in relation to treatment technologies and water quality under tropical conditions. *H2Open Journal*, 1(1), 69-83.
- [16] Langsa, M. H., Ramadhanty, P. W., & Pulung, M. L. (2023). Potensi Pembentukan Trihalometana (THM) Selama Proses Klorinasi pada Air Sungai Maruni dan Air Kali SP 6 di Kabupaten Manokwari. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 7(3), 265-272.
- [17] Richardson, S. D., & Postigo, C. (2011). Drinking water disinfection by-products. In *Emerging organic contaminants and human health* (pp. 93-137). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [18] Feng, C., Liu, T., Shi, Y., Shen, J., Yuan, L., & Guo, Y. (2025). Formation of AOX and Cl/Br/I-THMs During NaClO Disinfection: A Comprehensive Study. *Water*, 17(17), 2563.
- [19] Liu, Z. Q., Shah, A. D., Salhi, E., Bolotin, J., & von Gunten, U. (2018). Formation of brominated trihalomethanes during chlorination or ozonation of natural organic matter extracts and model compounds in saline water. *Water research*, 143, 492-502.
- [20] Ma, D., Gao, B., Wang, Y., Yue, Q., & Li, Q. (2015). Factors affecting trihalomethane formation and speciation during chlorination of reclaimed water. *Water Science and Technology*, 72(4), 616-622.
- [21] Siri, A., Wangsawang, S., Wongrueng, A., Chomsuwan, S., Eujongdee, C., & Induvesa, P. (2025). Investigating the impact of bromide ions and surrogate water parameters on the formation potential of halogenated trihalomethanes in water treatment plants in Thailand. *Journal of Ecological Engineering*, 26(3).
- [22] Özdemir, K., & Özdoğan, N. (2025). Analysis of Trihalomethanes in Drinking Water Distribution Lines and Assessment of Their Carcinogenic Risk Potentials. *Sustainability*, 17(17), 7618.
- [23] Oktaviani, V., Syam, R., Diamah, A., Anugraha, R. M., & Yusup, F. M. (2023, October). Penyuluhan Penggunaan Nano Filter Untuk Penyediaan Air Bersih Di Wilayah Desa Pantai Sederhana Kecamatan Muara Gembong Kabupaten Bekasi. In *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 4, pp. SNPPM2023ST-62).
- [24] Zulfikar, M. A., Enriyani, R., & Alni, A. (2022). Degradasi Asam Humat menggunakan Fotokatalis TiO₂ yang Disintesis Dalam Cairan Ion 1-Butil-3-Metil-Imidazolium Tetrafluoroborat. *Warta Akab*, 46(1).
- [25] Richardson, S. D., & Postigo, C. (2011). Drinking water disinfection by-products. In *Emerging organic contaminants and human health* (pp. 93-137). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [26] Laolertworakul, W., Jutaporn, P., Tungsudjawong, K., Leungprasert, S., & Khongnakorn, W. (2020). Assessing Trihalomethanes (THMs) Formation Potential in a Water Supply Plant Using Fluorescence Excitation-Emission Matrix. *Science and Engineering Connect*, 43(3), 257-276.
- [27] Tafesse, N., Porcelli, M., Hirpessa, B. B., Gasana, J., Padhi, R.K., Robele, S., & Ambelu, A. (2023). Trihalomethanes and Physicochemical Quality of Drinking Water in Addis Ababa, Ethiopia. *Heliyon*, 9(9).
- [28] Evlampidou, I., Font-Ribera, L., Rojas-Rueda, D., Gracia-Lavedan, E., Costet, N., Pearce, N., ..., & Villanueva, C.M. (2020). Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. *Environmental health perspectives*, 128(1), 017001.
- [29] Almonacid Garrido, M. C., Villanueva-Suárez, M. J., Álamo Gómez, A., Garcia-Alonso, A., & Tenorio Sanz, M. D. (2024). Trihalomethane levels in municipal drinking water of Madrid (Spain) and health risk assessment for oral exposure. *Exposure and Health*, 16(4), 911-924.

-
- [30] Kalankesh, L.R., Zazouli, M.A., Susanto, H., & Babanezhad, E. (2021). Variability od TOC and DBPs (THMs and HAA5) in drinking Water Sources and Distribution system in drought season: the North Iran Cse Study. Environmental technology.