

Kajian Penyisihan Amonia dalam Pengolahan Air Minum Konvensional

Matthew Christian Hamonangan dan Adhi Yuniarto

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)

e-mail: adhy@its.ac.id

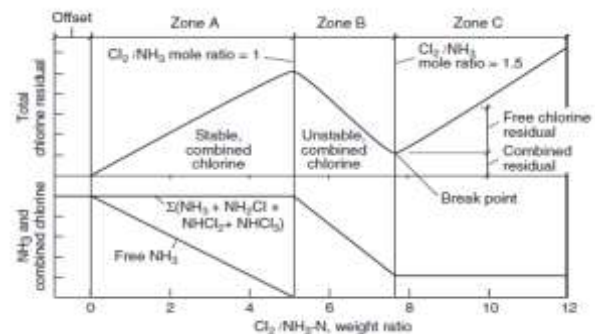
Abstrak—Kebutuhan air minum dipenuhi dengan pengolahan air minum menggunakan air baku berupa air permukaan dan air tanah. Salah satu pencemar utama air baku adalah amonia, yang dapat menyebabkan berbagai masalah, baik bagi kehidupan perairan, kesehatan manusia, dan kinerja pengolahan air minum. Terdapat 5 teknologi pengolahan air yang dapat menyisihkan amonia secara efektif, yaitu: (1) proses biologis, (2) *breakpoint chlorination* (BPC), (3) filtrasi membran *reverse osmosis* (RO), (4) proses *ion exchange* (IE), dan (5) proses *air stripping*. Proses biologis dan BPC dinilai sebagai 2 teknologi paling efisien dalam penyisihan amonia dengan keefektifannya relatif tinggi dan biaya relatif murah. Proses RO dan IE dapat menyisihkan amonia dalam bentuk amonium secara efektif, tetapi butuh biaya lebih tinggi. Penyisihan amonia dengan proses *air stripping* efektif pada konsentrasi tinggi yang tidak ditemukan pada air baku. Penyisihan amonia pada pengolahan air minum konvensional dinilai tidak efektif. Koagulan bermuatan positif tidak bereaksi dengan amonia berbentuk amonium dan unit filtrasi konvensional dengan media inert utamanya menyisihkan partikel tersuspensi. Klorin dan ozon adalah 2 desinfektan yang dapat menyisihkan amonia, tetapi ozon bersifat tidak stabil sehingga jarang digunakan. Klorin dapat menyisihkan amonia secara efektif, tetapi dosis klorin berlebihan dapat membentuk produk sampingan desinfeksi yang berbahaya.

Kata Kunci—Air Baku, Amonia, Biofiltrasi, Klorinasi, Pengolahan Air Minum Konvensional, Penyisihan Amonia.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN air minum manusia terutama melalui jaringan perpipaan dipenuhi dengan pengolahan air minum dengan air permukaan dan air tanah sebagai air baku [1]. Air permukaan lebih mudah diakses tetapi mudah tercemar [2]. Air tanah berkualitas lebih baik tetapi mudah dieksploitasi berlebihan sehingga pencemar dapat masuk [3]. Amonia adalah gas nitrogen anorganik tidak berwarna dan berbau menyengat, dianggap sebagai salah satu pencemar utama perairan karena toksisitasnya tinggi, keberadaannya banyak pada air permukaan, dan mobilitas dalam perairan kuat [4-5]. Kadar alami amonia dalam perairan relatif rendah, tetapi limbah kegiatan manusia dapat meningkatkan kadarnya, seperti industri dan domestik [6].

Amonia berlebihan pada perairan dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti eutrofikasi yang merusak kehidupan perairan [7]. Paparan amonia berlebihan dapat menyebabkan berbagai penyakit bagi manusia, seperti kebutaan, kerusakan paru-paru, dan lain-lain [8]. Amonia bereaksi dengan klorin sebagai desinfektan paling banyak digunakan dalam pengolahan air minum, sehingga tingkat permintaan klorin meningkat dan efisiensi desinfeksi menurun [9]. Reaksi ini juga dapat membentuk produk sampingan desinfeksi yang merusak kualitas air dan membahayakan konsumen [10].



Gambar 1. Kurva breakpoint chlorination.

Pengolahan air minum konvensional yang terdiri proses koagulasi-flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi dinilai tidak dapat menyisihkan amonia secara efektif, sehingga butuh pengembangan yang dapat berupa proses biologis, bahan penukar ion, dan lain-lain. Kajian ini membahas keberadaan amonia dalam air baku beserta dampaknya, teknologi pengolahan air yang menyisihkan amonia secara efektif, dan kinerja pengolahan air minum konvensional dalam menyisihkan amonia.

II. METODE PENULISAN

Metode penulisan ini menggunakan kajian dengan melakukan pengumpulan dan analisis berbagai pustaka. Kajian pustaka dilakukan untuk melakukan penelusuran mengenai topik kajian, yaitu keberadaan amonia dalam perairan beserta dampaknya, kajian teknologi pengolahan air yang dapat menyisihkan amonia secara efektif dan kinerja pengolahan air minum konvensional dalam menyisihkan amonia. Sumber pustaka yang digunakan meliputi buku teks, jurnal ilmiah, skripsi / tesis, laporan penelitian, laporan seminar / prosiding dan artikel ilmiah.

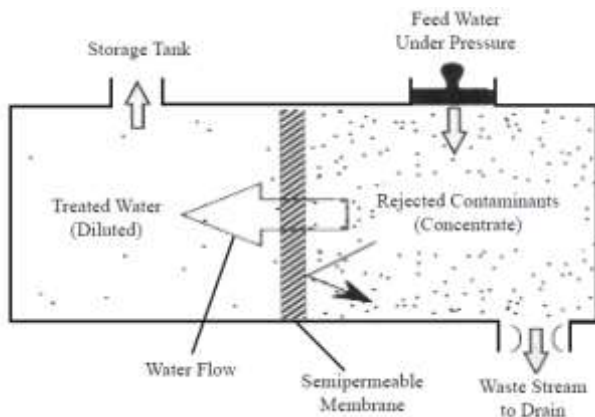
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Amonia

Gambaran umum amonia dijelaskan sebagai berikut:

B. Karakteristik Amonia

Amonia adalah gas tidak berwarna yang menyebabkan iritasi dengan bau menyengat, mirip bau bahan/cairan pembersih [11]. Amonia dapat meracuni kehidupan perairan pada pH dan suhu tinggi [4]. Terdapat 2 bentuk amonia pada perairan, yaitu gas amonia (NH₃) dan kation amonium (NH₄⁺). Gas amonia tidak terionisasi dapat bereaksi dengan air, membentuk kation amonium. Keberadaannya dipengaruhi pH dan suhu, dimana keberadaan gas amonia dominan pada pH dan suhu lebih tinggi [12].



Gambar 2. Skema proses RO.

1) Keberadaan Amonia

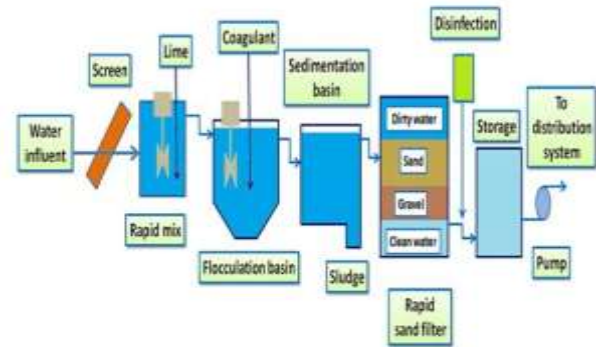
Pada umumnya, air baku pengolahan air minum adalah air tanah dan air permukaan. Air permukaan adalah sisa presipitasi dan peleburan es, membentuk air permukaan seperti sungai dan danau. Air permukaan menerobos permukaan bumi dan melalui akuifer, membentuk air tanah. Air tanah banyak digunakan pada pengolahan air skala kecil, sedangkan air permukaan berupa sungai dan danau digunakan pada pengolahan air skala besar. Kualitas air tanah relatif lebih baik karena dilindungi lapisan bumi [3]. Akses air tanah butuh proses *pumping* karena terletak pada bagian tanah lebih dalam, sehingga biaya lebih tinggi dan penggunaannya terbatas. Air permukaan lebih mudah diakses, tetapi kualitasnya relatif lebih buruk karena pencemar mudah masuk [13].

Kadar amonia air sungai dapat mencapai 6 mg/L, sedangkan nilai yang lebih tinggi menandakan pencemar antropogenik lebih tinggi. Kadar alami amonia pada air tanah relatif rendah, sekitar 0,2 mg/L, karena kapasitas pertukaran kation tanah besar. Berdasarkan sumbernya, amonia dibedakan menjadi sumber alami dan antropogenik. Amonia alami kebanyakan dihasilkan oleh dekomposisi bahan organik dari tanaman dan bangkai hewan, penambahan pupuk alami dan fiksasi nitrogen. Amonia antropogenik meliputi limbah kegiatan manusia yang menghasilkan amonia, seperti limpasan pertanian dan limbah industri [14].

2) Dampak Amonia

Amonia dalam kadar tertentu dapat meningkatkan keasaman tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman [15]. Amonia juga dapat berperan sebagai zat hara yang mendorong pertumbuhan fitoplankton dan ikan [16]. Kadar amonia berlebihan dapat menyebabkan eutrofikasi dan mengganggu kehidupan perairan [17]. Amonia dapat membahayakan kehidupan perairan mulai dari konsentrasi 1 mg NH₃/L yang menyebabkan beberapa ikan kecil mati lemas [18].

Gas amonia bersifat korosif dan menyerang mata secara cepat, menyebabkan cedera berat sampai kebutaan. Amonia pada kulit dapat menyebabkan iritasi dan luka bakar, tergantung tingkat paparannya. Penelanan larutan amonia menyebabkan beberapa gejala, seperti rasa sakit pada mulut, tenggorokan dan dada, air liur berlebihan dan luka bakar pada saluran aerodigestif. Inhalasi gas amonia menyebabkan beberapa gejala, seperti iritasi hidung, tenggorokan dan



Gambar 3. Skema pengolahan air minum konvensional.

saluran pernafasan. Amonia juga dapat menyebabkan edema pada bronkiolus dan alveolus.

Kadar amonia mulai dari 0,2 mg/L menurunkan efisiensi desinfeksi pengolahan air minum, dimana klorin bereaksi dengan amonia dan butuh dosis klorin lebih tinggi untuk melakukan desinfeksi. Reaksi amonia dengan klorin membentuk produk sampingan desinfeksi (*disinfection by-products/DBP*) yang dapat merusak sistem saraf manusia dan mengganggu rasa & bau air [10]. Reaksi ini juga dapat membentuk kloramin bersifat karsinogenik [19]. Monokloramin dapat menjadi desinfektan lemah pada sistem distribusi air, tetapi trikloramin terbentuk pada kondisi tertentu dan mengganggu rasa & bau air [20].

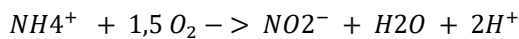
C. Teknologi Penyisihan Amonia dalam Pengolahan Air

Penyisihan amonia dalam air dapat dilakukan dengan proses *physiochemical* dan proses biologis. Secara umum, proses *physiochemical* seperti klorinasi, pertukaran ion, filtrasi membran dan *air stripping* berperan sebagai metode umum penyisihan amonia dalam pengolahan air. Pada masa kini, proses biologis mulai menarik perhatian sebagai alternatif unit proses dalam pengolahan air, terutama dalam aspek penyisihan amonia [19].

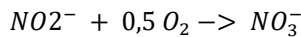
1) Proses Biologis

Dalam proses biologis, mikroorganisme menyisihkan pencemar dengan reaksi oksidasi-reduksi. Lapisan biologis (biofilm) terbentuk pada media filter berupa pasir, antrasit, atau karbon aktif granular (GAC), membentuk proses biofiltrasi [21]. Proses ini melibatkan 3 mekanisme penyisihan, yaitu penyisihan fisik, adsorpsi, dan proses biologis. Proses biologis stabil ketika aklimatisasi biofilter selesai, dimana mikroorganisme melekat pada media filter dan berkembangbiak, dan beradaptasi dengan kualitas air. Penyisihan amonia secara biologis melibatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi dengan mikroorganisme pengoksidasi amonia berupa bakteri pengoksidasi amonia (*ammonia-oxidizing bacterial/AOB*), arkea pengoksidasi amonia (*ammonia-oxidizing archaea/AOA*), dan bakteri anammox (*anaerobic ammonia-oxidizing*) [22].

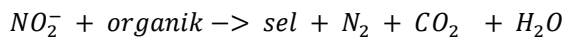
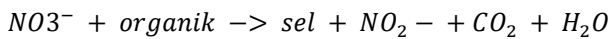
Proses nitrifikasi mengoksidasi amonia (NH₃) atau amonium (NH₄⁺) menjadi nitrit (NO₂⁻), lalu menjadi nitrat (NO₃⁻). Proses ini diawali dengan proses nitritasi, dimana amonium dioksidasi menjadi nitrit oleh mikroorganisme pengoksidasi amonium, seperti bakteri Nitrosomonas [23]. Reaksi yang berjalan adalah:



Tahap selanjutnya adalah tahap nitritasi, dimana nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri pengoksidasi nitrit, seperti Nitrobacter. Reaksi yang terjadi adalah:



Proses denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat dan nitrit menjadi gas nitrogen (N_2) dan/atau nitrogen oksida (N_2O) oleh bakteri heterotrofik fakultatif tanpa oksigen, seperti Micrococcus, Pseudomonas, dan lain-lain [24]. Reaksi-reaksi yang berjalan adalah:



Proses biologis paling banyak digunakan pada pengolahan air minum berupa filtrasi pasir lambat (*slow sand filtration/SSF*) dan biofiltrasi pasir cepat (*rapid biofiltration*) [25]. Proses biologis lebih optimal pada SSF, didukung kecepatan aliran lebih lambat ($< 0,5$ m/jam) dan waktu filtrasi lebih lama (1-6 bulan) sehingga aktivitas biologis lebih optimal [26]

. Penyisihan utama SSF dengan lapisan *schmutzdecke* yang terdiri dari mikroorganisme hidup atau mati berupa bakteri, alga dan protozoa [27]. Aktivitas biologis mengurai senyawa organik dan partikel inert tersuspensi disaring secara fisik. Air masuk ke bagian pasir lebih dalam, dimana proses sama terjadi dan beberapa partikel melekat pada permukaan pasir. Proses SSF mudah dioperasikan dan dapat mengolah air baku dengan kekeruhan < 10 NTU dan warna < 15 unit warna. Proses SSF optimal digunakan pada fasilitas kecil dengan air baku berkualitas tinggi dan jarang diaplikasikan pada pengolahan air skala besar karena efisiensi pengolahan relatif rendah, butuh lahan lebih luas dan pembentukan biofilm butuh waktu lebih lama [29-30].

Biologically active filters (BAFs) adalah filtrasi konvensional dengan aktivitas biologis, didukung ketidakhadiran klorin dalam air [21]. Kecepatan aliran dan waktu filtrasi lebih cepat menyebabkan pertumbuhan biofilm tidak stabil SSF [23]. Pengoptimalan aktivitas biologis dilakukan dengan pengendalian beberapa parameter, seperti media filter (GAC sebagai media optimal), konsentrasi oksigen terlarut (2-3 mg/L), pH (6-9), suhu ($> 18^\circ C$), waktu kontak air dengan media filter/EBCT (5-15 menit), proses *backwash* (biomassa yang tersisihkan tidak berlebihan), keberadaan senyawa pre-oksidasi (ozon meningkatkan tingkat biodegradabilitas senyawa organik), dan nutrisi ($C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$) [28], [30], [31]. BAFs dapat mengolah amonia sampai konsentrasi 1 mg/L, dimana nilai lebih tinggi membutuhkan pengembangan pengolahan.

Proses biologis dapat digunakan dalam bentuk lain, seperti unit *biological aerated filter* (BAF). Unit BAF lebih baik dalam penyisihan padatan tersuspensi, butuh lahan lebih kecil, produksi lumpur lebih rendah, mudah dibangun dan mampu mengolah kadar senyawa organik tinggi [32]. Pada BAF, unit aerasi menyediakan oksigen untuk pertumbuhan mikroorganisme [20]. Media BAF menyediakan tempat biomassa tumbuh sebanyak mungkin, tahan erosi, tahan lama, mudah dipasang dan tidak menyumbat reaktor [33]. Media banyak digunakan dalam BAF adalah pasir, tanah liat,

polistirena, polietilena dan plastik [34].

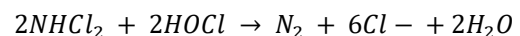
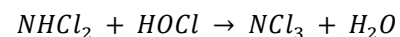
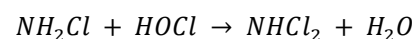
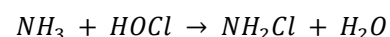
2) Breakpoint Chlorination (BPC)

Klorin adalah desinfektan paling banyak digunakan dalam pengolahan air, didukung kemampuannya menghasilkan residu pada distribusi air untuk mencegah rekontaminasi air [35]. Klorin pada umumnya berupa gas klorin (Cl_2) atau larutan natrium hipoklorit ($NaOCl$) [36]. Gas klorin lebih banyak digunakan karena unggul dalam aspek biaya dan keandalannya, tetapi penanganannya relatif sulit dan butuh keahlian & fasilitas tertentu [37].

BPC adalah metode penambahan klorin mencapai *breakpoint*, dimana klorin bereaksi dengan seluruh senyawa reaktif terhadap klorin, meliputi senyawa organik, senyawa pereduksi dan amonia [38]. Secara teori, perbandingan dosis klorin dengan amonia dalam air pada *breakpoint* adalah 7,6:1, tetapi pada umumnya dibutuhkan klorin lebih banyak karena keberadaan senyawa reaktif lain terhadap klorin [38]. Pada prakteknya, dosis klorin mencapai 10 kali lebih besar dari jumlah amonia dalam air untuk membentuk residu klorin bebas dalam air [39].

Proses klorinasi memungkinkan terbentuknya produk sampingan desinfeksi (*disinfection by-products/DBP*) dari reaksi desinfektan dengan senyawa organik alami pada air, membentuk asam haloasetat (*haloacetic acids/HAAs*) dan trihalometana (THMs) sebagai 2 DBP paling banyak ditemukan. DBP bersifat karsinogenik, mutagenik dan toksik, sehingga berbahaya bagi manusia. Hal ini dapat ditangani dengan menyisihkan senyawa organik *precursor* DBP dengan beberapa upaya, seperti proses biologis, koagulasi dengan alum, dan lain-lain [40].

Klorin bereaksi dengan amonia dan membentuk 3 jenis kloramin, yaitu monokloramin (NH_2Cl), dikloramin ($NHCl_2$) dan trikloramin (NCl_3). Dosis klorin lebih tinggi membentuk kloramin dengan klorin lebih banyak. Kloramin diubah menjadi gas nitrogen dan garam klorida setelah *breakpoint* [41]. Reaksi-reaksi yang berjalan adalah:



Proses BPC berjalan sesuai kurva pada Gambar 1. Pada zona A, klorin bereaksi dengan amonia dan membentuk monokloramin. Jumlah klorin sisa dalam air sebanding dengan jumlah penambahan klorin. Klorin ditambahkan sampai perbandingan molar klorin dengan amonia sebesar 1, dimana perbandingan penambahan klorin dengan amonia dalam air sebesar 5:1. Monokloramin banyak terbentuk pada pH 8, dan beberapa dikloramin terbentuk pada pH lebih rendah (± 6). Pada zona B, jumlah klorin bebas menurun karena klorin mengoksidasi monokloramin, membentuk dikloramin. Klorin ditambahkan sampai *breakpoint*, dimana perbandingan penambahan klorin dengan amonia dalam air sebesar 7,6:1. Penambahan klorin lebih akan mengoksidasi dikloramin menjadi trikloramin. Pada zona C, klorin ditambahkan melewati *breakpoint*, dimana klorin bereaksi dengan semua senyawa reaktif terhadap klorin, termasuk

amonia. *Breakpoint* tercapai pada perbandingan molar klorin dengan amonia sebesar 1,5. Pada perbandingan penambahan klorin dengan amonia dalam air sebesar 10:1, kloramin diubah menjadi gas nitrogen dan garam klorida yang aman bagi air. Tingkat klorin bebas setelah *breakpoint* sebanding jumlah klorin ditambahkan [28-30].

3) Reverse Osmosis (RO)

Membran RO memisahkan 2 larutan berkonsentrasi berbeda, dimana air mengalir melalui membran tetapi senyawa berukuran lebih besar dari pori membran tertahan. Perbedaan tekanan 2 larutan ini menggerakkan air dari larutan berkonsentrasi lebih rendah ke konsentrasi lebih tinggi (lebih tercemar) sampai konsentrasi larutan kedua sisi membran setara. Tekanan ini adalah tekanan osmotik. Pada proses RO, tekanan ditambahkan untuk membalikkan tekanan osmotik sehingga air bersih bergerak dari larutan konsentrasi lebih tinggi ke konsentrasi lebih rendah, menghasilkan air bersih [43]. Terdapat 2 aliran sistem RO, yaitu aliran air bersih (*permeate*) dan aliran pencemar terkonsentrasi (*brine*) [44]. Skema proses RO dapat dilihat pada Gambar 2.

Instalasi RO terdiri dari 4 unit, yaitu sistem *pretreatment*, pompa tekanan tinggi, sistem membran dan sistem *posttreatment*. Unit *pretreatment* bertujuan mengurangi kadar padatan tersuspensi untuk mencegah *fouling* membran dan dipilih sesuai kualitas air baku, dimana *pretreatment* lebih kompleks jika tingkat pencemaran lebih tinggi [44]. Terdapat 2 jenis *pretreatment*, yaitu konvensional dan proses membran. *Pretreatment* konvensional meliputi koagulasi-flokulasi, klorinasi, filtrasi media granular, asidifikasi, ozonasi, penambahan senyawa *antiscalant*, radiasi UV dan lain-lain. *Pretreatment* membran meliputi membran mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF) dan nanofiltrasi (NF) [45].

Air payau diolah dengan tekanan 10-30 bar (145-430 psi) dan air laut diolah dengan tekanan 55-85 bar (800-1200 psi) [28]. Terdapat 4 jenis modul membran RO, yaitu *plate and frame*, *tubular*, *spiral wound* dan *hollow fiber*. Modul *spiral wound* paling banyak digunakan karena densitas pengemasan tinggi, biaya relatif murah dan transfer massa kecepatan tinggi [46]. Terdapat 2 jenis bahan membran RO, membran selulosa asetat (*cellulose acetate/CA*) dan poliamida (PA). Bahan PA paling banyak digunakan karena mampu menahan pencemar lebih banyak, tekanan pengoperasian lebih rendah dan beroperasi pada pH 2-12 [44]. *Permeate* filtrasi RO butuh *posttreatment* berupa penyisihan gas terlarut dengan unit *stripping*. Jika aliran *permeate* beralkalinitas rendah, dilakukan pengaturan pH untuk mengatur pembentukan kerak [28].

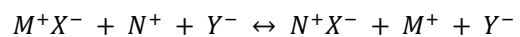
Membran RO adalah jenis membran filtrasi yang dapat menyisihkan amonia dalam bentuk amonium [47]. Penyisihan lebih efektif pada konsentrasi lebih tinggi (>5 mg-N/L) dibandingkan konsentrasi lebih rendah (<2 mg-N/L) [48]. Pengoperasian RO relatif mudah, tetapi butuh remineralisasi dan pengolahan *brine*. Energi lebih tinggi dibutuhkan dalam proses pemompaan, dimana proses RO butuh energi listrik 7,5-10 kW/m³ [49].

4) Ion Exchange (IE)

Proses IE adalah reaksi kimia reversibel melibatkan pertukaran ion antara fase padat (bahan penukar ion) dan fase

cair, dimana ion yang bergerak bebas pada larutan ditukar dengan ion pada matriks fase padat [50]. Ion digantikan dengan ion bermuatan sama pada larutan [51]. Proses IE hampir mirip adsorpsi, dimana perbedaan terdapat pada jenis pencemar dan mekanisme penyisihan. Proses IE menyisihkan pencemar ionik dan fase padat sebagai penukar ion memiliki area bermuatan sebagai tempat pencemar melekat [50], [52].

Proses IE melibatkan difusi ion ke penukar ion dan difusi ion ke larutan. Ion yang ditukarkan disebut *counterions* bermuatan berlawanan dengan muatan gugus fungsional. Ketika *counterion* melewati batas interfas, terbentuk potensial listrik yang dikompensasi dengan pergerakan *counterion* berlawanan arah dan terjadi pertukaran ion. Sebagai contoh, matriks penukar ion M⁺X⁻ berhubungan dengan larutan NY, terionisasi menjadi N⁺ dan Y⁻. Reaksi yang berjalan adalah:



M⁺X⁻ adalah penukar ion, dimana M⁺ adalah ion bebas (*counterion*) dan X⁻ adalah ion tetap dalam penukar ion (*co-ion*). Senyawa NY adalah larutan yang terionisasi menjadi N⁺ dan Y⁻. Pertukaran ion terjadi antara M⁺ dan N⁺.

Bahan penukar ion paling banyak digunakan adalah resin IE sintetis dan zeolit alami. Resin IE adalah matriks tidak terlarut berukuran kecil (jari-jari 0,25–0,5 mm), terbuat dari senyawa polimer berpori dan berikatan silang (*cross-linked*) yang mengandung gugus fungsional inorganik dengan ion bebas sebagai ion penukar [50]. Resin yang banyak digunakan terbuat dari polimer vinil seperti polistirena dan poliakrilik, dengan divinilbenzena sebagai agen pengikatan silang [53].

Resin IE sintetis dibedakan berdasarkan gugus fungsionalnya menjadi: (1) penukar kation asam kuat dengan gugus fungsional sulfonat (SO₃⁻), (2) penukar kation asam lemah dengan gugus fungsional karboksilat (COO⁻), (3) penukar anion basa kuat dengan gugus fungsional amina kuarternar (N⁺(CH₃)₃), dan (4) penukar anion basa lemah dengan gugus fungsional amina tersier (N⁺(CH₃)₂) [53]. 4 jenis resin IE ini dibedakan berdasarkan nilai pK dan afinitasnya terhadap ion H⁺ dan OH⁻. Penukar asam kuat berafinitas rendah terhadap H⁺ dan tetap terionisasi pada pH rendah, sehingga pertukaran ion terjadi pada variasi pH lebih luas. Penukar basa kuat tetap terionisasi pada pH tinggi. Penukar asam lemah terionisasi pada pH tinggi. Kemampuan pertukaran penukar asam dan basa lemah terbatas karena sangat tergantung pada pH [52].

Resin IE sintetis adalah bahan penukar ion paling banyak digunakan pada pengolahan air, didukung kapasitas pertukaran relatif besar, kemudahan regenerasi, pertukaran lebih cepat dan jangka hidup lebih lama dibandingkan zeolit alami [28], [54]. Resin IE tidak dapat menyisihkan amonia seefektif zeolit karena selektivitas resin sintetis terhadap amonium lebih rendah dibandingkan zeolit alami [55].

Zeolit adalah mineral lunak dengan diameter pori 2,5–8 Å. Bagian dasar zeolit adalah kerangka Al₂SiO₅, terdiri dari atom silikon (Si⁴⁺) dan aluminium (Al³⁺) berbentuk tetrahedral dan dikelilingi 4 atom oksigen yang terikat pada tetrahedron lainnya [52]. Pergantian ion Si dengan ion Al menghasilkan 1 muatan negatif yang meningkat jika jumlah Al meningkat. Muatan ini diseimbangkan dengan ion pertukaran, baik monovalen (contoh: Na⁺, K⁺) atau divalen

(contoh: Ca^{2+} , Mg^{2+}) [51]. Zeolit memiliki permukaan hidrofilik dan kapasitas adsorpsi amonia memadai [9]. Kapasitas adsorpsi zeolit alami relatif rendah sebesar 10 mg/g, sehingga pemanfaatannya dalam pengolahan air terbatas [56]. Hal ini dapat diatasi dengan modifikasi zeolit sintesis dengan teknologi seperti pengolahan asam, modifikasi termal, dan lain-lain [51]. Modifikasi dilakukan pada kadar amonia tinggi yang tidak ditemukan pada air baku, sehingga zeolit alami dapat menyisihkan amonia secara efektif pada pengolahan air minum [9].

Sistem IE terdiri dari 3 unit, yaitu unit *pre-treatment*, unit reaksi dan unit regenerasi. Unit *pre-treatment* menyisihkan senyawa tersuspensi dan senyawa organik terlarut dalam air, seperti unit koagulasi-flokulasi, unit sedimentasi dan unit filtrasi. Reaktor IE pada umumnya merupakan reaktor *packed-bed* diisi bahan penukar ion. Terdapat 3 reaktor, dimana 1 reaktor digunakan sampai jenuh, 1 reaktor sebagai cadangan dan 1 reaktor dalam proses regenerasi. Unit regenerasi terdiri dari tangki penyimpanan air *backwash*, pompa dan perpipaan air *backwash*, tangki larutan regenerasi, tangki larutan regenerasi terpakai, tangki pengukuran bahan regenerasi dan saluran pembuangan [52].

Pengoperasian unit IE fleksibel (skala kecil dan besar) dan relatif mudah, tetapi butuh energi lebih untuk proses *pumping* dan *mixing* dan butuh larutan regenerasi banyak untuk mendukung aktivitas resin [57-58]. Larutan regenerasi terpakai menjadi *brine* berbahaya bagi lingkungan dan perlu diolah sebelum dibuang [59]. Zeolit dapat digunakan pada berbagai tahap pengolahan air minum. Zeolit sebagai media filter memungkinkan regenerasi biologis, dimana zeolit mengadsorpsi kation amonium dan mikroorganisme pengoksidasi amonia pada permukaannya mengoksidasi amonium [60]. Sebuah penelitian dilakukan mengenai koagulan ACZ (*activated carbon-zeolite*) sebuah *nanoadsorbent* hasil modifikasi karbon aktif dengan zeolite yang menyisihkan amonia secara efektif pada proses koagulasi-flokulasi, sedangkan penggunaannya dengan alum dapat menyisihkan amonia, senyawa organik, kekeruhan, THMs, dan warna dalam air secara efektif [9].

5) Air Stripping

Air stripping adalah proses transfer massa dengan kontak fase cair (air) dan fase gas (udara) sehingga terjadi proses desorpsi, dimana senyawa *volatile* (contoh: hidrogen sulfida, karbon dioksida, oksigen) berpindah dari air ke udara [28]. Kinerjanya dipengaruhi nilai konstanta Henry, yaitu koefisien partisi tidak berdimensi yang menggambarkan perbandingan konsentrasi massa dalam fase gas dan dalam fase cair [61]. Terdapat 3 bentuk konstanta Henry, yaitu H_{YC} (tidak berdimensi), H_{PX} (atm) dan H_{PC} [atm/(mol/L)] (Y = konsentrasi fase gas, C = konsentrasi fase cair, P = tekanan parsial, X = fraksi mol). H_{YC} paling banyak digunakan karena menggambarkan konsentrasi dalam fase gas dan cair. Nilai konstanta Henry dipengaruhi beberapa faktor, yaitu suhu, tekanan, kekuatan ionik, surfaktan dan pH [28]. *Air stripping* menyisihkan senyawa organik *volatile* dengan nilai konstanta Henry (H_{PC}) > 0,01 atm-m³/mol [62].

Jenis unit *air stripping* banyak digunakan adalah *packed towers*, *diffused / bubble aeration*, *surface aeration* dan *spray aerators* [42]. Unit *packed tower* dengan aliran *countercurrent* dapat menyisihkan amonia paling efektif,

didukung keberadaan bahan *packing* yang menyediakan area interfase udara-air besar. Bahan *packing* pada umumnya terbuat dari plastik dengan tegangan permukaan 0,033 N/m [42]. Dalam pengolahan air minum, proses *air stripping* dinilai tidak menyisihkan amonia secara efektif karena rendahnya kadar amonia dalam air baku dan nilai konstanta Henry amonia, yaitu sebesar 0,0006 pada suhu 20°C [14]. *Air stripping* menyisihkan amonia dalam bentuk gas amonia (NH_3), sehingga butuh peningkatan pH.

D. Pengolahan Air Minum Konvensional

Dalam pengolahan air minum konvensional, proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi berperan dalam penyisihan patogen, penurunan kekeruhan dan pengolahan rasa dan bau air, tetapi tidak dapat mengolah mikropolutan secara optimal. Kinerja 3 unit proses ini mempengaruhi kinerja unit proses selanjutnya, yaitu filtrasi dan desinfeksi. Proses filtrasi berperan dalam penyisihan partikel flok yang tidak disisihkan pada proses sebelumnya, sedangkan proses desinfeksi dapat membunuh mikroorganisme tersisa dan mencegah rekontaminasi mikroorganisme patogen pada sistem distribusi air [63]. Skema pengolahan air minum konvensional dapat dilihat pada Gambar 3.

1) Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi adalah pencampuran air dan koagulan dengan pengadukan cepat untuk mendestabilisasi koloid dan padatan tersuspensi dalam air, membentuk inti partikel (mikroflok). Flokulasi adalah proses penggumpalan mikroflok dengan pengadukan lambat dan membentuk flok lebih besar [64]. Koagulasi melibatkan pengadukan cepat untuk mendispersikan bahan koagulan pada partikel dalam air, sedangkan proses flokulasi menggumpalkan partikel kecil dengan gaya Brown (mikroflokulasi/flokulasi perikinetik) atau pengadaan gradien kecepatan (makroflokulasi/flokulasi ortokinetik) [42], [52].

Koagulan paling banyak digunakan adalah aluminium sulfat (alum) yang bereaksi dengan air dan membentuk ion aluminium, dimana ion terhidrolisis dan membentuk produk hidrolisis kompleks pada pH lebih rendah dan endapan produk hidrolisis ($\text{Al}(\text{OH})_3$) pada pH lebih tinggi [42]

[28]. Produk hidrolisis dapat mendestabilisasi partikulat perairan alami yang pada umumnya bermuatan negatif [42]. Amonia banyak ditemukan dalam bentuk kation amonium (NH_4^+) pada perairan alami, sehingga koagulan bermuatan positif tidak dapat menyisihkan amonia. Tingkat penyisihan amonium dalam jumlah kecil biasanya didapatkan pada proses koagulasi-flokulasi, dimana penyisihan kecil dianggap berasal dari reaksi kation amonium dengan pencemar partikulat dalam air yang pada umumnya bermuatan negatif dalam air [9].

2) Sedimentasi

Sedimentasi adalah pemisahan padatan dalam cairan menjadi cairan bening dan *sludge* [65]. Sedimentasi memanfaatkan gaya gravitasi, dimana partikel berdensitas lebih tinggi dari densitas air (1000 kg/m³) jatuh dan mengendap pada dasar bak sedimentasi [66]. Terdapat 2 jenis sedimentasi pada pengolahan air, yaitu prasedimentasi dan sedimentasi konvensional. Prasedimentasi mengolah air baku dengan kekeruhan tinggi sehingga beban padatan unit koagulasi-flokulasi berkurang [67]. Unit sedimentasi

konvensional ditempatkan setelah proses koagulasi-flokulasi untuk mengurangi beban proses filtrasi [28]. Penyisihan amonia pada koagulasi-flokulasi konvensional tidak efektif, sehingga flok yang diendapkan tidak mengandung amonia dalam jumlah signifikan.

3) Filtrasi

Filtrasi adalah penyisihan padatan tersuspensi dengan proses fisik, dimana aliran air melalui susunan media granular. Filtrasi berperan dalam mengurangi kekeruhan, warna, mikroorganisme dan partikulat dalam air. Padatan tersuspensi dan senyawa partikulat meningkatkan daya tahan mikroba terhadap desinfektan, sehingga filtrasi meningkatkan kinerja desinfeksi [68]. Media filter paling banyak digunakan adalah pasir silika, antrasit, garnet dan ilmenit. Media karbon aktif granular (GAC) dapat digunakan karena dapat mengadakan proses adsorpsi dan filtrasi [42]. Konfigurasi media filter yang umum digunakan adalah media tunggal, media tunggal *deep-bed*, media ganda, dan media campuran [28].

Siklus filtrasi dibagi menjadi 2 tahap, yaitu tahap filtrasi dan tahap *backwash*. Pada tahap filtrasi, aliran air ke arah bawah dengan kecepatan 5-30 m/jam melewati lapisan media granular sehingga padatan tersisihkan dan terakumulasi pada area kosong lapisan filter dan beberapa pada permukaan filter [42]. Setelah jangka waktu tertentu, padatan yang tertahan disisihkan dengan air *backwash* berlawanan arah yang membilas pencemar sehingga proses filtrasi berjalan lagi [28]. Pada filtrasi konvensional, mekanisme penyisihan utama adalah *depth filtration*, tetapi proses *straining* terjadi dengan pori dan lapisan *cake* dari deposit partikel pada permukaan media filter, walaupun tidak menonjol [42].

Filtrasi konvensional tidak menyisihkan amonia secara efektif. Media filter seperti pasir dan antrasit adalah media inert dan non-adsorptif sehingga amonia tidak disisihkan, sedangkan media GAC berafinitas rendah terhadap amonia karena permukaannya hidrofobik dan non-polar [9]. Penyisihan amonia efektif jika melibatkan aktivitas biologis dan membentuk proses biofiltrasi.

4) Desinfeksi

Desinfeksi adalah upaya pengurangan mikroorganisme ke tingkat lebih aman dengan desinfektan yang melakukan pengendalian, pencegahan, dan penghancuran patogen [69]. Proses ini dipengaruhi beberapa parameter, seperti suhu, pH, jenis bakteri, desinfektan yang digunakan, dosis desinfektan, waktu kontak dan kandungan senyawa organik & inorganik dalam air [34]. Desinfektan paling banyak digunakan adalah klorin, didukung biaya relatif rendah, dapat menyisihkan banyak patogen secara efektif, kemudahan pengaturan dosis dan membentuk residu pada air untuk mencegah rekontaminasi patogen [70]. Kekurangan utamanya adalah kemungkinan pembentukan DBP berbahaya, seperti THMs [35]. Hal ini dapat dicegah dengan penggunaan desinfektan alternatif, seperti kloramin, klorin dioksida, sinar UV dan ozon [71].

Klorin dan ozon adalah 2 desinfektan yang bereaksi dengan amonia. Ozon adalah bentuk oksigen tidak stabil dan mengandung 3 atom oksigen (O_3) dan dianggap sebagai desinfektan paling kuat [28]. Gas ozon bersifat tidak stabil dalam tekanan atmosfer, sehingga produksinya dilakukan langsung pada pengolahan air [70]. Penyisihan amonia

dengan ozon berjalan lebih efektif dalam bentuk gas amonia (NH_3) sehingga butuh peningkatan pH air. Hal ini menyebabkan penggunaan ozon sebagai upaya penyisihan amonia dalam pengolahan air minum kurang efektif.

IV. KESIMPULAN

Kadar amonia berlebihan dalam perairan dapat menyebabkan masalah bagi kehidupan di perairan, kinerja pengolahan air minum dan konsumen air minum. Terdapat 5 teknologi pengolahan air yang dapat menyisihkan amonia secara efektif, yaitu proses biologis, *breakpoint chlorination* (BPC), filtrasi membran *reverse osmosis* (RO), proses *ion exchange* (IE) dan *air stripping*. Proses biologis dan BPC dinilai sebagai 2 teknologi paling efisien dalam penyisihan amonia, didukung oleh keefektifannya relatif tinggi dan biaya relatif murah. Proses RO dan IE dapat menyisihkan amonia dalam bentuk amonium secara efektif, tetapi butuh biaya lebih tinggi. Penyisihan amonia dengan proses *air stripping* efektif pada konsentrasi dan pH tinggi yang tidak ditemukan pada air baku. Pada koagulasi-flokulasi, terdapat tingkat penyisihan kecil yang berasal dari reaksi amonium dengan partikel dalam air yang bermuatan negatif. Filtrasi konvensional non-biologis hanya menyisihkan partikel tersuspensi dan BAFs dapat mengolah amonia kurang dari 1 mg/L, konsentrasi lebih tinggi membutuhkan pengembangan proses pengolahan. Klorin dan ozon adalah 2 desinfektan yang dapat bereaksi dengan amonia, dimana ozon dapat menyisihkan amonia dengan efektivitas tinggi. Klorin dapat menyisihkan amonia secara efektif, tetapi perlu diperhatikan bahwa dosis klorin yang berlebihan dapat bereaksi dengan senyawa organik dan mendorong pembentukan DBP yang berbahaya bagi kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yudo and N. I. Said, "Kondisi kualitas air sungai Surabaya studi kasus: peningkatan kualitas air baku PDAM Surabaya," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 20, no. 1, pp. 19–28, 2019, doi: 10.29122/jtl.v20i1.2547.
- [2] G. Bwire *et al.*, "The quality of drinking and domestic water from the surface water sources (lakes, rivers, irrigation canals and ponds) and springs in cholera prone communities of Uganda: an analysis of vital physicochemical parameters," *BMC Public Health*, vol. 20, no. 1, pp. 1–18, 2020, doi: 10.17632/57sw2w23tw.1.
- [3] N. Carrard, T. Foster, and J. Willetts, "Groundwater as a source of drinking water in southeast Asia and the Pacific: A multi-country review of current reliance and resource concerns," *Water*, vol. 11, no. 8, p. 1605, 2019, doi: 10.3390/w11081605.
- [4] F. Sun, Y. Mu, K. M. Y. Leung, H. Su, F. Wu, and H. Chang, "China is establishing its water quality standards for enhancing protection of aquatic life in freshwater ecosystems," *Environ. Sci. & Policy*, vol. 124, pp. 413–422, 2021, doi: 10.1016/j.envsci.2021.07.008.
- [5] X. Mao, L. Xiong, X. Hu, Z. Yan, L. Wang, and G. Xu, "Remediation of ammonia-contaminated groundwater in landfill sites with electrochemical reactive barriers: A bench scale study," *Waste Manag.*, vol. 78, pp. 69–78, 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.015.
- [6] W. A. E. Putri, A. I. S. Purwiyanto, F. Agustriani, Y. Suteja, and others, "Kondisi nitrat, nitrit, amonia, fosfat dan BOD di muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 11, no. 1, pp. 65–74, 2019.
- [7] X. Meng *et al.*, "Removal of chemical oxygen demand and ammonia nitrogen from lead smelting wastewater with high salts content using electrochemical oxidation combined with coagulation–floculation treatment," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 235, p. 116233, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2019.116233.
- [8] C. Perdana, "Gambaran Asupan Amonia (NH_3) pada Masyarakat Dewasa di Kawasan Sekitar Pemukiman PT. Pusri Palembang Tahun 2015," UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2015.

- [9] S. Wongcharee, V. Aravinthan, and L. Erdei, "Removal of natural organic matter and ammonia from dam water by enhanced coagulation combined with adsorption on powdered composite nano-adsorbent," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 17, p. 100557, 2020, doi: 10.1016/j.eti.2019.100557.
- [10] Q. Cheng, L. Nengzi, L. Bao, Y. Wang, J. Yang, and J. Zhang, "Interactions between ammonia, iron and manganese removal using pilot-scale biofilters," *J. Water Supply Res. Technol.*, vol. 66, no. 3, pp. 157–165, 2017, doi: 10.2166/aqua.2017.089.
- [11] V. Pattabathula and J. Richardson, "Introduction to ammonia production," *CEP Mag.*, vol. 2, pp. 69–75, 2016.
- [12] A. R. Purwono, M. Hibbaan, and M. A. Budihardjo, "Ammonia-nitrogen (NH₃-N) and ammonium-nitrogen (NH₄⁺-N) equilibrium on the process of removing nitrogen by using tubular plastic media," *J. Mater. Env. Sci.*, vol. 8, pp. 4915–4922, 2017.
- [13] J. A. Gleason and J. A. Fagliano, "Effect of drinking water source on associations between gastrointestinal illness and heavy rainfall in New Jersey," *PLoS One*, vol. 12, no. 3, p. e0173794, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0173794.
- [14] J. Yuan, M. I. Van Dyke, and P. M. Huck, "Identification of critical contaminants in wastewater effluent for managed aquifer recharge," *Chemosphere*, vol. 172, pp. 294–301, 2017, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.120.
- [15] B. Wiyantoko, P. Kurniawati, and T. E. Purbaningtiyas, "Pengujian nitrogen total, kandungan air dan cemaran logam timbal pada pupuk anorganik Npk padat," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.23887/jst-undiksha.v6i1.9439.
- [16] B. Hamuna, R. H. R. Tanjung, S. Suwito, and H. K. Maury, "Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan distrik depapre, Kabupaten Jayapura," *EnviroScientiae*, vol. 14, no. 1, pp. 8–15, 2018, doi: 10.20527/es.v14i1.4887.
- [17] S. Guthrie *et al.*, *The Impact of Ammonia Emissions from Agriculture on Biodiversity*, 1st ed. Cambridge, United Kingdom: RAND Corporation and The Royal Society, 2018.
- [18] M. Hibban, A. Rezagama, and P. Purwono, "Studi Penurunan Konsentrasi Amonia dalam Limbah Cair Domestik dengan Teknologi Biofilter Aerobmedia Tubular Plastik pada Awal Pengolahan," Universitas Diponegoro, 2016.
- [19] F. Subari, S. R. S. Abdullah, H. A. Hasan, and N. A. Rahman, "Biological removal of ammonia by naturally grown bacteria in sand biofilter," *Malays J Anal Sci.*, vol. 22, no. 2, pp. 346–352, 2018, doi: 10.17576/mjas-2018-2202-22.
- [20] J. Niu, I. Kasuga, F. Kurisu, and H. Furumai, "Effects of backwashing on granular activated carbon with ammonium removal potential in a full-scale drinking water purification plant," *Water*, vol. 10, no. 12, p. 1830, 2018, doi: 10.3390/w10121830.
- [21] I. X. Zhu and B. J. Bates, "Conventional media filtration with biological activities," *Water Treat.*, vol. 7, pp. 137–166, 2013, doi: 10.5772/50481.
- [22] K. Lájer, "Ammonium removal by nitrification in drinking water treatment," *Kval. voda*, vol. 10, no. 9–10, pp. 47–53, 2012.
- [23] J. Norton and Y. Ouyang, "Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils," *Front. Microbiol.*, vol. 1, no. 1, p. 1931, 2019, doi: 10.3389/fmicb.2019.01931.
- [24] N. I. Said and M. R. Syabani, "Penghilangan amoniak di dalam air limbah domestik dengan proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *J. Air Indones.*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.29122/jai.v7i1.2399.
- [25] A. Stoddart, "Field-Scale Evaluation of Drinking Water Biofiltration," University of Dalhousie, Halifax, Canada, 2017.
- [26] C. O. Lee, "Processes Affecting Nitrification Performance in Biological Rapid Sand Filters," University of Denmark, Lyngby, Denmark, 2014.
- [27] L. Liu *et al.*, "Applying bio-slow sand filtration for water treatment," *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 28, no. 4, 2019, doi: 10.15244/pjoes/89544.
- [28] J. C. Crittenden, R. R. Trussell, D. W. Hand, K. Howe, and G. Tchobanoglous, *MWH's Water Treatment: Principles and Design*, 1st ed. Canada: John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [29] G. Radu and G. Racoviteanu, "Removing Ammonium from Water Intended for Human Consumption: A Review of Existing Technologies," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 664, no. 1, p. 12029.
- [30] O. D. Basu, S. Dhawan, and K. Black, "Applications of biofiltration in drinking water treatment—a review," *J. Chem. Technol. & Biotechnol.*, vol. 91, no. 3, pp. 585–595, 2016, doi: 10.1002/jctb.4860.
- [31] Z. Z. Loh *et al.*, "Shifting from conventional to organic filter media in wastewater biofiltration treatment: A review," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 18, p. 8650, 2021, doi: 10.3390/app11188650.
- [32] N. Marsidi, H. A. Hasan, and S. R. S. Abdullah, "A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment," *J. Water Process Eng.*, vol. 23, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1016/j.jwpe.2018.01.010.
- [33] B. K. Pramanik, S. Fatimah, Z. Shahrom, and E. Ahmed, "Biological aerated filters (BAFs) for carbon and nitrogen removal: a review," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 428–446, 2012.
- [34] M. Malakootian, A. Toolabi, and S. Hosseini, "Advanced treatment of effluent extended aeration process using biological aerated filter (BAF) with natural media: modification in media, design and backwashing process," *Amb Express*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1186/s13568-021-01260-2.
- [35] S. Tsitsifili and V. Kanakoudis, "Disinfection impacts to drinking water safety—A review," *Multidiscip. Digit. Publ. Inst. Proc.*, vol. 2, no. 11, p. 603, 2018, doi: 10.3390/proceedings2110603.
- [36] D. Stefán, N. Erdélyi, B. Izsák, G. Zaray, and M. Vargha, "Formation of chlorination by-products in drinking water treatment plants using breakpoint chlorination," *Microchem. J.*, vol. 149, p. 104008, 2019, doi: 10.1016/j.microc.2019.104008.
- [37] Y. Choi, S.-H. Byun, H.-J. Jang, S.-E. Kim, and Y. Choi, "Comparison of disinfectants for drinking water: chlorine gas vs. on-site generated chlorine," *Environ. Eng. Res.*, vol. 27, no. 1, 2022, doi: 10.4491/eer.2020.543.
- [38] L. Kumar, "Study of double breakpoints during chlorination of river Yamuna water, Delhi, India," *Int. J. Water Resour. Environ. Eng.*, vol. 5, no. 7, pp. 370–379, 2013, doi: 10.5897/IJWREE2012.0381.
- [39] S. Takó, "Ammonium Removal from Drinking Water-Comparison of the Breakpoint Chlorination and the Biological Technology," *Conference of Junior Researchers in Civil Engineering*, pp. 248–254, 2012.
- [40] S. Beeharry, S. Sihota, and C. Kelly, "Profiling chlorine residuals using DPD and amperometric field test kits in a chlorinated small drinking water system with ammonia present in source water," *Environ. Heal. Rev.*, vol. 61, no. 2, pp. 39–49, 2018, doi: 10.5864/d2018-011.
- [41] D. Gheraout, N. Elboughdiri, and others, "Disinfection by-products: Presence and elimination in drinking water," *Open Access Libr. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–27, 2020, doi: 10.4236/oalib.1106140.
- [42] D. Cline, "Water Quality in Aquaculture," National Institute of Food and Agriculture, United State, 2019. <https://freshwater-aquaculture.extension.org/water-quality-in-aquaculture/>.
- [43] D. David, "The Effects of Alkalinity, Hardness, and pH on The Formation Potential of Disinfection By-Products," University of Missouri-Columbia, USA, 2014.
- [44] B. I. Dvorak and S. O. Skipton, *Drinking Water Treatment: Reverse Osmosis*, 1st ed. United States of America: University of Nebraska, 2014.
- [45] R. M. Garud, S. V. Kore, V. S. Kore, and G. S. Kulkarni, "A Short Review on Process and Applications of Reverse Osmosis," *Univers. J. Environ. Res. & Technol.*, vol. 1, no. 3, 2011.
- [46] S. F. Anis, R. Hashaikeh, and N. Hilal, "Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review," *Desalination*, vol. 452, pp. 159–195, 2019, doi: 10.1016/j.desal.2018.11.006.
- [47] M. Qasim, M. Badrelzaman, N. N. Darwish, N. A. Darwish, and N. Hilal, "Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review," *Desalination*, vol. 459, pp. 59–104, 2019, doi: 10.1016/j.desal.2019.02.008.
- [48] K. Henderson, "Osmosis as A Chemical-Free Technology for the Removal of Nutrients from Cure Meat Processing Wastewater," The Ohio State University, United State, 2019.
- [49] M. Kasi *et al.*, "Total nitrogen removal by reverse osmosis: role of biodegradable dissolved organic nitrogen," *Proc. Water Environ. Fed.*, vol. 2013, no. 19, pp. 242–256, 2013.
- [50] L. Jiang, Y. Tu, X. Li, and H. Li, "Application of Reverse Osmosis in Purifying Drinking Water," in *E3S Web of Conferences*, 2018, vol. 38, p. 1037, doi: 10.1051/e3sconf/20183801037.
- [51] S. Sharma, A. Yadav, and W. Ahmad, "The Classification, Characterization, and Application of Ion Exchange Resins: A General Survey," 2018, doi: 10.2139/ssrn.3299226.
- [52] S. Prajapati, "Cation Exchange for Ammonia Removal from Wastewater," Department of Chemistry and Bioengineering, Tampere University of Technology, 2014.
- [53] S. Kumar and S. Jain, "History, introduction, and kinetics of ion exchange materials," *J. Chem.*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/957647.
- [54] Z. G. Chartrand, "The Selective Ion-Exchange Removal of Ammonia from Mining Wastewater," University of Ottawa, 2018.
- [55] Y. Ding and M. Sartaj, "Optimization of ammonia removal by ion-exchange resin using response surface methodology," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 985–994, 2016, doi: 10.1007/s13762-016-0939-x.

- [56] A. Malovanyy, H. Sakalova, Y. Yatchyshyn, E. Plaza, and M. Malovanyy, "Concentration of ammonium from municipal wastewater using ion exchange process," *Desalination*, vol. 329, pp. 93–102, 2013, doi: 10.1016/j.desal.2013.09.009.
- [57] J. P. Soetardji *et al.*, "Ammonia removal from water using sodium hydroxide modified zeolite mordenite," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 102, pp. 83689–83699, 2015, doi: 10.1039/C5RA15419G.
- [58] Z. Liu, M. Haddad, S. Sauvé, and B. Barbeau, "Alleviating the burden of ion exchange brine in water treatment: From operational strategies to brine management," *Water Res.*, vol. 205, p. 117728, 2021, doi: 10.1016/j.watres.2021.117728.
- [59] A. Amini, "The Sustainability of Ion Exchange Water Treatment Technology," University of South Florida, 2017.
- [60] J. Zhang, A. Amini, J. A. O'Neal, T. H. Boyer, and Q. Zhang, "Development and validation of a novel modeling framework integrating ion exchange and resin regeneration for water treatment," *Water Res.*, vol. 84, pp. 255–265, 2015, doi: 10.1016/j.watres.2015.07.027.
- [61] J.-S. Kim, J.-Y. Lee, S.-K. Choi, Q. Zhu, and S.-I. Lee, "Nitrification of low concentration ammonia nitrogen using zeolite biological aerated filter (ZBAF)," *Environ. Eng. Res.*, vol. 25, no. 4, pp. 554–560, 2020, doi: 10.4491/eer.2019.115.
- [62] M. E. Abdullahi, M. A. A. Hassan, Z. Z. Noor, and R. K. R. Ibrahim, "Application of a packed column air stripper in the removal of volatile organic compounds from wastewater," *Rev. Chem. Eng.*, vol. 30, no. 5, pp. 431–451, 2014, doi: 10.1515/revce-2014-0003.
- [63] A. Zangeneh, S. Sabzalipour, A. Takdatsan, R. J. Yengejeh, and M. A. Khafaie, "Ammonia removal from municipal wastewater by air stripping process: An experimental study," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 36, pp. 134–141, 2021, doi: 10.1016/j.sajce.2021.03.001.
- [64] N. Moona, "Partial Renewal of Granular Activated Carbon Filters for Improved Drinking Water Treatment," University of Technology, Gothenburg, 2017.
- [65] A. Hamzah, "Klasifikasi Teks dengan Naive Bayes Classifier (NBC) untuk Pengelompokan Teks Berita dan Abstract Akademis," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III ISSN*, 1979, p. 911X, doi: :1979-911X.
- [66] S. Lourentius, G. Prema, and others, "Menentukan persamaan kecepatan pengendapan pada sedimentasi," *Widya Tek.*, vol. 12, no. 2, pp. 9–17, 2017, doi: 10.33508/wt.v12i2.1454.
- [67] I. Febiary, A. F. Widiyanto, and S. Yuniarno, "Efektivitas aerasi, sedimentasi, dan filtrasi untuk menurunkan kekeruhan dan kadar Besi (Fe) dalam air," *Kesmas Indones.*, vol. 8, no. 1, pp. 32–39, 2016.
- [68] A. I. Tauhid, W. Oktiawan, and G. Samudro, "Penentuan surface loading rate (vo) dan waktu detensi (td) air baku air minum sungai kreo dalam perencanaan prasedimentasi dan sedimentasi hr-wtp Jatibarang," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 10, no. 2, pp. 77–87, 2018, doi: 10.20885/jstl.vol10.iss2.art1.
- [69] A. Cescon and J.-Q. Jiang, "Filtration process and alternative filter media material in water treatment," *Water*, vol. 12, no. 12, p. 3377, 2020, doi: 10.3390/w12123377.
- [70] A. Athena, E. Laelasari, and T. Puspita, "Pelaksanaan disinfeksi dalam pencegahan penularan covid-19 dan potensi risiko terhadap kesehatan di Indonesia," *J. Ekol. Kesehat.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–20, 2020, doi: 10.22435/jek.v19i1.3146.
- [71] X. Luo, Q. Yan, C. Wang, C. Luo, N. Zhou, and C. Jian, "Treatment of ammonia nitrogen wastewater in low concentration by two-stage ozonization," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 12, no. 9, pp. 11975–11987, 2015, doi: 10.3390/ijerph120911975.