

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Natural Organic Matter* (NOM)

*Natural Organic Matter* (NOM) adalah campuran heterogen dari senyawa organik alami yang ditemukan berlimpah di perairan alami dan berasal dari tumbuhan, hewan, mikroorganisme serta produk degradasi dari sumber-sumber tersebut. Selain masalah estetika seperti warna, rasa dan bau, NOM juga berkontribusi pada pengotoran selaput, berfungsi sebagai prekursor untuk pembentukan produk sampingan desinfeksi (DBPs) yang menjadi perhatian kesehatan selama proses desinfeksi/oksidasi dan meningkatkan tingkat kelelahan dan penggunaan karbon aktif (Baghoth, 2012).

*Natural Organic Matter* (NOM) terjadi dalam bentuk yang tidak larut, larut dan koloid. NOM dalam air tanah dan air permukaan terdiri dari campuran heterogenik yang kompleks termasuk asam humat atau fulvat, asam organik berat molekul rendah, karbohidrat, protein dan senyawa dari kelas lain. Bahan organik di lingkungan dapat dibagi menjadi dua kelas utama senyawa: zat non-humat, seperti protein, polisakarida, asam nukleat, asam amino dan lain-lain, dan zat humat (Albrektiene dkk., 2012). NOM terdiri dari berbagai senyawa yang berbeda, dari aromatik yang sangat alifatik sampai yang sangat berwarna. Beberapa bahan organik ini bermuatan negatif yang terdiri dari berbagai macam komposisi kimia dan ukuran molekul (Thurman, 1985).

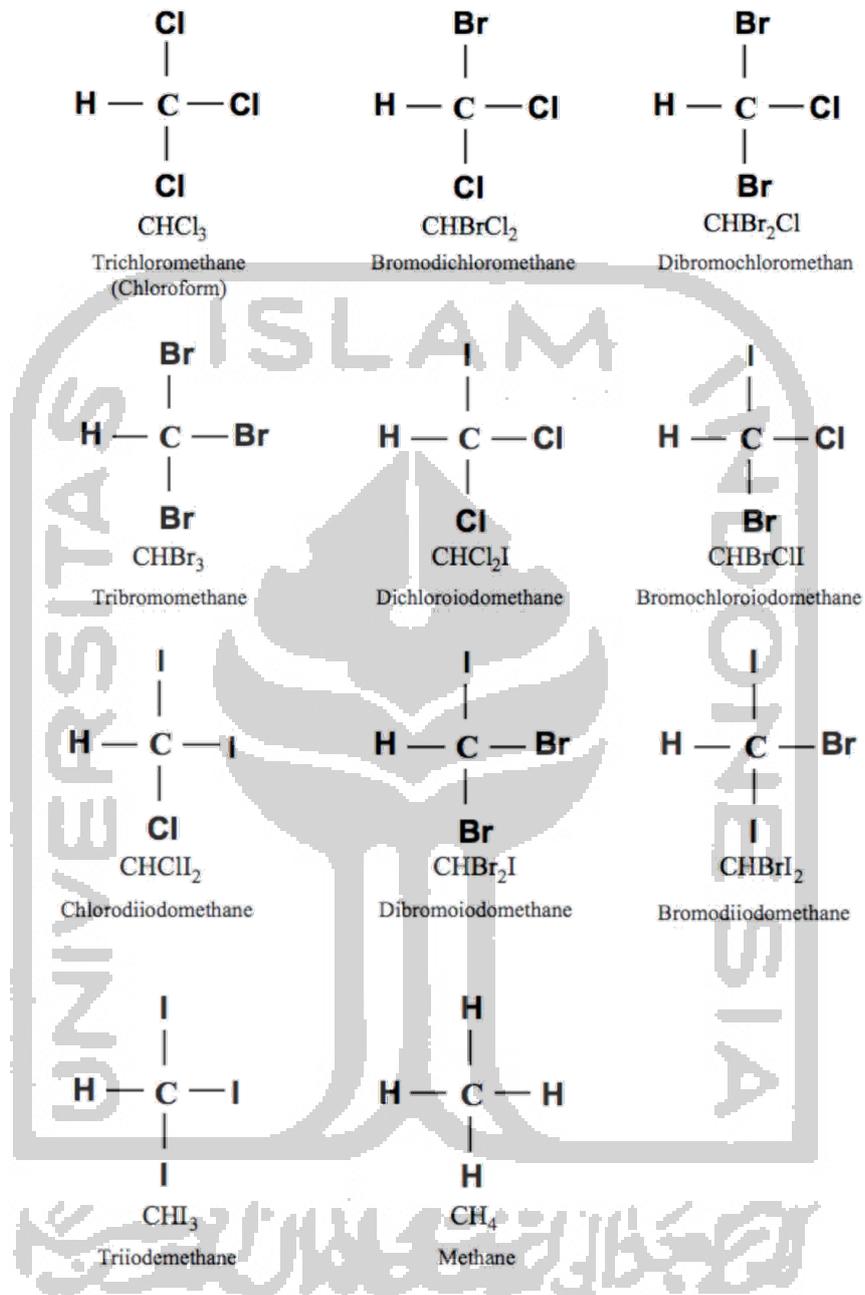
Menurut Filella (2009), NOM terbagi menjadi dua klasifikasi yaitu berdasarkan asal atau sumber air dan operasionalnya. Berdasarkan asal atau sumber air terdiri dari *pedogenic organic matter (allochthonous)* dan *aquogenic organic matter (autochthonous)*. Perbedaan keduanya dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.1** Klasifikasi NOM Berdasarkan Asal atau Sumber Air

<i>pedogenic organic matter (allochthonous)</i>	<i>aquogenic organic matter (autochthonous)</i>
bahan organik yang berasal dari dekomposisi tumbuhan dengan karakteristik kompleks ( <i>higher plants</i> ) oleh bakteri dan jamur dan terbawa aliran air hujan dari tanah menuju badan air.	terbentuk dalam massa air itu sendiri, atau di hulu badan air, pada dasarnya dari ekskreta atau dekomposisi plankton dan bakteri akuatik.

NOM yang tidak terdegradasi dalam proses desinfeksi dapat bereaksi dengan klor sehingga membentuk produk sampingan (*disinfectant by-products*), yaitu *trihalomethanes* (THMs), *haloacetonitriles* (HANs) dan *haloacetic acid* (HAA) (Zainudin dkk., 2016).

*Trihalomethanes* adalah senyawa organik derivat metan ( $\text{CH}_4$ ) yang mana tiga buah atom Hidrogen (H)nya diganti oleh atom halogen yakni klor (Cl), Brom (Br), Iodium (I). Beberapa senyawa *trihalomethanes* yang umum dijumpai antara lain yakni khloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), dibromokhlorometan ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ), bromoform ( $\text{CHBr}_3$ ). Jumlah total ke tiga senyawa tersebut sering disebut total *trihalomethane* (TTHM). Selain ke tiga senyawa tersebut di atas masih ada beberapa senyawa *trihalomethane* lainnya tetapi biasanya kurang stabil. Senyawa *precursors trihalomethanes* adalah senyawa-senyawa yang secara potensial dapat menyebabkan terjadinya THMs. Salah satu *precursor* THMs adalah senyawa humus (*Humic and Fulvic Substances*) yang secara alami terbentuk akibat proses pelapukan daun-daun yang gugur atau sisa tumbuh-tumbuhan yang telah mati oleh aktivitas mikroorganisme (Said, 2008). Gambar 2.1 merupakan jenis-jenis senyawa *trihalomethanes*, akibat reaksi dengan senyawa klor dalam proses klorinasi.

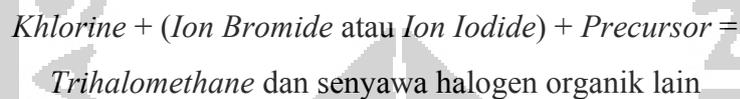


Gambar 2.1 Jenis Senyawa *Trihalomethanes*

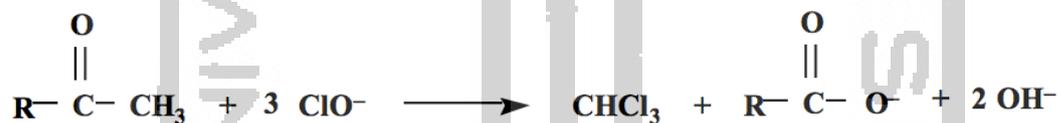
Dalam pembentukan THM faktor penting yang menentukan yaitu konsentrasi senyawa organik dalam air. Senyawa yang merupakan prekursor dengan potensi besar membentuk THM adalah senyawa organik hidrofobik (mengandung komponen aromatik, sedikit asam karboksilat, dan berat molekul tinggi) daripada senyawa organik hidrofilik. Faktor lain yang mempengaruhi

pembentukan THM adalah waktu kontak antara air dengan klorin, dimana pada 10 jam pertama kontak, pembentukan THM jauh lebih cepat daripada waktu setelahnya. Faktor lainnya yang juga berpengaruh yaitu pH, dimana pH pembentukan THM yang optimal yaitu pada pH 6 hingga 8. Temperatur optimal pembentukan THM yaitu pada air hangat daripada pada air dingin (Tanukusuma, 2018).

Secara umum reaksi pembentukan THMs dapat digambarkan sebagai berikut :



Di dalam proses disinfeksi (proses suci hama), senyawa disinfektant misalnya *chlorine* ( $\text{Cl}_2$ ), dapat bereaksi dengan senyawa organik yang ada dalam air. Pertama *chlorine* akan bereaksi dengan air membentuk ion  $\text{ClO}^-$ , kemudian ion  $\text{ClO}^-$  akan bereaksi dengan senyawa organik yang ada dalam air membentuk senyawa halogen organik termasuk THMs. Reaksinya secara sederhana dapat digambarkan sbb :



Hampir semua senyawa organik kompleks dapat teroksidasi dan menghasilkan senyawa methilketon, yang kemudian bereaksi dengan ion  $\text{ClO}^-$  membentuk senyawa *trihalomethanes* (THMs) (Said, 2008).

## 2.2 Karakterisasi *Natural Organic Matter* (NOM)

Kandungan NOM dalam air dapat diidentifikasi menggunakan beberapa parameter uji. Dari masing-masing parameter mempresentasikan karakteristik NOM yang berbeda. Dalam studi karakterisasi NOM, salah satu kesulitan yang dihadapi adalah beragamnya nama dan akronim yang digunakan. Keragaman tersebut hanya mencerminkan berbagai pendekatan yang diterapkan pada studi NOM dan hanya mengarah ke definisi saja. Sedangkan untuk pengukuran fraksi

secara operasional berbeda. Akibatnya, pilihan metode terbaik yang akan digunakan dan fraksi terbaik untuk dikerjakan dalam studi kasus tertentu menjadi sulit (Filella, 2009).

### 2.2.1 *Ultraviolet-Visible (UV-Vis)*

Spektrofotometri *UV-Visible* dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas, atau uap. Pada umumnya sampel harus diubah menjadi suatu larutan yang jernih. Sinar ultraviolet (UV) mempunyai rentang panjang gelombang dari 100-400 nm, sedangkan sinar tampak (Vis) 400-750 nm, sinar dimulai dari tidak berwarna-ungu-merah. Umumnya senyawa organik yang hanya memiliki ikatan sigma, akan mengabsorpsi panjang gelombang UV pada panjang gelombang di bawah 200 nm; absorpsi pada panjang gelombang tersebut disebut dengan absorpsi di daerah ultraviolet vakum (daerah di bawah 200 nm) merupakan daerah yang sukar memperoleh informasi mengenai struktur molekul organik; sedangkan molekul organik yang memiliki ikatan pi atau memiliki elektron non ikatan akan mengabsorpsi pada panjang gelombang yang lebih besar (Suhartati, 2017).

Seperti yang ditunjukkan oleh banyak penelitian, spektrum UV-Vis NOM biasanya luas dan hampir tanpa fitur karena jumlah jenis kromofor yang mungkin besar dan tidak ada yang memiliki spektrum yang mudah dibedakan. Beberapa rasio absorbansi UV-Vis telah diusulkan untuk mengkarakterisasi profil spektrometri NOM dalam tanah. Namun, sebagian besar penelitian akuatik memiliki pengumpulan data terbatas pada absorbansi pada 254 nm, yang berfungsi sebagai indikator kasar konsentrasi NOM keseluruhan (Leenheer, 2003).

Daya serap UV pada 280 nm mewakili aromatisitas total, karena transisi elektron  $\pi-\pi^*$  terjadi di wilayah UV ini (sekitar 270-280 nm) yang umum untuk arena fenolik, asam benzoat, turunan anilin, poliena, dan hidrokarbon aromatik poliklik dengan dua atau lebih cincin dan juga

absorbansi spesifik A<sub>280</sub> dapat digunakan untuk mengkarakterisasi penghancuran gambut. Banyak dari senyawa ini dianggap sebagai sub unit struktural umum dalam materi humik dan E<sub>2</sub> / E<sub>3</sub> karena rasio absorbansi diukur pada 250 dan 365 nm sesuai dengan korelasi ukuran molekul dan aromatisitas. Untuk menggambarkan aromatisitas asam humat dengan daya serap UV pada 280 nm juga daya serap pada 254 nm digunakan (Purmali & Klavins, 2013).

Hubungan E<sub>4</sub> / E<sub>6</sub> (rasio absorbansi pada 465 nm dan 665 nm) terkait dengan aromatisitas dan tingkat kondensasi rantai karbon aromatik dari asam humat, dan dapat digunakan sebagai indeks humifikasi. Rasio E<sub>4</sub> / E<sub>6</sub> yang rendah mencerminkan tingkat kondensasi yang tinggi dari struktur-struktur ini sementara rasio yang tinggi berarti adanya sejumlah besar struktur alifatik dan jumlah rendah struktur aromatik yang terkondensasi. Rasio ini juga berbanding terbalik dengan tingkat aromatik, ukuran partikel, berat molekul, dan keasaman. Biasanya E<sub>4</sub> / E<sub>6</sub> lebih besar untuk bahan non-humik dengan adanya protein dan karbohidrat, yang meningkatkan daya serap pada wilayah UV spektrum (Purmali & Klavins, 2013). Berikut merupakan ringkasan data terkait yang dikumpulkan dari berbagai literatur tercantum pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Karakteristik Spektroskopi UV-vis pada Humik Akuatik

Panjang Gelombang	Korelasi Karakteristik	Referensi
254 nm	Aromatik	Mrkva, 1983; Reynolds and Ahmad, 1997
272, 280 nm	Aromatik, berat molekul	Traina <i>et al.</i> , 1990, Chin <i>et al.</i> , 1994, Li <i>et al.</i> , 1998
250/365 (E <sub>2</sub> /E <sub>3</sub> )	Aromatik, berat molekul, humifikasi	Peuravuori and Pihlaja, 1997
465/665 (E <sub>4</sub> /E <sub>6</sub> )	Humifikasi, berat molekul	Bloom and Leenheer, 1989; Stevenson, 1982; Chen <i>et al.</i> , 1977.

### 2.2.2 Parameter Lapangan

Parameter lapangan merupakan sejumlah indikator untuk menggambarkan kondisi sampel uji pada lokasi pengambilannya. Parameter lapangan yang diuji pada penelitian ini yaitu pH, suhu, dan TDS. Dilakukan parameter lapangan untuk mengetahui kondisi awal yang menunjukkan karakteristik fisik dan kimia air.

Derajat keasaman atau pH menjadi parameter kimia sampel yang menggambarkan keberadaan ion hidrogen ( $H^+$ ) bebas yang terkandung dalam air. Sementara itu, zat organik merupakan kumpulan senyawa yang pada dasarnya mengandung ion-ion atau unsur organik alam seperti karbon, nitrogen, sulfur, hidrogen, dan fosfor. Hal ini menunjukkan bahwa nilai derajat keasaman (pH) tidak dapat mengindikasikan keberadaan senyawa organik secara langsung, namun kondisi pH air dapat mempengaruhi reaksi kimia, toksisitas senyawa, dan proses biokimia dalam air (Effendi, 2003).

Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Namun, peningkatan suhu ini disertai dengan penurunan kadar oksigen terlarut sehingga keberadaan oksigen sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan oksigen bagi organisme akuatik untuk melakukan proses proses metabolisme dan respirasi. Peningkatan suhu juga menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Effendi, 2003).

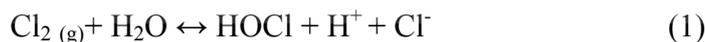
Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solid*) merupakan bahan-bahan terlarut dalam air yang tidak tersaring dengan kertas saring millipore dengan ukuran pori 0,45  $\mu m$ . Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang terlarut dalam air, mineral dan garam-garamnya (Bassett, 1994). Padatan terlarut anorganik dianggap kombinasi garam terlarut yang ditemukan dalam air alami. Penjumlahan

dari konsentrasi ion-ion utama yang ditemukan dalam air dapat dan kadang-kadang digunakan untuk memperkirakan total padatan terlarut (TDS). Ion-ion utama ini adalah sebagai berikut: Natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), kalsium ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{++}$ ), karbonat ( $\text{CO}_3$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), sulfat ( $\text{SO}_4$ ), dan klorida ( $\text{Cl}^-$ ). Kelimpahan relatif ion-ion ini dalam air alami dan cara kontribusi mereka sangat bervariasi. Bahan organik yang larut dalam air sangat bervariasi untuk komposisi dan konsentrasi. Mungkin yang paling penting dalam skala besar adalah asam humat dan fulvat makromolekul dan senyawa serupa yang bertahan di lingkungan sebagai produk degradasi bahan tanaman. Senyawa-senyawa ini dapat berfungsi sebagai zat pengkelat atau pengompleks untuk logam dan nutrisi, dan telah terbukti efektif dalam melarutkan hidrokarbon teroksidasi (Sorensen dkk., 1977).

### 2.3 Klorinasi

Desinfeksi adalah memusnahkan mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit. Desinfeksi merupakan benteng manusia terhadap paparan mikro-organisme patogen penyebab penyakit, termasuk di dalamnya virus, bakteri dan protozoa parasit (Said, 2008).

Klorinasi merupakan salah satu bentuk pengolahan air yang bertujuan untuk membunuh kuman dan mengoksidasi bahan-bahan kimia dalam air. Klorinasi (*chlorination*) adalah proses pemberian klorin ke dalam air yang telah menjalani proses filtrasi dan merupakan langkah yang maju dalam proses purifikasi air. Di dalam air, klorin akan bereaksi dengan air akan menghasilkan Asam Hipoklorit ( $\text{HOCl}$ ) dengan reaksi sebagai berikut:



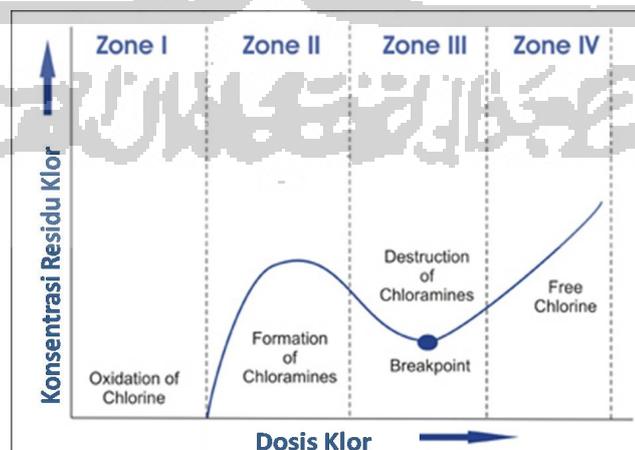
$\text{HOCl}$  adalah asam lemah:



Reaksi (1) yaitu reaksi gas klor dengan air, akan mengakibatkan pH air akan menurun karena dihasilkan ion  $\text{H}^+$ , sebaliknya reaksi (3) yaitu reaksi kaporit

dengan air, pH air akan naik karena dihasilkan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang bersifat basa (alkalis).  $\text{HOCl}$  dan  $\text{OCl}^-$  adalah klor aktif atau disebut klor bebas.  $\text{HOCl}$  merupakan sisa klor bebas yang paling efektif sebagai desinfektan dibandingkan dengan  $\text{OCl}^-$  sebagai bentuk klor bebas yang kedua. Sedangkan  $\text{Cl}^-$  merupakan klor yang tidak aktif.  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ , dan  $\text{OCl}^-$  merupakan sisa klor aktif yang bersifat toksik bagi kuman. Daya bunuh  $\text{HOCl}$  terhadap golongan coliform kurang lebih 80-100 kali lebih kuat daripada  $\text{OCl}^-$ , keaktifannya tergantung pH dan suhu. Kualitas desinfektan dari asam hipoklorit akan memikat pada pH yang rendah yaitu dibawah 7,5. Pada pH sampai dengan 6,7 pada umumnya 90% klorin akan membentuk  $\text{HOCl}$  (Sugiarti dkk., 2011).

*Breakpoint Chlorination* (BPC) adalah jumlah klor yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik, anorganik, dan amoniak. Peristiwa tersebut diikuti dengan pembentukan gas  $\text{N}_2$  akibat paparan klor yang berlebih pada kloramin. Sehingga terjadi penurunan jumlah klor bebas dan masih ada residu klor aktif yang konsentrasinya dianggap perlu sebagai desinfektan. Dengan kata lain, jumlah klor yang dibutuhkan untuk membunuh bakteri koliform (desinfektan) adalah jumlah residu setelah terjadi BPC (Alaert & Santika, 1984). Hubungan antara dosis penambahan klor dengan residu klor aktif membentuk suatu grafik klorinasi. Pada Gambar 2.2, menunjukkan reaksi yang terjadi dari mulai penambahan klor dibagi menjadi empat tahap reaksi sebagai berikut.



**Gambar 2.2** Grafik *Breakpoint Chlorination*

(Sumber: Winarno, 1992)

Berdasarkan Gambar 2.2, pada zona I terjadi oksidasi klorin. Pada zona II merupakan tahap terbentuknya senyawa kloramin dan kloro-organik, atau terbentuknya *combined available chlorine* (klor tersedia terikat). Pada tahap ini akan terjadi reaksi antara amoniak dan klor menjadi kloramin, serta senyawa organik dengan klor menjadi kloro-organik (Metcalf & Eddy, 1991). Pada zona III kloramin mulai terurai dan berkurang. Pada tahap ini juga terdapat BPC, yang merupakan jumlah klor yang dibutuhkan. Pada zona IV terjadi pembentukan klorin bebas.



## 2.4 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.3 dibawah ini merupakan penelitian yang pernah dilakukan terkait karakteristik *Natural Organik Matter* (NOM).

**Tabel 2.3** Rangkuman Penelitian

No.	Penulis	Judul	Tahun	Hasil (Rangkuman)
1	Rizqo, Robitur	Karakterisasi <i>Natural Organic Matter</i> (NOM) Influen PDAM Tirta Binangun, Kulonprogo, D.I. Yogyakarta	2018	Setiap sumber air memiliki karakteristik NOM yang berbeda, didukung oleh karakteristik fisika dan kimia yang relatif normal bagi perairan alami. Bahan organik didominasi oleh senyawa aromatik yang terlarut, tergolong <i>humic acid</i> dan <i>fulvic acid</i> . Ada 2 jenis asal terbentuknya kandungan organik pada sumber air, yaitu dari massa badan air waduk itu sendiri ( <i>autochthonous</i> ), dan <i>pedogenic</i> atau dekomposisi tumbuhan disekitarnya ( <i>allochthonous</i> ).
2	Matilainen <i>et al.</i>	<i>An Overview of The Methods Used in The Characterisation of Natural Organic Matter (NOM) in Relation to Drinking Water Treatment.</i>	2011	Sifat dan karakter, serta jumlah NOM dalam air baku, tergantung pada geologi, topografi, dan iklim. Perubahan iklim jelas berdampak, yang menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah dan kualitas NOM didalam air. Isolasi, konsentrasi, dan fraksinasi NOM sering terjadi diimplementasikan sebelum melakukan prosedur analitik. Isolasi dan fraksinasi resin diterima secara luas sebagai metode pretreatment sebelum dianalisis lebih lanjut dengan HPSEC atau FTIR.
3	Nkambule <i>et al.</i>	<i>Characterisation of Natural Organic Matter (NOM) and its Removal Using Cyclodextrin Polyurethanes</i>	2009	Polimer menunjukkan potensi yang relatif rendah untuk menghilangkan fraksi NOM dari air sumber, fraksi dasar hidrofobik menunjukkan penghapusan 24%. Pra-perawatan sampel dengan dosis ozon yang berbeda untuk memecah NOM. Air olahan pasca-ozon ini kemudian akan dilewatkan melalui polimer siklodextrin untuk mengevaluasi efisiensi proses pemindahan gabungan ini.

No.	Penulis	Judul	Tahun	Hasil (Rangkuman)
4	Yee <i>et al.</i>	<i>Hydrophobicity Characteristics of Natural Organic Matter and The Formation of THM</i>	2009	Pembentukan THM dalam air yang diolah tergantung pada kualitas air baku, terutama konsentrasi NOM. Karakterisasi NOM dari penelitian ini menunjukkan bahwa HPOA dan HPIN adalah prekursor utama untuk pembentukan THM. Pengembangan filtrasi membran dapat menjadi pilihan bagi utilitas untuk mengontrol formasi THM dalam air minum.
5	Kim, H.C. & Yu, M.J.	<i>Characterization of NOM in The Han River and Evaluation of Treatability Using UF-NF Membrane</i>	2005	Bahan organik alami (NOM) dari air mentah dan air proses di pabrik pengolahan air konvensional diisolasi menjadi fraksi hidrofobik dan hidrofilik dengan metode fraksinasi fisikokimia untuk menyelidiki karakteristiknya. Potensi pembentukan <i>trihalomethanes</i> (THMs) sangat dipengaruhi oleh fraksi hidrofobik, sedangkan potensi pembentukan asam haloasetat (HAAFP) lebih bergantung pada fraksi hidrofilik.
6	Marais <i>at al.</i>	<i>Assessment of Trihalomethane (THM) Precursors Using Specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) and Molecular Size Distribution (MSD)</i>	2019	Absorbansi ultraviolet spesifik (SUVA) dan distribusi ukuran molekul (MSD) adalah teknik karakterisasi NOM utama yang digunakan selama penelitian ini. MSD diselidiki dengan memanfaatkan kromatografi eksklusi ukuran kinerja tinggi (HPSEC). Hasil MSD menunjukkan korelasi yang signifikan antara fraksi tinggi-molekul-berat (HMW) dari pembentukan NOM dan TTHM, khususnya selama bulan-bulan musim panas.