

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nutrien

Nutrien merupakan unsur kimia yang dibutuhkan oleh organisme untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme. Dalam ekosistem perairan, dua jenis nutrisi utama yang paling berperan dalam produktivitas primer adalah nitrogen (N) dan fosfor (P). Kedua unsur ini secara alami terdapat dalam air dalam bentuk ion terlarut, terutama sebagai ion amonium (NH_4^+) dan ion fosfat (PO_4^{3-}).

Amonium dan fosfat merupakan bentuk yang paling mudah diserap oleh organisme autotrof seperti fitoplankton, alga, dan tanaman air. Meskipun penting, konsentrasi yang berlebih dari nutrisi ini dapat menyebabkan permasalahan lingkungan seperti eutrofikasi, yang ditandai dengan ledakan pertumbuhan alga dan penurunan kadar oksigen terlarut di perairan (Wetzel, 2001).

2.1.1 Amonium (NH_4^+) sebagai Bentuk Nitrogen Terlarut

Amonium (NH_4^+) adalah salah satu bentuk nitrogen anorganik yang larut dalam air dan dapat langsung digunakan oleh *organisme autotrof*. Dalam siklus nitrogen, amonium merupakan bentuk yang paling stabil dan paling mudah diakses oleh biota perairan. Amonium dapat berasal dari berbagai proses alami maupun antropogenik, seperti:

- a. Dekomposisi bahan organik (oleh mikroorganisme)
- b. Ekskresi organisme air
- c. Limbah domestik dan pertanian

d. Proses ammonifikasi dari nitrogen organik

Ketersediaan amonium di perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan kandungan oksigen terlarut. Dalam kondisi aerobik, amonium dapat diubah menjadi bentuk nitrat (NO_3^-) melalui proses nitrifikasi. Sedangkan dalam kondisi anaerobik, amonium cenderung terakumulasi dan berpotensi menjadi racun, terutama jika berubah menjadi amonia bebas (NH_3), yang sangat beracun bagi ikan dan invertebrata air (Camargo & Alonso, 2006).

2.1.2 Proses Pembentukan dan Transformasi Amonium

Amonium terbentuk di perairan melalui beberapa proses biokimia utama:

a. Ammonifikasi

Ammonifikasi merupakan proses dekomposisi nitrogen organik menjadi amonium oleh aktivitas mikroorganisme. Proses ini terjadi saat mikroba menguraikan bahan organik seperti sisa tumbuhan dan hewan mati. Reaksinya secara umum adalah: R-NH_2 (nitrogen organik) $\rightarrow \text{NH}_4^+$.

b. Ekskresi Organisme

Organisme akuatik seperti ikan dan *zooplankton* melepaskan nitrogen sebagai limbah metabolisme dalam bentuk amonium. Ini merupakan salah satu sumber utama amonium dalam kolom air, terutama di perairan dengan kepadatan biota tinggi

c. Nitrifikasi

Dalam kondisi aerobik, amonium diubah menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian nitrat (NO_3^-) melalui proses nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi

seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Reaksi umum: $\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$ (oleh *Nitrosomonas*) $\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ (oleh *Nitrobacter*).

d. Pengaruh pH dan Suhu

Kondisi pH dan suhu sangat mempengaruhi bentuk nitrogen di perairan. Pada pH dan suhu tinggi, NH_4^+ dapat berubah menjadi amonia bebas (NH_3), yang bersifat toksik: $\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$ Tingkat toksisitas amonia meningkat secara signifikan jika $\text{pH} > 8$ dan suhu $> 25^\circ\text{C}$.

e. Akumulasi Amonium

Di perairan yang mengalami hipoksia atau anoksia (kekurangan oksigen), seperti danau yang mengalami stratifikasi, proses nitrifikasi terhambat sehingga amonium cenderung menumpuk di dasar. Akumulasi ini bisa menjadi sumber pencemar saat terjadi pencampuran vertikal air (*mixing*), yang membawa amonium ke lapisan permukaan.

2.1.3 Fosfat (PO_4^{3-}) sebagai Bentuk Fosfor Terlarut

Fosfat adalah bentuk fosfor anorganik yang paling mudah diserap oleh organisme perairan. Fosfat berperan penting dalam pembentukan energi sel (ATP), komponen membran sel (*fosfolipid*), serta materi genetik (DNA dan RNA). Sumber fosfat di perairan antara lain:

- Pelapukan batuan fosfat
- Limbah domestik dan industri
- Detergen dan pupuk fosfat
- Dekomposisi bahan organik

Fosfat memiliki sifat yang mudah terikat pada partikel tanah atau logam seperti aluminium (Al), besi (Fe), dan kalsium (Ca), sehingga meskipun konsentrasinya tinggi dalam sedimen, tidak seluruhnya tersedia dalam bentuk larut (*bioavailable*) (Correll, 1998).

Kelebihan fosfat dalam air dapat menyebabkan pertumbuhan berlebihan fitoplankton (*blooming*), terutama alga biru (*cyanobacteria*), yang menghasilkan toksin dan mengganggu ekosistem akuatik.

2.1.4 Hubungan Amonium dan Fosfat dalam Produktivitas Primer

Amonium dan fosfat merupakan dua nutrisi yang sering menjadi faktor pembatas (*limiting factors*) dalam pertumbuhan primer di perairan. Rasio nitrogen terhadap fosfor (N:P) sering digunakan untuk memprediksi dominasi jenis fitoplankton dan potensi eutrofikasi. Rasio N:P rendah (<10:1) cenderung menyebabkan dominasi *cyanobacteria*, sementara rasio tinggi (>20:1) mendukung pertumbuhan alga hijau (Smith, 1983). Keduanya bersinergi dalam mendukung produktivitas primer, tetapi kelebihan salah satu atau keduanya dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem perairan dan menurunkan kualitas air.

2.1.5 Dampak Lingkungan dari Kelebihan Nutrien

- a. Eutrofikasi: Pertumbuhan berlebih alga → penurunan oksigen → kematian ikan → bau busuk dan air keruh.
- b. Kematian Biota: NH_3 bebas yang terbentuk dari amonium bersifat toksik dan dapat menyebabkan kematian ikan massal.
- c. Gangguan Ekosistem: Perubahan komposisi komunitas organisme, hilangnya keanekaragaman hayati.

- d. Masalah Kesehatan: Beberapa jenis alga (seperti cyanobacteria) menghasilkan toksin yang berbahaya bagi manusia dan hewan. Kandungan ammonium (NH_4^+) dan fosfat (PO_4^{3-}) pada air limbah

Amonium dan fosfat merupakan dua nutrien penting yang mendukung kehidupan organisme perairan. Namun, akumulasi berlebihan akibat aktivitas manusia dapat menimbulkan dampak lingkungan serius seperti eutrofikasi, penurunan kualitas air, dan toksisitas terhadap biota. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kadar amonium dan fosfat sangat penting dalam pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan.

2.2 Biochar

Biochar merupakan material karbon yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa dalam kondisi terbatas atau tanpa oksigen. Sebagai bahan yang stabil dan kaya karbon, biochar telah banyak diteliti karena manfaatnya dalam meningkatkan kualitas tanah, mengikat nutrien, menyerap polutan, serta sebagai solusi mitigasi perubahan iklim. Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai biochar dalam berbagai aspek ilmiah.

2.2.1 Biochar Teraktivasi dan Tidak Teraktivasi

1. Biochar Tidak Teraktivasi (Non-Activated Biochar)

Biochar tidak teraktivasi adalah biochar yang digunakan langsung setelah proses pirolisis tanpa perlakuan tambahan. Secara teori, biochar ini mengandalkan sifat alami seperti:

- a. Jumlah pori yang terbatas,

- b. Luas permukaan yang relatif kecil,
- c. Gugus fungsional yang sedikit, muatan permukaan cenderung negatif.

Akibatnya, adsorpsi amonia dan fosfat cenderung rendah. Teori kimia permukaan menjelaskan bahwa permukaan bermuatan negatif sulit mengadsorpsi fosfat (anion) karena adanya gaya tolak-menolak. Penelitian Munar-Florez *et al.* (2021) menunjukkan bahwa biochar tanpa aktivasi hanya memiliki kemampuan adsorpsi ammonium dan fosfat pada tingkat rendah–sedang.

2. Biochar Teraktivasi (Activated Biochar)

Biochar teraktivasi adalah biochar yang diberikan perlakuan lanjutan untuk meningkatkan sifat adsorpsinya. Aktivasi bertujuan memperbesar pori, meningkatkan luas permukaan, menambah gugus fungsional, dan mengubah muatan permukaan agar lebih efektif dalam mengadsorpsi amonia serta fosfat.

a. Aktivasi Fisik

Menggunakan uap atau CO_2 pada suhu tinggi ($>700^\circ\text{C}$).

Secara teori, aktivasi fisik:

- 1) Membuka lebih banyak pori,
- 2) Meningkatkan luas permukaan,
- 3) Meningkatkan kemampuan adsorpsi fisik.

Penelitian Munar-Florez *et al.* (2021) menemukan bahwa aktivasi fisik meningkatkan kemampuan biochar dalam mengadsorpsi NH_4^+ dan PO_4^{3-} dibanding biochar non-aktivasi.

b. Aktivasi Kimia

Menggunakan larutan HCl, HNO₃, KOH, atau NaOH. Teori kimia permukaan menjelaskan bahwa perlakuan kimia:

- 1) Menghilangkan abu,
- 2) Meningkatkan gugus fungsional permukaan,
- 3) Meningkatkan cec,
- 4) Meningkatkan interaksi elektrostatik dengan ion.

Menurut Tran *et al.* (2021), aktivasi kimia meningkatkan adsorpsi fosfat hingga beberapa kali lipat akibat meningkatnya gugus fungsional dan muatan positif pada permukaan biochar.

c. Aktivasi Logam (Metal Impregnation)

Merupakan metode paling efektif untuk penghilangan fosfat. Logam seperti Mg, Ca, Fe, dan Al membentuk situs bermuatan positif yang dapat mengikat fosfat melalui:

- 1) Presipitasi (Mg–P, Ca–P, Fe–P),
- 2) Pertukaran ligan,
- 3) Pembentukan kompleks logam–fosfat.

Secara teori, logam divalen seperti Mg²⁺ dan Ca²⁺ memiliki afinitas tinggi terhadap fosfat, sehingga meningkatkan adsorpsi secara signifikan.

d. Temuan jurnal:

- 1) He *et al.* (2022): Mg-biochar menghilangkan NH₄⁺ dan PO₄³⁻ secara simultan melalui pembentukan struvite (MgNH₄PO₄).

- 2) Wu *et al.* (2023): Ca-biochar mampu mengadsorpsi NH_4^+ hingga 103 mg/g dan fosfat hingga 9,75 mg/g.
- 3) Liu *et al.* (2022): impregnasi Mg meningkatkan adsorpsi fosfat 30–114% dibanding biochar tanpa aktivasi.
- 4) Takaya & Ross (2016): Mg-activated biochar memiliki kapasitas adsorpsi fosfat puluhan kali lebih tinggi.

Secara teoritis dan empiris, biochar teraktivasi memiliki kemampuan adsorpsi amonia dan fosfat yang jauh lebih tinggi dibanding biochar tidak teraktivasi. Aktivasi (terutama impregnasi logam) meningkatkan sifat fisik-kimia biochar, memperbesar luas permukaan, dan memberikan situs aktif baru yang sangat efektif untuk mengikat ion nutrient seperti NH_4^+ dan PO_4^{3-} .

2.2.2 Proses Produksi Biochar

Biochar diproduksi melalui proses pirolisis, yaitu pemanasan bahan organik (biomassa) seperti limbah pertanian, kayu, jerami, sekam padi, atau kotoran ternak dalam kondisi sedikit atau tanpa oksigen pada suhu sekitar 300°C hingga 700°C.

Proses pirolisis menghasilkan tiga fraksi utama:

1. Fraksi padat: Biochar (produk utama)
2. Fraksi cair: Bio-oil (minyak pirolisis)
3. Fraksi gas: Gas sintetis (syngas)

Kualitas biochar sangat tergantung pada:

1. Jenis bahan baku (*feedstock*): Kayu, jerami, sekam, limbah organik, dll.

2. Suhu pirolisis: Semakin tinggi suhu, semakin tinggi kandungan karbon dan kestabilannya.
3. Waktu tinggal dan laju pemanasan: Berpengaruh terhadap porositas dan struktur biochar.

Biochar yang diproduksi pada suhu rendah ($<400^{\circ}\text{C}$) cenderung mengandung lebih banyak nutrisi, sementara suhu tinggi menghasilkan biochar yang lebih stabil dan tahan lama di dalam tanah (Lehmann & Joseph, 2009).

2.2.3 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik biochar sangat bergantung pada jenis bahan baku (*feedstock*) dan kondisi pirolisis yang digunakan selama proses produksinya. Parameter seperti suhu pirolisis, laju pemanasan, waktu tinggal, dan lingkungan reaksi (aerob atau anaerob) akan menentukan struktur akhir dari biochar yang dihasilkan (Mohan *et al.*, 2006; Lehmann & Joseph, 2009).

Secara umum, karakteristik fisik biochar meliputi warna hitam pekat, densitas rendah, dan permukaan berpori yang luas. Struktur pori yang kompleks dan luas permukaan yang tinggi memungkinkan biochar untuk menyerap dan menyimpan air serta gas, sehingga dapat meningkatkan retensi air dan memperbaiki struktur tanah (Lehmann *et al.*, 2011).

Karakteristik ini juga berkontribusi terhadap kemampuan biochar dalam meningkatkan aerasi dan kapasitas tanah menahan air, yang sangat bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman terutama di tanah-tanah yang miskin bahan organik atau bertekstur kasar.

Dengan demikian, karakteristik fisik biochar memberikan dasar ilmiah terhadap potensi aplikasinya dalam bidang pertanian dan pengelolaan tanah. Pemahaman yang komprehensif terhadap sifat-sifat fisik ini penting untuk menentukan efektivitas dan keberlanjutan penggunaan biochar di berbagai kondisi tanah dan iklim

2.2.4 Aplikasi Biochar dalam Pertanian dan Lingkungan

Biochar telah terbukti memiliki banyak manfaat dalam berbagai bidang, antara lain:

1. Pertanian:
 - a. Meningkatkan retensi air dan kapasitas hara tanah.
 - b. Meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang menguntungkan.
 - c. Mengurangi kehilangan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor akibat pencucian (*leaching*).
2. Lingkungan:
 - a. Menyerap logam berat dan polutan organik dari air dan tanah.
 - b. Berperan dalam remediasi tanah tercemar.
 - c. Mengurangi emisi gas rumah kaca seperti N_2O dan CH_4 .
 - d. Berfungsi sebagai penyimpan karbon jangka panjang, membantu mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer (Woolf *et al.*, 2010)

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses akumulasi suatu zat (disebut adsorbat) pada permukaan zat padat atau cair lain (disebut *adsorben*), yang terjadi akibat adanya gaya tarik-menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Proses ini hanya terjadi pada permukaan dan tidak melibatkan penyerapan ke dalam struktur internal adsorben, sehingga berbeda dengan absorpsi yang melibatkan difusi ke dalam fase cair atau padat (Ruthven, 1984). Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan interaksi yang terjadi, yaitu adsorpsi fisika (*fisikoadsorpsi*) dan adsorpsi kimia (*kimisorpsi*). Adsorpsi fisika terjadi melalui gaya van der Waals dan bersifat lemah serta reversible. Sebaliknya, adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben, bersifat lebih kuat, spesifik, dan cenderung irreversible (Do, 1998).

2.4 Filter

Filter merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengolahan air dan limbah yang berfungsi untuk memisahkan partikel padat dari fluida, baik berupa cairan maupun gas, dengan menggunakan media berpori. Proses pemisahan ini dikenal sebagai filtrasi, dan secara umum memanfaatkan perbedaan ukuran antara partikel tersuspensi dan pori-pori media filter. Dalam konteks pengolahan air, filter digunakan untuk menghilangkan kekeruhan, partikel tersuspensi, mikroorganisme, serta kadang-kadang senyawa organik maupun nutrisi tertentu seperti fosfat dan amonium (Metcalf & Eddy, 2003).

Secara prinsip, proses filtrasi yang dilakukan oleh filter bekerja dengan cara melewatkan fluida yang mengandung campuran partikel padat melalui suatu lapisan media filter. Partikel yang lebih besar dari ukuran pori media akan tertahan, sedangkan fluida bersih akan lolos dan dikumpulkan sebagai hasil filtrasi. Proses ini dapat bersifat fisik murni, namun dalam beberapa kasus juga melibatkan mekanisme adsorpsi, reaksi kimia, dan biologis, tergantung pada jenis media filter dan karakteristik zat pencemar yang hendak dihilangkan.

Dalam bidang teknik lingkungan, filter diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berdasarkan mekanisme kerja, arah aliran, jenis media filter, serta tujuan penggunaannya. Berdasarkan mekanismenya, filter dapat dibedakan menjadi:

1. Filter gravitasi, di mana air mengalir melalui media filter akibat gaya gravitasi. Contoh umum adalah *slow sand filter* yang digunakan dalam instalasi pengolahan air bersih.
2. Filter tekanan (*pressure filter*), yaitu sistem filtrasi tertutup di mana air dipaksa melewati media filter dengan bantuan tekanan. Jenis ini sering digunakan pada skala industri maupun sistem pengolahan air minum skala rumah tangga.
3. Filter vakum, yang memanfaatkan tekanan negatif untuk menarik fluida melalui media filter. Sistem ini banyak digunakan dalam industri kimia dan farmasi.
4. Filter membran, menggunakan lapisan tipis semi-permeabel untuk memisahkan zat terlarut atau mikroorganisme berdasarkan ukuran

molekul. Filtrasi membran mencakup mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis.

Berdasarkan arah aliran, filter dapat dibedakan menjadi aliran atas ke bawah (*downflow*) dan aliran bawah ke atas (*upflow*). Filter dengan aliran ke bawah umumnya digunakan dalam sistem penyaringan pasir lambat dan cepat, sedangkan aliran ke atas biasa ditemukan pada sistem biofilter anaerob dan filter pasir terbalik. Sementara itu, berdasarkan tujuan penggunaannya, filter dikategorikan sebagai filter untuk penghilangan padatan tersuspensi (TSS), penurunan kekeruhan, penyisihan nutrisi, pengendalian mikroorganisme, atau kombinasi dari fungsi-fungsi tersebut.

Media filter memainkan peran utama dalam efektivitas proses filtrasi. Media yang umum digunakan dalam sistem filtrasi konvensional meliputi:

1. Pasir silika, digunakan untuk menyaring partikel kasar hingga sedang. Digunakan dalam sand filter konvensional.
2. Kerikil, sebagai lapisan pendukung untuk mencegah terbawanya media halus dan memperlancar distribusi aliran.
3. Karbon aktif, memiliki kemampuan adsorpsi tinggi, terutama untuk menghilangkan senyawa organik, bau, warna, dan logam berat.
4. Zeolit, digunakan untuk menyerap amonium dan ion-ion logam melalui pertukaran ion.
5. Arang sekam, biochar, dan material organik lainnya, digunakan sebagai filter alami atau alternatif yang berkelanjutan dan ekonomis.

Pemilihan jenis media harus mempertimbangkan beberapa faktor, antara lain karakteristik air limbah, ukuran partikel yang akan disaring, kecepatan aliran, serta tujuan akhir dari pengolahan. Kombinasi berbagai media dalam satu sistem filter (yang disebut multimedia filter) dapat meningkatkan efektivitas penyaringan dan memperluas spektrum polutan yang dapat dihilangkan.

Filter banyak diterapkan dalam sistem pengolahan air minum, pengolahan air limbah domestik maupun industri, sistem resirkulasi akuakultur, serta sistem pengolahan limpasan pertanian. Dalam pengolahan air limbah domestik, filter biasanya ditempatkan setelah unit sedimentasi sebagai proses polishing, bertujuan untuk menurunkan kekeruhan dan partikel tersuspensi yang belum terendapkan. Di sisi lain, dalam sistem sanitasi berbasis lahan, seperti *constructed wetland*, filter menjadi bagian integral dari media tumbuh yang mendukung proses penyisihan secara biologis dan fisik.

Salah satu aplikasi penting filter dalam pengelolaan air adalah dalam pengurangan beban nutrien, terutama nitrogen dan fosfor. Kandungan amonium (NH_4^+) dan fosfat (PO_4^{3-}) dalam air limbah berpotensi menyebabkan eutrofikasi jika dilepaskan ke badan air secara langsung. Penggunaan media filter seperti zeolit, biochar, atau kombinasi media organik dan anorganik terbukti mampu menurunkan kadar nutrien ini melalui mekanisme adsorpsi, pertukaran ion, dan penyerapan oleh mikroorganisme.

Dari sisi keunggulan, sistem filtrasi dengan menggunakan filter memiliki beberapa manfaat yang signifikan. Di antaranya adalah desain yang sederhana, biaya operasi yang relatif rendah, dan kemudahan dalam instalasi serta

pemeliharaan. Selain itu, sistem ini dapat beroperasi tanpa memerlukan energi listrik tinggi, sehingga cocok diterapkan pada skala rumah tangga maupun komunitas, terutama di daerah pedesaan atau terpencil. Keunggulan lainnya adalah kemampuannya untuk bekerja secara pasif dan berkelanjutan, terutama jika dikombinasikan dengan sistem berbasis ekologi seperti biofilter atau wetland buatan.

Namun demikian, sistem filter juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu tantangan utama adalah penyumbatan (*clogging*), yang terjadi ketika partikel padat menumpuk pada permukaan atau di dalam media filter, sehingga menghambat aliran air. Hal ini memerlukan pencucian balik (*backwashing*) atau penggantian media secara berkala untuk mempertahankan efisiensi filtrasi. Selain itu, filter konvensional tidak efektif dalam menghilangkan zat Satau kontaminan mikro seperti virus, kecuali jika menggunakan teknologi filtrasi membran yang jauh lebih mahal dan kompleks.

Efektivitas filter dalam mengolah air limbah ditentukan oleh sejumlah parameter teknis, seperti laju filtrasi (*filtration rate*), ukuran dan distribusi pori media, ketebalan media, waktu tinggal hidraulik (*hydraulic retention time*), serta kualitas awal air limbah. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan desain sistem filtrasi, penting dilakukan uji pendahuluan (*pilot test*) untuk menentukan konfigurasi filter yang paling sesuai dengan karakteristik lokal.

Secara keseluruhan, filter merupakan komponen penting dalam teknologi pengolahan air yang berperan sebagai penghalang fisik terhadap partikel, agen biologis, maupun zat pencemar tertentu. Peran filter akan menjadi semakin krusial

di masa mendatang seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem pengolahan air yang berkelanjutan, efisien, dan berbiaya rendah, terutama di wilayah yang belum terlayani oleh sistem pengolahan terpusat. Inovasi dalam pemanfaatan media filter alami, seperti biochar atau limbah pertanian, serta integrasi filter dengan proses biologis dan kimia lainnya, menjadi arah pengembangan teknologi filtrasi yang ramah lingkungan dan adaptif terhadap tantangan lokal.

2.5 Konsentrasi Amonia dan Fosfat serta Unsur Nitrogen (N) dan Fosfor (P)

2.5.1 Konsentrasi Amonia (NH_3) dan Unsur Nitrogen (N)

Amonia merupakan salah satu bentuk nitrogen anorganik yang penting dalam siklus nitrogen di lingkungan dan pertanian. NH_3 biasanya terbentuk dari dekomposisi bahan organik atau sebagai hasil proses mineralisasi oleh mikroorganisme tanah (Bouwman *et al.*, 2013).

Peran dan dampak konsentrasi amonia yang tinggi dalam tanah atau air dapat menyebabkan eutrofikasi dan pencemaran lingkungan (Camargo & Alonso, 2006). Dalam pertanian, amonia adalah sumber nitrogen yang mudah diserap tanaman, namun volatilitasnya yang tinggi dapat menyebabkan kehilangan nitrogen ke atmosfer, sehingga efisiensi penggunaan nitrogen menjadi rendah (Snyder *et al.*, 2009).

Pengukuran dan faktor pengaruh Konsentrasi NH_3 dalam tanah atau air dipengaruhi oleh pH, suhu, kelembaban, dan aktivitas mikroorganisme (Gupta & Gupta, 2017). Pemupukan nitrogen, pengelolaan limbah, dan aplikasi biochar juga dapat mempengaruhi kadar amonia di media tersebut (Lehmann *et al.*, 2011).

2.5.2 Konsentrasi Fosfat (PO_4^{3-}) dan Unsur Fosfor (P)

Fosfat merupakan bentuk utama fosfor yang tersedia untuk tanaman dan mikroorganisme. Fosfor penting dalam proses metabolisme dan pembentukan biomolekul seperti ATP dan asam nukleat (Schachtman *et al.*, 1998).

Peran dan dampak Fosfat sering menjadi faktor pembatas dalam produktivitas tanah karena mobilitasnya yang rendah dan mudah mengendap dalam bentuk kompleks mineral. Konsentrasi fosfat yang tinggi di perairan dapat menyebabkan eutrofikasi, yang berujung pada penurunan kualitas air dan kematian organisme air (Carpenter *et al.*, 1998).

Pengukuran dan faktor pengaruh ketersediaan fosfat dipengaruhi oleh pH tanah, keberadaan ion logam seperti Fe^{3+} dan Al^{3+} yang dapat mengikat fosfat, serta aktivitas mikroba (Hinsinger, 2001). Aplikasi pupuk fosfat dan biochar dapat memodifikasi konsentrasi dan ketersediaan fosfat di tanah (Yang *et al.*, 2018).

2.6 Baku Mutu Air

Baku mutu air adalah standar yang menetapkan batas maksimum konsentrasi zat atau parameter fisik, kimia, dan biologi dalam air yang masih diperbolehkan agar air tersebut aman untuk digunakan sesuai tujuan tertentu (Misal: air minum, irigasi, rekreasi, atau habitat akuatik) (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014)

2.6.1 Parameter Baku Mutu Air

Parameter umum dalam baku mutu air meliputi:

1. Fisika: suhu, warna, kekeruhan, bau

2. Kimia: pH, oksigen terlarut (DO), bahan organik (BOD, COD), logam berat (Hg, Pb, Cd), nutrien (nitrogen, fosfor), amonia (NH_3), fosfat (PO_4^{3-})
3. Biologi: coliform bakteri, patogen

Tujuan penetapan baku mutu untuk Menjamin kualitas air yang aman bagi manusia, ekosistem, dan aktivitas lainnya (Sembiring *et al.*, 2012). Baku mutu juga menjadi acuan dalam pengelolaan dan pengendalian pencemaran air.

2.6.2 Air Limbah dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air

Air limbah adalah cairan buangan dari kegiatan domestik, industri, pertanian, atau aktivitas lainnya yang mengandung berbagai polutan (Anonim, 2018).

1. Air Limbah Domestik: mengandung bahan organik, nutrien (N dan P), mikroorganisme
2. Air Limbah Industri: bisa mengandung logam berat, bahan kimia berbahaya, senyawa organik kompleks
3. Air Limbah Pertanian mengandung pestisida, nutrien berlebih (amonia, nitrat, fosfat)

Pembuangan air limbah tanpa pengolahan dapat meningkatkan kadar bahan pencemar seperti amonia, fosfat, bahan organik (BOD, COD), dan logam berat dalam badan air. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas air, eutrofikasi, dan gangguan ekosistem akuatik (Meybeck, 2003).

2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Rana Fajriaty, Anggrika Riyanti, Marhadi (2023)	Pengaruh Penggunaan Biochar dan Aerasi untuk Pengolahan Air Limbah Domestik	1. Pembuatan Biochar: Tatal karet dipirolisis menggunakan furnace berkapasitas 3 liter dengan bahan baku 7 kg tatal karet. Proses dilakukan pada suhu 350°C selama 1 jam. 2. Pengambilan Sampel: Sampel air limbah domestik diambil dengan metode grab sampling pada bagian inlet, sesuai SNI 6989.59:2008. Sampel disimpan dalam wadah gelap berkapasitas 30 liter. 3. Pengujian Sampel Air Limbah: Dilakukan pengujian awal untuk mengetahui konsentrasi BOD₅ dan amonia. Pada reaktor wetland (dengan dan tanpa aerasi), waktu tinggal 2 hari, dilanjutkan dengan pengendapan selama 1 jam sebelum pengujian akhir BOD₅ dan amonia di outlet. Pengendapan bertujuan mengurangi	1. Penggunaan biochar dan aerasi untuk pengolahan limbah domestik pada constructed wetland dinilai efektif dalam menurunkan parameter pH, BOD₅ dan amonia. Penurunan BOD₅ berada dalam rentang hasil uji akhir 89,25 % – 99,57 % dan amoniak -8,60 % – 77,26 % serta netralisasi 7,60-7,17 2. Variasi waktu aerasi dan komposisi biochar pada media tanam memberikan pengaruh dalam menurunkan konsentrasi BOD₅ dan amoniak serta dalam menetralkan pH. Variasi media tanam biochar : tanah 1:3 lebih optimal pada penyisihan BOD₅ dan amoniak daripada variasi 1:1 dan 1:2. Reaktor dengan variasi waktu aerasi 1 jam : 4 jam lebih optimal daripada 1 jam : 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa aerasi dan biochar

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
			kekeruhan akibat tanah.	memberikan pengaruh pada penyisihan BOD5 dan amoniak. Jumlah biochar dan waktu aerasi yang lebih sedikit sudah cukup optimal
2	Fransiskus Vebrian Kenedy, I Made Nada, I Gusti Ngurah Made Wiratama, I Made Wahyu Wijaya (2024)	Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi Biochar terhadap Penyerapan Ion Fosfat dalam Air Limbah Sintetis	Penelitian bersifat eksperimen kuantitatif melalui tiga tahap: persiapan (studi literatur tentang waktu kontak adsorpsi biochar terhadap fosfat), pelaksanaan (pengumpulan data primer dan sekunder), dan penyelesaian (analisis efektivitas waktu kontak terhadap penurunan fosfat dalam air limbah sintetis). Biochar dari kulit durian diaktivasi dengan $MgCl_2$, lalu diuji dalam larutan fosfat pH 9. Pengambilan sampel dilakukan pada menit ke-0, 5, 20, 60, 90, dan 120. Konsentrasi fosfat diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm, dan kurva kalibrasi digunakan untuk menentukan hubungan linier antara waktu kontak dan efektivitas adsorpsi.	Penurunan konsentrasi fosfat paling besar terjadi pada waktu kontak 20 menit, yaitu sebesar 46,63 mg/L (23,32%) dengan massa adsorpsi 9,326 mg/g. Penurunan paling signifikan berlangsung antara 60–120 menit, dengan konsentrasi fosfat stabil di 155,191 mg/L, menunjukkan proses pengurangan fosfat yang efektif dalam rentang waktu tersebut.
3	Xichang Wu, Wenxuan Quan, Qi Chen, Wei Gong, and Anping	<i>Efficient Adsorption of Nitrogen and Phosphorus in</i>	Metode penelitian yang digunakan berupa tinjauan pustaka (review study) yang menganalisis berbagai hasil penelitian terkait adsorpsi nitrogen dan	4. Biochar berpori tinggi dan bergugus fungsional aktif mampu mengadsorpsi N dan P secara efektif.

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
	Wang (2022)	<i>Wastewater by Biochar</i>	fosfor oleh biochar. Kajian mencakup: 1. Pembuatan biochar melalui proses pirolisis biomassa. 2. Modifikasi biochar secara kimia (Fe, Ca, Mg, La), fisik (aktivasi uap, ball milling, radiasi UV), dan biologis (melibatkan mikroorganisme). 3. Faktor-faktor yang memengaruhi adsorpsi, seperti jenis bahan baku, suhu pirolisis, pH larutan, serta keberadaan ion pengganggu. 4. Analisis juga membandingkan hasil penelitian terdahulu berdasarkan model adsorpsi (Langmuir, Freundlich, dan Pseudo-second order) untuk menjelaskan mekanisme penyerapan nitrogen dan fosfor dari air limbah.	1. Modifikasi dengan logam (Fe, Ca, Mg, La) meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga >500 mg/g untuk fosfor dan >100 mg/g untuk amonium. 2. Mekanisme utama: presipitasi, pertukaran ion, dan kompleksasi. 3. Biochar jenuh fosfat dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk. 4. Tantangan: potensi polusi sekunder dari bahan kimia modifikasi dan perlunya optimasi kondisi pirolisis.