

# Sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* Menggunakan Mikroalga dalam Menyisihkan Amonia (NH<sub>3</sub>-N) dan Fosfat (PO<sub>4</sub>) Pada Air Limbah Tahu

Asmawati<sup>1</sup>, Yayok Suryo Purnomo<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

\*Koresponden email: yayoksp.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 3 Mei 2024

Disetujui: 12 Mei 2024

## Abstract

The tofu industry produces wastewater containing high levels of ammonia (NH<sub>3</sub>-N) and phosphate (PO<sub>4</sub>). High levels of pollutants cause water pollution when tofu wastewater is discharged directly into the environment. An alternative biological treatment to overcome this problem is to use the microalgae *Nannochloropsis oculata* suspended and attached to form a biofilm in the *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). This research aims to determine the effect of variations in media, media volume and sampling time on the reduction of NH<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub> levels in tofu wastewater using the MBBR system with the microalgae *Nannochloropsis oculata* continuously. The MBBR reactor was operated with different sponge media of 20%, 30% and 40%; bioball media of 20%, 30% and 40%; and sampling time variations of 0, 4, 8, 12 hours (after 24 hours HRT). The research results showed that variations in the type of sponge media, with a media volume of 20% of the wastewater volume, were best at degrading ammonia and phosphate in tofu wastewater with an operating time of 12 hours. The highest percentage of ammonia and phosphate removal achieved in a 20% sponge media at the 12th hour of sampling was 90.83% and 72.45% with parameter values of 0.43 mg/L and 7.5 mg/L respectively.

**Keywords:** MBBR, *microalga nannochloropsis oculata*, bioball, sponge (biocube), tofu waste water

## Abstrak

Industri tahu menghasilkan air limbah yang mengandung amonia (NH<sub>3</sub>-N) dan fosfat (PO<sub>4</sub>) yang tinggi. Kandungan polutan yang tinggi menyebabkan pencemaran air jika air limbah tahu dibuang langsung ke lingkungan. Salah satu alternatif pengolahan biologis untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* secara tersuspensi dan terlekat membentuk biofilm pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi media, volume media, dan waktu sampling terhadap penurunan kadar NH<sub>3</sub>-N dan PO<sub>4</sub> pada air limbah tahu dengan sistem MBBR menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* secara kontinyu. Reaktor MBBR dioperasikan dengan variasi media spons 20%, 30%, dan 40%; media bioball 20%, 30%, dan 40%; dan variasi waktu sampling 0, 4, 8, 12 jam (setelah HRT 24 jam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis media spons dengan volume media sebanyak 20% dari volume air limbah terbaik dalam mendegradasi amonia dan fosfat dalam air limbah tahu dengan waktu sampling ke-12 jam. Persentase removal amonia dan fosfat tertinggi pada media spons 20% dengan pengambilan sampel jam ke-12 sebesar 90,83%, dan 72,45% dengan nilai pada setiap parameter sebesar 0,43 mg/L, dan 7,5 mg/L.

**Kata Kunci:** MBBR, *mikroalga nannochloropsis oculata*, bioball, spons (biocube), air limbah tahu

## 1. Pendahuluan

Proses pengolahan tahu menghasilkan limbah organik berupa limbah padat dan cair. Air limbah tahu yang dihasilkan terdapat kandungan TSS, BOD, COD, nitrogen, dan fosfor yang tinggi [1]. Air limbah tahu juga mengandung kadar amonia dan fosfat yang tinggi. Kadar amonia yang tercemar di lingkungan di atas 0,1 mg/L dapat menyebabkan ekosistem biota perairan menjadi terganggu dan dapat menyebabkan penyakit pada tubuh manusia. Kadar fosfat yang tinggi dapat mempengaruhi penetrasi cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan dan berkurangnya distribusi oksigen bagi biota perairan dikarenakan tidak terkendalinya pertumbuhan tanaman air [2].

Air limbah tahu yang mengandung bahan organik tinggi harus diolah terlebih dahulu sebelum air limbah dibuang ke lingkungan. Metode pengolahan biologis umumnya digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung bahan organik [3]. Pengolahan berbasis biofilm adalah salah satu pengolahan biologis yang dapat digunakan. *Rotating biological contactors* (RBC), *granular media biofilters*, dan

*trickling filter* merupakan beberapa jenis pengolahan biologis berbasis biofilm yang umum digunakan. Namun, penggunaan pengolahan biologis berbasis biofilm terdapat beberapa kelemahan dalam mengolah air limbah antara lain RBC yang sering mengalami kerusakan, *granular media biofilters* membutuhkan *backwash* yang berakibat pengoperasiannya sering berhenti, dan menggunakan *trickling filter* volume kerja yang kurang efektif. Oleh karena itu, cara untuk mengatasi beberapa kelemahan pada masing-masing reaktor dapat dilakukan pengolahan biologis berbasis biofilm berupa MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) untuk mengolah air limbah [4].

Mikroalga merupakan biomassa potensial yang dapat digunakan dalam proses MBBR. Mikroalga menghasilkan Soluble Algal Products (SAPs) terdiri dari polisakarida dan protein yang berfungsi sebagai proses tumbuh dan melekatnya mikroalga pada permukaan media *biocarrier* [5]. Mikroalga *Nannochloropsis oculata* merupakan jenis mikroalga uniseluler yang termasuk dalam kelas *Eustigmatophyceae*, berukuran 2 hingga 5 mikron dan memiliki 2 flagela dimana salah satu flagela memiliki rambut tipis serta mempunyai dinding sel yang tersusun dari selulosa. *Nannochloropsis sp.* sangat mudah dibudidayakan secara terus menerus karena laju pertumbuhannya yang tinggi dengan masa panen yang singkat [6]. Mikroalga *Nannochloropsis sp.* mampu menurunkan kandungan bahan organik berupa N-NH<sub>3</sub> sebesar 98%, P-PO<sub>4</sub> sebesar 89%, dan N-total sebesar 92% pada limbah cair karet remah [7]. Selain itu, pada penelitian sebelumnya mikroalga *Nannochloropsis oculata* mampu menyisihkan parameter NH<sub>3</sub>-N sebesar 80% dan PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P sebesar 63,7% pada limbah domestik [8].

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses pengolahan menggunakan MBBR adalah kadar pencemar organik (*organicloading rate*), jumlah mikroorganisme yang menempel pada media *biocarrier* (*fill medium loading rate*), jumlah oksigen terlarut di dalam air (*Dissolved Oxygen*), waktu tinggal pada reaktor dengan dipenuhi media *biocarrier* yang dibutuhkan oleh air limbah (*Hydraulic Loading Rate*), dan luas permukaan media *biocarrier* yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm (*specific surface area*) [9].

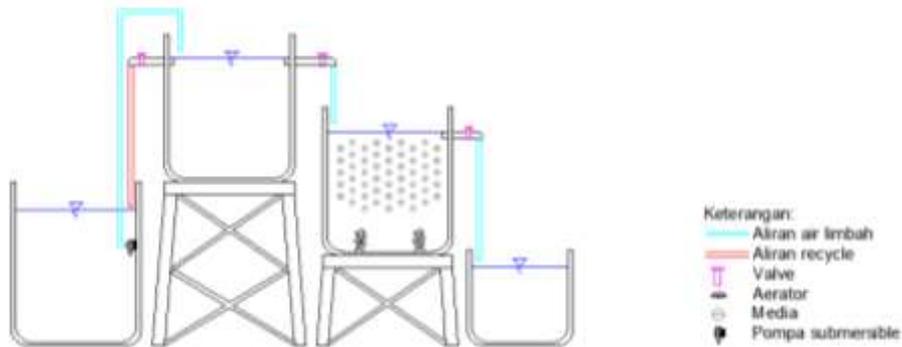
Pada penelitian ini difokuskan untuk mengetahui kemampuan sistem MBBR dengan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* dalam meremoval kandungan amonia dan fosfat pada air limbah tahu dengan variasi media *biocarrier* dan waktu tinggal yang berbeda untuk melihat efisiensi penyisihan amonia dan fosfat yang optimum. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk pengolahan bahan organik dengan agen biologis yang memiliki potensi removal tinggi dan mudah dibudidayakan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) menggunakan mikroalga (*Nannochloropsis oculata*) dalam skala laboratorium. Sampel yang digunakan yaitu berasal dari bak pengendapan industri tahu di Kecamatan Tambaksari, Surabaya. Penelitian diawali dengan tahap kultur mikroalga yang bertujuan untuk memperbanyak mikroalga sesuai dengan jumlah kebutuhan penelitian dan dilanjutkan dengan tahap *seeding* sampai terbentuk biofilm pada media. Kemudian tahap aklimatisasi sebagai langkah mikroorganisme untuk beradaptasi pada kondisi lingkungan penelitian, selanjutnya dilakukan penelitian utama yang berlangsung secara kontinyu.

Parameter yang diukur adalah konsentrasi amonia (NH<sub>3</sub>-N) dan fosfat (PO<sub>4</sub>). Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi jenis media (bioball dan spons), volume media (20%, 30%, dan 40% dari volume air limbah) dan waktu sampling yang digunakan yaitu 0, 4, 8, dan 12 jam setelah HRT 24 jam.

Reaktor MBBR yang digunakan pada penelitian ini yaitu memiliki kapasitas volume 16 L dengan volume pengolahan air limbah pada setiap reaktor sebanyak 10 L. Media bioball dan spons (*biocube*) yang digunakan terdapat variasi volume media 20%, 30%, dan 40% dari volume air limbah. Seluruhnya terdapat 7 reaktor, dengan 3 reaktor untuk media bioball dengan masing-masing reaktor diisi volume media bioball 20%, 30%, dan 40%, dan 3 reaktor spons dengan masing-masing reaktor diisi volume media spons 20%, 30%, dan 40%, serta 1 reaktor kontrol berupa tersuspensi mikroalga 50% volume air limbah dan tanpa diisi media. Reaktor MBBR pada penelitian utama dijalankan secara kontinyu dengan debit 7 ml/menit. Rancangan reaktor MBBR yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Skema Reaktor MBBR  
Sumber: Hasil Analisis (2024)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Karakteristik Air Limbah Tahu

Uji karakteristik air limbah tahu digunakan untuk mengetahui kadar awal parameter amonia dan fosfat pada air limbah tahu, yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu air dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Hasil analisa awal parameter amonia dan fosfat pada air limbah tahu dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Karakteristik Air Limbah Tahu

Parameter	Hasil Analisis (mg/L)	Baku Mutu* (mg/L)
Amonia (NH <sub>3</sub> -N)	4,69	0,5
Fosfat (PO <sub>4</sub> )	27,22	1

Sumber: Hasil Analisis, (2024)

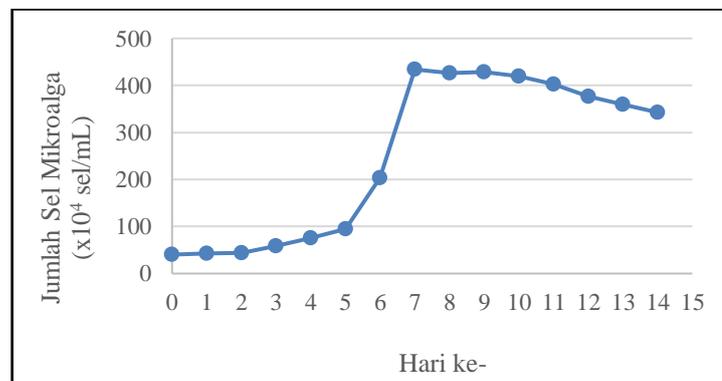
Keterangan:

\*) Lampiran VI PP No. 22 Tahun 2021

Hasil uji karakteristik air limbah tahu pada **Tabel 1** menunjukkan nilai parameter NH<sub>3</sub>-N dan PO<sub>4</sub> sebesar 4,69 mg/L dan 27,22 mg/L. Kandungan nilai parameter amonia dan fosfat pada air limbah tahu masih melebihi dari baku mutu air pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum air limbah dibuang ke badan air.

#### 3.2. Tahap Kultur Mikroalga

Kultur mikroalga *Nannochloropsis oculata* dilakukan untuk memperbanyak mikroalga sesuai dengan jumlah kebutuhan penelitian. Selama proses kultur, dilakukan analisis kepadatan sel mikroalga *Nannochloropsis oculata*. Pengamatan laju pertumbuhan mikroalga digunakan untuk mengetahui fase eksponensial pertumbuhan mikroalga. Mikroalga dapat dipanen pada saat fase eksponensial dimana terjadinya peningkatan jumlah sel mikroalga. Fase eksponensial mengalami peningkatan aktivitas fotosintesis yang disebabkan adanya sel-sel mikroalga secara aktif membelah dengan kecepatan maksimum [10]. Analisis dilakukan setiap hari selama 14 hari untuk mengetahui kondisi optimum pemanenan. Grafik hasil perhitungan jumlah sel mikroalga dapat dilihat pada **Gambar 2**.



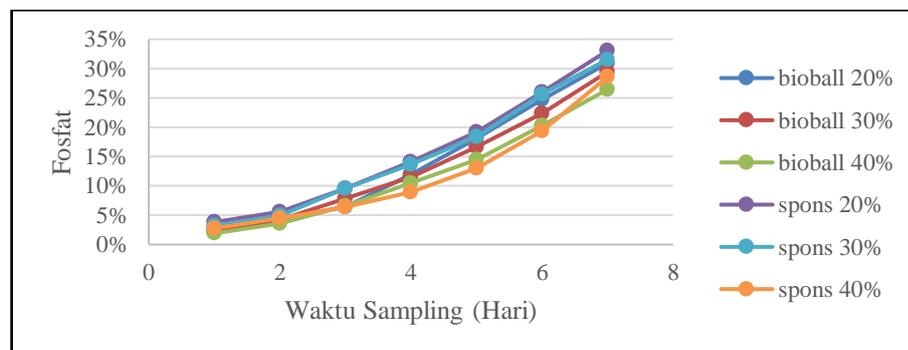
**Gambar 2.** Laju Pertumbuhan Mikroalga Berdasarkan Jumlah Sel *Nannochloropsis oculata*  
Sumber: Hasil Analisis, (2024)

Laju pertumbuhan mikroalga *Nannochloropsis oculata* pada **Gambar 2**, hari ke-0 hingga 2 menunjukkan fase lag atau adaptasi yang berlangsung secara singkat. Fase eksponensialnya terjadi pada hari ke-3 hingga ke-7 dengan puncak pertumbuhan diperoleh jumlah sel sebanyak  $434 \times 10^4$  sel/mL. Pada kondisi optimum terjadi peningkatan kemampuan sel mikroalga untuk membelah diri dan melakukan fotosintesis, sehingga terjadi peningkatan jumlah sel [11]. Fase stasioner terjadi pada hari ke-8 dan 9, dimana sel mikroalga mengalami penambahan dan pengurangan jumlah sel yang seimbang dan konstan [12]. Hari ke-10 hingga ke-14 adalah fase kematian, pertumbuhan mikroalga secara alami akan semakin menurun, karena nutrisi yang semakin menurun seiring dengan jumlah sel yang semakin meningkat [13]. Selama proses kultur mikroalga, pengamatan terhadap pH dan suhu dilakukan untuk memastikan kondisi lingkungan optimal bagi pertumbuhan mikroalga. Nilai pH mikroalga saat kultur berada pada rentang 7,9-8,2, dan suhu antara  $28,3^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ , kondisi tersebut merupakan kondisi ideal dan sesuai untuk pertumbuhan mikroalga [14].

### 3.3. Seeding dan Aklimatisasi

Pada penelitian ini dilakukan *seeding* untuk menghasilkan mikroorganisme yang siap digunakan pada saat proses MBBR berlangsung. Tahap *seeding* dilakukan secara *batch* dan dipantau setiap hari, hingga terbentuk lapisan lendir berwarna kecoklatan pada media dan tidak mudah lepas dari media, maka dapat dipastikan bahwa mikroorganisme telah tumbuh pada media [15]. Pertumbuhan biofilm mulai terlihat pada hari ke - 7 yaitu ditandai dengan muncul lendir berwarna coklat di permukaan media bioball dan untuk media spons (*biocube*) lendir berwarna coklat juga mulai tumbuh di beberapa rongga media. Pada hari ke - 12 biofilm tumbuh semakin merata baik di media bioball dan spons (*biocube*). Total waktu seeding pada penelitian ini yaitu selama 14 hari, dimana biofilm semakin tebal dan dapat dilihat secara visual. Pada bioball ketebalan mencapai 0,3 cm dan ketebalan pada spons (*biocube*) 0,2 cm.

Aklimatisasi adalah tahap adaptasi mikroorganisme agar mikroorganisme yang tumbuh dapat hidup dan bertahan dengan kondisi limbah yang akan digunakan. Pada proses aklimatisasi berlangsung dilakukan pengukuran fosfat setiap hari yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikroorganisme dalam mengolah air limbah. Pada proses aklimatisasi penyisihan kadar fosfat telah menunjukkan nilai yang stabil pada semua reaktor sejak hari ke - 5 sampai hari ke - 7. Penurunan nilai fosfat yang stabil dan tidak lebih dari 10% menunjukkan bahwa keadaan di setiap reaktor sudah pada kondisi *steady state* dan bisa dilanjutkan dengan penelitian utama. Kondisi *steady state* terjadi ketika penyisihan kontaminan organik yang dihilangkan mendekati nilai yang konstan atau stabil [16]. Grafik penyisihan  $\text{PO}_4$  selama proses aklimatisasi berlangsung dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Grafik penyisihan  $\text{PO}_4$  selama proses aklimatisasi  
 Sumber: Hasil Analisis, (2024)

### 3.4. Pengaruh variasi media, volume media, dan waktu sampling terhadap penurunan kadar amonia ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

Pada **Gambar 4** menunjukkan grafik penyisihan amonia menggunakan reaktor MBBR dengan perlakuan media bioball dan spons (*biocube*) dengan variasi volume media 20%, 30%, dan 40% dari volume air limbah, serta tanpa media yaitu penambahan mikroalga 50% dari volume air limbah. Persentase penyisihan amonia tertinggi terjadi pada reaktor MBBR dengan jenis media spons dan volume isian media sebanyak 20% memperoleh hasil sebesar 90,83%. Alasan media spons (*biocube*) memperoleh hasil persentase penyisihan yang tinggi daripada dengan media bioball adalah karena media spons mempunyai porositas (volume rongga) yang lebih besar dibandingkan dengan media bioball, pori-pori yang lebih besar dapat mempengaruhi pertumbuhan biofilm pada media, dan dibandingkan dengan media plastik lainnya media spons memungkinkan mikroorganisme untuk tumbuh dan menempel pada media sehingga

menghasilkan pembentukan biofilm yang lebih banyak [17]. Spons memiliki porositas lebih dari 95% dan luas permukaan media yang besar sebagai tempat mikroorganisme tumbuh dan menempel [18]. Reaktor MBBR dengan menggunakan media bioball memperoleh nilai penurunan yang lebih rendah dibandingkan dengan media spons karena bioball terbuat dari bahan *thermoplastic*, dimana tumbuhnya biofilm pada media berbahan plastik biasanya hanya terbentuk pada permukaan yang terlindungi, dan saat bertumbukan antar media lain maka biofilm pada permukaan terbuka yang tidak terlindungi akan terkelupas [19].

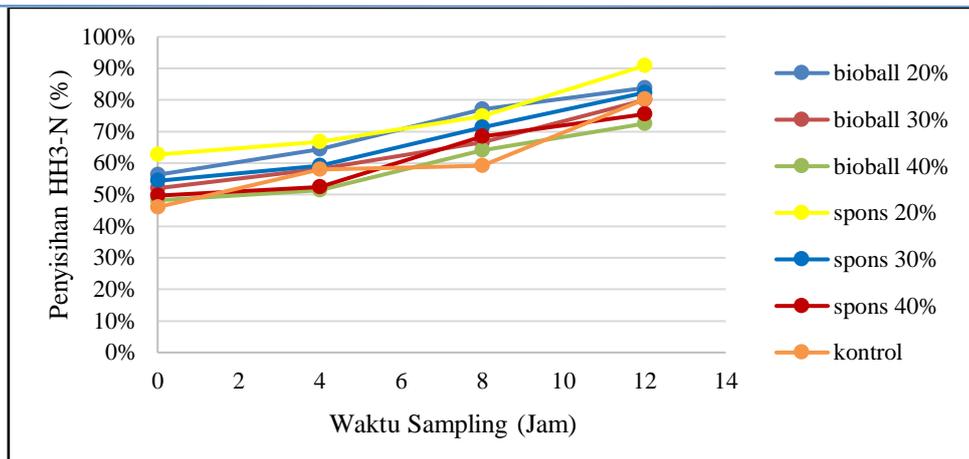
Volume isian media sebesar 20% memberikan hasil penyisihan  $\text{NH}_3\text{-N}$  lebih tinggi daripada volume media 30% dan 40%. Hal ini disebabkan volume pengisian *biocarrier* sebesar 20% optimal sehingga menyebabkan aerasi yang merata baik untuk pertumbuhan melekat maupun suspensi. Aerasi yang merata dapat menjadikan pertumbuhan sel antara kedua proses pertumbuhan seimbang sehingga menghasilkan fase eksponensial yang lama dengan jumlah sel yang terus mengalami peningkatan. Volume pengisian media 20% merupakan volume media yang ideal karena pengadukan tidak terlalu cepat maupun tidak terlalu lambat, sehingga dapat mencegah biofilm lepas akibat benturan dan kekurangan nutrisi. Pergerakan media *fluidized* yang seragam membantu mendistribusikan nutrisi pada air limbah melalui aerasi. Media memperoleh nutrisi yang lebih merata, sehingga dapat mencegah akumulasi biomassa pada media [20].

Sedangkan, nilai persentase penyisihan amonia menggunakan reaktor MBBR tanpa media (mikroalga *Nannochloropsis oculata* 50%) sebagai media kontrol sebesar 80,17%. Air limbah tanpa *biocarrier* tetap terjadi penurunan amonia, namun tidak sebesar pada reaktor MBBR dengan penambahan media spons dan bioball. Adanya penambahan media dapat menyebabkan jumlah mikroorganisme pada reaktor akan bertambah, begitu pula efektivitas pengurangan kontaminan yang meningkat. Hal ini disebabkan karena pada reaktor yang menggunakan media terjadi 2 proses degradasi yaitu proses pertumbuhan melekat (*attached growth*) dan proses pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), sedangkan reaktor yang tidak menggunakan media, proses degradasi hanya dilakukan oleh bakteri yang menggunakan kultur tersuspensi (*suspended growth*) [9].

Penyisihan amonia secara biologis terjadi melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrifikasi merupakan proses pengkonversian amonia menjadi nitrit yang dibantu oleh bakteri *nitrosomonas* kemudian diubah menjadi nitrat oleh bakteri *nitrobacter* [21]. Mikroalga menghasilkan EPS (Ekstraseluler Polimerik Substansi) untuk menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat pada air limbah sebagai nutrisi. Namun air limbah tahu ditemukan kadar amonia bukan nitrat. Oleh karena itu, amonia perlu diubah menjadi nitrat agar dapat diserap oleh mikroalga. Proses pengubahan amonia menjadi nitrat tersebut dilakukan oleh bakteri nitrifikasi [22]. Nitrat yang dihasilkan akan diserap mikroalga sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan [23].

Pada **Gambar 4** menunjukkan bahwa persentase penyisihan amonia tertinggi terjadi pada masing-masing variasi media MBBR dengan waktu sampling ke-12 jam (setelah HRT 24 jam). Persentase penyisihan amonia ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) pada reaktor MBBR dengan media spons 20% sebesar 62,69% - 90,83%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 mencapai penyisihan 62,69% dan mengalami penyisihan amonia tertinggi pada waktu sampling jam ke-12 yaitu 90,83%. Pada reaktor MBBR dengan media bioball 20% penyisihan ammonia berkisar antara 56,29% - 83,80%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 sebesar 56,29% dan mencapai penurunan tertinggi pada waktu sampling ke-12 jam sebesar 83,80%. Sedangkan, nilai persentase penyisihan ammonia menggunakan reaktor MBBR tanpa media (mikroalga *Nannochloropsis oculata* 50%) sebagai media kontrol berkisar antara 46,06% - 80,17%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 sebesar 46,06% dan mencapai penyisihan tertinggi pada jam ke-12 sebesar 80,17%.

Penurunan konsentrasi amonia selama proses pengolahan dipengaruhi oleh waktu sampling. Hal ini menunjukkan bahwa amonia mampu diserap oleh mikroalga. Penurunan konsentrasi amonia terbesar terjadi pada waktu sampling ke-12 jam (setelah HRT 24 jam). Semakin lama waktu pengoperasian, maka penyisihan amonia akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan air limbah tahu dan mikroorganisme akan bersentuhan dalam waktu yang cukup lama. Singkatnya waktu pengoperasian pada reaktor dapat mempengaruhi optimalisasi proses penyisihan amonia yang dilakukan oleh mikroorganisme, sehingga penyisihan konsentrasi amonia semakin rendah [24].



**Gambar 4.** Hubungan Persentase Removal Amonia (NH<sub>3</sub>-N) Air Limbah Tahu Menggunakan Media Bioball, Spons (*Biocube*), dan Tanpa Media dalam Reaktor MBBR dengan waktu sampling (setelah HRT 24 jam)  
Sumber: Hasil Analisis, (2024)

### 3.5. Pengaruh variasi media, volume media, dan waktu sampling terhadap penurunan kadar Fosfat (PO<sub>4</sub>)

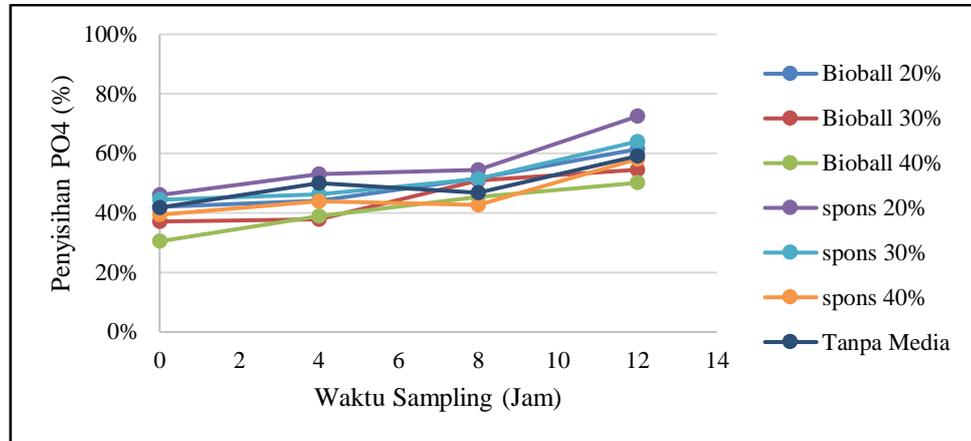
Berdasarkan grafik penyisihan fosfat menggunakan reaktor MBBR dengan perlakuan media bioball dan spons (*biocube*) dengan variasi volume media 20%, 30%, dan 40% dari volume air limbah, serta tanpa media yaitu penambahan mikroalga 50% dari volume air limbah pada Gambar 5, persentase penyisihan fosfat tertinggi terjadi pada reaktor MBBR dengan media spons 20% yaitu sebesar 72,45%. Jenis media spons (*biocube*) memperoleh persentase yang lebih optimal daripada media bioball. Hal tersebut disebabkan adanya porositas dan luas permukaan yang besar pada media spons. Besarnya luas permukaan pada media memungkinkan lebih banyak mikroorganisme untuk tumbuh dan menempel pada media, sehingga luas permukaan mempengaruhi pembentukan biofilm pada media [25].

Perlakuan volume pengisian media 20% menghasilkan efisiensi penyisihan fosfat yang lebih tinggi daripada kontrol tanpa media. Persentase penyisihan amonia pada reaktor MBBR dengan variasi media spons 20% menunjukkan hasil sebesar 72,45% dan 61,43% pada variasi media bioball 20%. Sedangkan, nilai persentase penyisihan ammonia menggunakan reaktor MBBR tanpa media (mikroalga *Nannochloropsis oculata* 50%) sebagai media kontrol sebesar 59,11%. Air limbah tanpa *biocarrier* tetap terjadi penurunan fosfat, namun tidak sebesar pada reaktor MBBR dengan penambahan media spons dan bioball. Hal tersebut disebabkan karena reaktor yang tidak menggunakan *biocarrier* hanya melalui proses degradasi dengan biakan tersuspensi yang dilakukan oleh bakteri, sedangkan reaktor yang ditambahkan *biocarrier* proses degradasi parameter pada air limbah dilakukan melalui proses pertumbuhan melekat dan proses pertumbuhan tersuspensi [9].

Proses penurunan kadar fosfat secara biologis terjadi adanya enzim fosfatase dan enzim fitase yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Bakteri *Pseudomonas* yang terkandung dalam air limbah tahu akan memanfaatkan tingginya kadar fosfat pada air limbah. Metabolisme *Pseudomonas* menyerap fosfat yang akan dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi. Mekanisme metabolisme *Pseudomonas* menunjukkan kemampuannya untuk menyerap dan memanfaatkan fosfat pada air limbah tahu, sehingga kadar fosfat mengalami penurunan [26].

Pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa persentase penyisihan amonia tertinggi terjadi pada masing-masing variasi media MBBR dengan waktu sampling ke-12 jam (setelah HRT 24 jam). Persentase penyisihan fosfat pada reaktor MBBR dengan media spons 20% sebesar 46% - 72,45%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 mencapai penyisihan 46% dan mengalami penyisihan amonia tertinggi pada waktu sampling jam ke-12 yaitu 72,45%. Pada reaktor MBBR dengan media bioball 20% penyisihan fosfat berkisar antara 42,03% - 61,43%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 sebesar 42,03% dan mencapai penurunan tertinggi pada waktu sampling ke-12 jam sebesar 61,43%. Sedangkan, nilai persentase penyisihan fosfat menggunakan reaktor MBBR tanpa media (mikroalga *Nannochloropsis oculata* 50%) sebagai media kontrol berkisar antara 41,81% - 59,11%. Pada waktu sampling (setelah HRT 24 jam) jam ke-0 sebesar 41,81% dan mencapai penyisihan tertinggi pada jam ke-12 sebesar 59,11%.

Penyisihan kadar fosfat terbesar terjadi pada reaktor saat waktu pengambilan sampel ke-12 jam (setelah HRT 24 jam). Hal tersebut disebabkan karena waktu pengoperasian yang semakin lama maka waktu berkontaknya air limbah dengan mikroorganisme juga akan berlangsung lama sehingga penyisihan fosfat oleh mikroorganisme akan semakin meningkat. Semakin lama waktu pengoperasian pada reaktor maka penghilangan parameter akan semakin meningkat, dan begitu sebaliknya semakin cepat waktu pengoperasian pada reaktor maka penghilangan parameter semakin rendah [24].



**Gambar 5.** Hubungan Persentase Removal Fosfat (PO<sub>4</sub>) pada Air Limbah Tahu Menggunakan Media Bioball, Spons (*Biocube*), dan Tanpa Media dalam Reaktor MBBR dengan waktu sampling (setelah HRT 24 jam)  
Sumber: Hasil Analisis, (2024)

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengolahan air limbah tahu dengan sistem Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) menggunakan mikroalga (*Nannochloropsis oculata*) memberikan hasil yang signifikan dalam mengurangi konsentrasi amonia dan fosfat. Persentase penyisihan parameter amonia dan fosfat setelah pengolahan menggunakan MBBR paling optimal terjadi pada media spons (*biocube*) dengan volume media 20% dan pada waktu sampling ke-12 jam (setelah HRT 24 jam) adalah 90,83%, dan 72,45% dengan nilai akhir pada setiap parameter sebesar 0,43 mg/L, dan 7,5 mg/L. Hal ini dikarenakan media spons mempunyai porositas lebih dari 95% dengan luas permukaan yang luas sehingga mikroorganisme yang tumbuh dan menempel pada media semakin banyak. Volume media 20% memiliki pertumbuhan biofilm tertinggi karena turbulensi media yang cukup sehingga nutrisi yang diterima merata. Semakin lama waktu sampling, maka penurunan parameter air limbah akan semakin meningkat. Hal ini diakibatkan karena adanya waktu kontak air limbah dengan mikroorganisme yang berlangsung lama.

#### 5. Referensi

- [1] M. P. Mulya, M. Damris and A. T. Maryani, "Pemanfaatan Tumbuhan Air (*Hydrilla Verticillata*) dalam Meningkatkan Karakteristik Limbah Cair Tahu Dengan Metode Biofiltrasi," *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2020.
- [2] T. Rohman, A. Irwan and Z. Rahmi, "Penurunan Kadar Amonia dan Fosfat Limbah Cair Tahu secara Foto Katalitik Menggunakan TiO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>," *Jurnal Sains Natural*, vol. 8, no. 2, pp. 87-93, 2018.
- [3] N. Tunjung, M. Pratiwi, S. Hariyadi, I. P. Ayu, T. Apriadi, A. Iswantari and D. Y. Wulandari, "Pengelolaan Kandungan Bahan Organik pada Limbah Cair Laboratorium Proling - MSP - IPB dengan Berbagai Kombinasi Agen Bioremediasi (Management of Organic Matter Content From Proling Laboratory Waste Water Using Several Combinations of Bioremediation Agent)," *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 15, no. 1, pp. 89-95, 2019.
- [4] A. B. Pinjarkar, R. D. Jagtap, C. K. Solanke and H. H. Mehta, "The Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *IARJSET*, vol. 4, no. 3, pp. 63-66, 2017.
- [5] J. H. Wang, L. L. Zhuang, X. Q. Xu, V. M. Deantes-Espinosa, X. X. Wang and H. Y. Hu, "Microalgal attachment and attached systems for biomass production and wastewater treatment," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 331-342, 2018.

- [6] Widianingsih, R. Hartati, R. Hartati, E. Yudiati and V. R. Iriani, "Pengaruh Pengurangan Konsentrasi Nutrien Fosfat dan Nitrat Terhadap Kandungan Lipid Total *Nannochloropsis oculata*," *Ilmu Kelautan*, vol. 16, no. 1, pp. 24-29, 2011.
- [7] T. P. Utomo, O. Nawansih and A. Komalasari, "Studi Penentuan Jenis Outlet Limbah Cair Karet Remah untuk Pertumbuhan Mikroalga dengan Sistem Open Ponds," *Jurnal Teknologi Industri & Hasil Pertanian*, vol. 20, no. 2, pp. 109-120, 2015.
- [8] E. S. Sofiyah and I. W. K. Suryawan, "Cultivation of *Spirulina platensis* and *Nannochloropsis oculata* for Nutrient Removal from Municipal Wastewater," *Rekayasa: Journal of Science and Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 93-97, 2021.
- [9] N. I. Said and T. I. Santoso, "Penghilangan Polutan Organik dan Padatan Tersuspensi di dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 8, no. 1, pp. 33-46, 2015.
- [10] A. W. Leksono, D. Mutiara and I. A. Yusanti, "Penggunaan Pupuk Organik Cair Hasil Fermentasi dari *Azolla pinnata* Terhadap Kepadatan Sel *Spirulina* sp.," *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, vol. 12, no. 1, pp. 56-65, 2017.
- [11] G. E. Fogg and B. Thake, *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology 3<sup>rd</sup> Edition*, Wisconsin: The University of Wisconsin Press, 1987.
- [12] Musdalifah, Y. Rustam and S. Amini, "Kultivasi dan Ekstraksi Minyak dari Mikroalga *Botryococcus braunii* dan *Nannochloropsis* sp.," *BIOMA*, vol. 11, no. 2, pp. 1-14, 2015.
- [13] I. J. Kurniawan and Aunurohim, "Biosorpsi Logam  $Zn^{2+}$  dan  $Pb^{2+}$  Oleh Mikroalga *Chlorella* sp.," *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2014.
- [14] F. S. Purnamawati, T. R. Soeprbowati and M. Izzati, "Pertumbuhan *Chlorella Vulgaris* Beijerinck Dalam Medium Yang Mengandung Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium," *Seminar Nasional Biologi*, pp. 104-116, 2013.
- [15] M. & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4<sup>th</sup> Edition*, New York: McGraw Hill Inc, 2003.
- [16] K. F. C. Putri, A. U. Farahdiba and M. Ali, "Pengolahan Air Limbah Laundry Menggunakan Proses Bioreaktor Down-Flow Hanging Sponge," *ESEC*, vol. 2, no. 1, pp. 110-116, 2021.
- [17] R. K. Sonwani, G. Swain, B. S. Giri, R. S. Singh and B. N. Rai, "A novel comparative study of modified carriers in moving bed biofilm reactor for the treatment of wastewater: Process optimization and kinetic study," *Bioresour Technol*, vol. 281, pp. 335-342, 2019.
- [18] K.-J. Chae, S.-K. Yim and K. H. Choi, "Application of sponge media (Biocube) process for upgrading and expansion of existing caprolactam wastewater treatment plant for nitrogen removal," *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 6, pp. 163-171, 2004.
- [19] H. Ødegaard, "The Moving Bed Biofilm Reactor," in *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*, Sapporo, Hokkaido Press, 1999, pp. 250-305.
- [20] I. A. D. Putri, S. Elystia and S. R. Muria, "Pemanfaatan Biocarrier dari Limbah Sedotan Plastik sebagai Media Tumbuh *Chlorella* sp. dalam Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR) untuk Penyisihan Bahan Polutan dalam Limbah Cair Domestik," *JOM FTEKNIK*, vol. 7, pp. 1-7, 2020.
- [21] N. I. Said and M. R. Sya'bani, "Penghilangan Amonia di dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reaktor (MBBR)," *Jurnal Air Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 44-65, 2014.
- [22] A. K. F. Hendrawan, N. Afiati and A. Rahman, "Laju Nitrifikasi pada Bioremediasi Air Limbah Organik Menggunakan *Chlorella* sp. dan Bakteri Nitrifikasi-Denitrifikasi," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, vol. 11, no. 2, pp. 309-323, 2021.
- [23] K. Ramadanti, S. Elystia and D. Andrio, "Pertumbuhan Biomassa dan Penyisihan COD Menggunakan Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) pada Limbah Grey Water," *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, vol. 26, no. 1, pp. 8-16, 2022.
- [24] M. D. Anggraini, S. Elystia and S. Elystia, "Potential of *Chlorella* sp Microalgae to Remove Nutrients from Gray Water in the Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR) System," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 229-241, 2023.

- 
- [25] M. A. Kholif and E. Febrianti, "Penerapan Teknologi Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Bermedia Pencemar Air Lindi," *Jurnal*, vol. 2, no. 1, pp. 87-98, 2019.
- [26] D. A. Kusuma, L. Fitria and U. Kadaria, "Pengolahan Limbah Laundry dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 02, pp. 001-010, 2019