

**ANALISIS PENAMBAHAN MIKROORGANISME LOKAL (MOL)
TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOMASSA DAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU
MENGUNAKAN *ROTARY ALGAE BIOFILM REACTOR* (RABR)**

*(Analysis of Local Microorganism (MOL) Addition on Biomass Productivity and Tofu Liquid
Waste Processing Using Rotary Algae Biofilm Reactor (RABR))*

Nurul Hamidah¹, Shinta Elystia^{2*}, Aryo Sasmita³

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Email: *shinta.elystia@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Air limbah tahu yang dibuang langsung tanpa adanya pengolahan akan menimbulkan pencemaran, oleh karena itu, harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satunya yaitu dengan pengolahan biologis yang memanfaatkan simbiosis mikroalga dan bakteri yang bertujuan untuk menurunkan parameter pencemar menggunakan teknologi *Rotary Algae Biofilm Reactor* (RABR) dengan sistem biakan melekat (*biofilm*) dan tersuspensi. Mikroalga yang digunakan yaitu *Chlorella* sp. dan bakteri berasal dari mikroorganisme lokal (MOL) hasil fermentasi limbah dapur yang tidak dimanfaatkan dan mengandung mikroorganisme aerob dengan VSS (*Volatile Suspended Solids*) >3000 mg/l. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan penambahan MOL limbah dapur dengan kepadatan bakteri sebanyak 20 ml (VSS 3950 mg/L), 40 ml (VSS 4480 mg/L) dan 60 ml (VSS 5170 mg/L) serta waktu kontak 1, 3, dan 5 hari. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan MOL limbah dapur sebanyak 60 ml dengan VSS 5170 mg/L pada hari ke-5 didapatkan efisiensi penyisihan COD sebesar 88,89% dengan total jumlah kepadatan sel tersuspensi dan melekat (*biofilm*) *Chlorella* sp. masing masing sebesar $2,39 \times 10^6$ sel/ml dan $2,47 \times 10^6$ sel/ml.

Kata kunci- Mikroorganisme lokal (MOL), *Chlorella* sp., *Rotary Algae Biofilm Reactor*, Limbah Cair Tahu

ABSTRAC

The direct disposal of wastewater from tofu production without treatment can lead to pollution. Therefore, it is essential to undergo treatment before releasing it into the environment. One of the stages involved in the treatment of liquid tofu waste is biological treatment, which utilizes the symbiosis of microalgae and bacteria to reduce pollutant parameters using Rotary Algae Biofilm Reactor (RABR) technology with attached (biofilm) and suspended growth systems. The microalgae used in this process are Chlorella sp., and the bacteria are sourced from local microorganisms (MOL) obtained through the fermentation of kitchen waste, which contains aerobic microorganisms with VSS (Volatile Suspended Solids) >3000 mg/l. The research involves varying the addition of kitchen waste-derived MOL with bacterial densities of 20 ml (VSS 3950 mg/L), 40 ml (VSS 4480 mg/L), and 60 ml (VSS 5170 mg/L), as well as contact times of 1, 3, and 5 days. The results of the study indicate that the addition of 60 ml of kitchen waste-derived MOL with VSS 5170 mg/L on the 5th day resulted in COD removal efficiency of 88.89%. The total density of suspended and attached (biofilm) Chlorella sp. cells was found to be 2.39×10^6 cells/ml and 2.47×10^6 cells/ml, respectively.

Keywords— *Local Microorganisms (MOL), Chlorella sp., Rotary Algae Biofilm Reactor (RABR), Tofu liquid waste*

PENDAHULUAN

Sektor industri tahu adalah sektor usaha berukuran kecil yang menghasilkan produk hasil pengolahan kedelai. Selama proses produksinya, industri tahu menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah cair dari industri tahu memiliki kandungan organik yang signifikan, dengan nilai Biological Oxygen Demand (BOD) berkisar antara 5.000 hingga 10.000 mg/L, sementara kadar

Chemical Oxygen Demand (COD) berada dalam rentang 7.000 hingga 12.000 mg/L (Sayow dkk., 2020). Limbah cair tahu juga terdapat zat pencemar berupa amonia sebesar 15,56 mg/L (Nasution, 2022). Kholif dkk., (2020), menyatakan bahwa tingkat keasaman pada limbah cair tahu sangat tinggi, pada rentang pH 4-5. Limbah cair tahu yang tidak melalui proses pengolahan awal sebelum dibuang ke badan air penerima dapat mengakibatkan penurunan kualitas air (Alimsyah dan Damayanti, 2013).

Pemanfaatan mikroalga dan bakteri dapat menjadi salah satu metode dalam melaksanakan pengolahan limbah secara biologis. *Chlorella* sp. merupakan jenis mikroalga autotrofik, sehingga dalam pertumbuhannya membutuhkan cahaya dan CO₂ untuk berfotosintesis. Karbon dioksida yang dibutuhkan dapat diperoleh dari mikroorganisme seperti bakteri. Bakteri memiliki kemampuan untuk mengubah karbohidrat kompleks menjadi CO₂, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh mikroalga dalam proses fotosintesis (Noerdjito, 2019).

Restuhadi dkk., (2017) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pemanfaatan simbiosis mikroalga dan bakteri menghasilkan efisiensi penyisihan COD, BOD, Fospat dan Nitrat sebesar 88,04%, 85,27%, 48,21 dan 71,06%. Saragih dkk., (2019) melakukan penelitian tentang pemanfaatan simbiosis antara bakteri *Bioprisma* dan *Chlorella* sp. pada limbah cair tahu mampu menyisihkan COD dan N-Total sebesar 96,30% dan 71,89%.

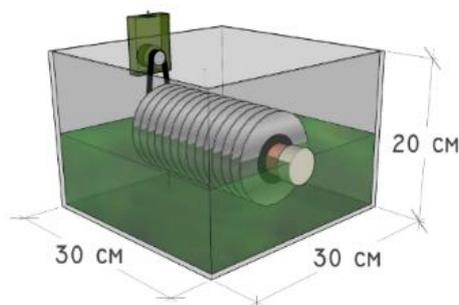
Proses pengolahan limbah secara biologis berbasis mikroalga untuk mengurangi pencemar pada limbah cair tahu dapat menggunakan teknologi RABR (*Rotary Algae Biofilm Reactor*) dengan sistem biakan melekat dan tersuspensi (Kiran dkk., 2017). Aplikasi teknologi RABR melalui tiga tahapan dalam prosesnya. Tahapan tersebut yaitu *seeding*, aklimatisasi dan *running* (Rahadi dkk., 2018). Proses dalam penelitian ini menggunakan penambahan mikroorganisme yang dilakukan pada proses aklimatisasi yang bertujuan untuk mempercepat terbentuknya lapisan *biofilm* sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengolah air limbah menjadi lebih singkat (Sumiyati, 2019).

Pada penelitian ini penulis menggunakan mikroorganisme lokal yang disebut dengan MOL berupa cairan dari fermentasi bahan-bahan limbah dapur yang tidak dimanfaatkan dan mengandung mikroorganisme seperti *Aspergillus* sp., *Azotobacter* sp., *Lactobacillus* sp., *Pseudomonas*, bakteri fotosintetik serta jamur pengurai selulosa yang berperan dalam penguraian senyawa organik (Hadi, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh variasi penambahan mikroorganisme lokal (MOL) dari limbah dapur pada proses RABR menggunakan mikroalga *Chlorella* sp. untuk meningkatkan kemampuan mikroalga sebagai pengolah limbah cair tahu dalam penyisihan kadar COD serta analisis parameter pH, suhu dan VSS (*Volatile Suspended Solids*).

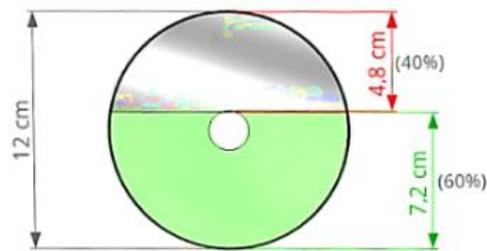
METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan penelitian yang digunakan adalah limbah cair tahu yang diambil dari satu industri tahu Jl. Cipta Karya, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru, mikroalga *Chlorella* sp. yang berasal dari Pusat Penelitian Alga Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau serta bahan lainnya seperti akuades dan medium *Dahril Solution*. Alat yang digunakan adalah reaktor RABR berukuran 30 cm x 30 cm x 20 cm (Gambar 1) dan volume kerja 10 Liter, media disk yang digunakan berbahan *acrylic* sebanyak 19 buah dengan masing-masing berdiameter 12 cm pada tiap reaktor (Gambar 2). Selain itu alat yang diperlukan yaitu jerigen 25 liter, mikroskop cahaya, *thomacytometer*, *thermometer*, pH meter serta alat-alat laboratorium untuk analisis COD dan VSS.



Gambar 1. *Rotary Algae Biofilm Reactor*



Gambar 2. Diameter Disk dengan Kedalaman Terendam 60%

B. Pelaksanaan Penelitian

1. Variabel Penelitian

Variabel bebas penelitian ini yaitu variasi konsentrasi penambahan bakteri dari MOL limbah dapur yaitu 20 ml, 40 ml dan 60 ml pada proses RABR dan waktu kontak pada riset ini 1, 3 dan 5 hari. Variabel tetap terdiri dari disk berdiameter 12 cm, kecepatan putaran 7 rpm, jarak antar disk 0,8, kedalaman disk 60%, dimensi RABR 30 x 30 x 20 cm, volume kerja 10 Liter. Konsentrasi suspensi mikroalga pada RABR sebanyak 40%. Pada penelitian ini variabel terikat yaitu jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp., parameter COD dan VSS.

2. Preparasi Limbah Cair Tahu

Media suspensi yang digunakan adalah limbah cair tahu. Sampel air limbah yang diambil telah mengalami proses pengendapan selama 6 jam dengan tujuan untuk meningkatkan penurunan kadar bahan organik dalam limbah cair tahu. Sampel limbah cair tahu diambil sesuai SNI 6989.59-2008.

3. Preparasi Mikroorganisme Lokal Dari Limbah Dapur

Bakteri pada penelitian ini berasal dari mikroorganisme lokal (MOL) dari limbah dapur. Cara pembuatan MOL adalah dengan mencampurkan air yang mengandung karbohidrat dan glukosa dengan perbandingan volume 1:1. Campurkan bahan secara merata dan tambahkan sumber bakteri dari limbah dapur. Aduk rata, tutup wadah plastik, lalu biarkan selama 5 hingga 10 hari. Selama periode ini, lakukan pengecekan hingga mencapai bau yang menunjukkan hasil fermentasi yang sempurna. Setelah itu, MOL siap untuk digunakan.

4. Seeding Mikroalga *Chlorella* sp.

Proses *seeding* adalah tahap awal dalam pembibitan pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. selama tujuh hari. Perbanyak mikroalga *Chlorella* sp. dilakukan dengan cara mencampurkan 100 ml mikroalga *Chlorella* sp. dan 400 ml medium *Dahril Solution* ke dalam 3,5 liter air aquades. Kultur mikroalga dibiarkan tumbuh dengan pemanfaatan sumber cahaya langsung dari matahari. Perbanyak mikroalga *Chlorella* sp. berlanjut hingga pertumbuhan sel mikroalga *Chlorella* sp. mencapai fase eksponensial, dan jumlah total kepadatan sel mencapai 1×10^6 sel/ml. Penghitungan jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp. dilakukan setiap 24 jam dengan menggunakan *thomacytometer* dan mikroskop cahaya.

5. Aklimatisasi

Pada penelitian ini tahap aklimatisasi dilakukan pada RABR dalam volume kerja 10 Liter hingga mikroorganisme mencapai fase pertumbuhan eksponensial mencapai 1×10^6 sel/ml. Aklimatisasi dilakukan dengan pencampuran 40% (4 Liter) Mikroalga hasil *seeding* dengan limbah cair tahu sebanyak 60% (6 Liter) dengan rasio 1:1 yaitu pencampuran 50% (3 Liter) aquades dengan 50% (3 Liter) limbah cair tahu. Berikut merupakan uraian dari aklimatisasi mikroalga dan bakteri mikroorganisme lokal (MOL) pada medium limbah cair tahu:

- 4000 ml mikroalga + (3000 ml aquades + 3000 ml limbah cair tahu) + 20 ml (kadar VSS 3950 mg/L) MOL limbah dapur
- 4000 ml mikroalga + (3000 ml aquades + 3000 ml limbah cair tahu) + 40 ml (kadar VSS 4480 mg/L) MOL limbah dapur

- c. 4000 ml mikroalga + (3000 ml aquades + 3000 ml limbah cair tahu) + 60 ml (kadar VSS 5170 mg/L) MOL limbah dapur

Tahap aklimatisasi ini dilakukan hingga jumlah sel mencapai 1×10^6 sel/ml dan ketebalan lapisan biofilm pada disk sebesar 22 μ m hingga 2 mm (Wang dkk., 2018). Untuk mengetahui kondisi lingkungan pertumbuhan mikroalga, pada tahap aklimatisasi ini dilakukan pengukuran parameter pH dan suhu.

7. Percobaan Utama

Percobaan utama dalam penelitian ini melibatkan kultivasi mikroalga *Chlorella* sp. menggunakan medium yang terbuat dari limbah cair tahu dalam sebuah reaktor dengan volume kerja sebesar 10 liter. Proses RABR merupakan gabungan pertumbuhan melekat dan pertumbuhan tersuspensi. RABR telah dilengkapi dengan media disk yang berputar pada kecepatan sebesar 7 rpm. Sebanyak 6.000 ml limbah cair tahu dimasukkan kedalam masing-masing RABR. Selain itu, ditambahkan juga suspensi mikroalga dan mikroorganisme hasil aklimatisasi dengan konsentrasi tetap sebesar 40% dari volume kerja (4.000 ml). Pada setiap reaktor, percobaan dilakukan dengan memberikan sumber cahaya yang berasal dari sinar matahari. Kemudian selama proses percobaan utama dilakukan kontrol pH, suhu dan pengukuran VSS yang bertujuan untuk memberikan kondisi lingkungan optimal untuk pertumbuhan mikroalga. Waktu percobaan utama berlangsung selama 1, 3 dan 5 hari.

C. Analisis dan Pengolahan Data

Untuk mengetahui variasi penambahan mikroorganisme lokal (MOL) dari limbah dapur dan waktu kontak terbaik pada penelitian ini adalah dengan melihat efisiensi penyisihan parameter COD dan NH₃, pengukuran parameter jumlah sel, pH, suhu, dan VSS pada waktu kontak 1, 3, dan 5 hari. Analisis parameter dilakukan untuk menentukan kadar parameter setelah proses pengolahan sesuai dengan standar yang diatur dalam SNI yang berlaku. Analisa parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisa Parameter

Analisa	Metode/Alat
Jumlah sel mikroalga	<i>Thomacytometer</i>
pH	SNI 06-6989.11-2004
Suhu	<i>Thermometer</i>
VSS	Gravimetri
COD	SNI 6989.73-2009
NH ₃	SNI 06-6989.30-2005

Untuk mengukur efisiensi penurunan parameter uji, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{C_{in} - C_{ef}}{C_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

C_{in} = Konsentrasi influen (mg/L)

C_{ef} = konsentrasi efluen (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Karakteristik Limbah Cair Tahu

Pengujian COD, NH₃ dan pH limbah cair tahu setelah dilakukannya pengendapan selama 6 jam menjadi 1424 mg/L, 11,69 mg/L dan pH menjadi 4,68. Pengendapan dilakukan dengan maksud untuk mengurangi jumlah senyawa organik dalam limbah cair tahu, hal ini sesuai dengan penelitian Nasution (2022), bahwa tingginya konsentrasi nutrien yang berlebih pada limbah cair tahu dapat menghambat atau menghambat pertumbuhan mikroalga. Hasil uji karakteristik *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan NH₃ dilihat pada Tabel 2.

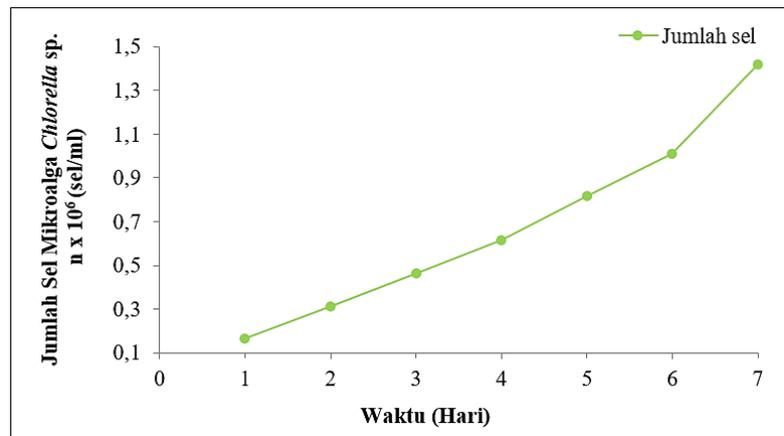
Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Awal Limbah Cair Tahu

Parameter	Hasil Uji limbah cair tahu (mg/L)		Baku Mutu (mg/L)
	Karakteristik awal	Setelah pengendapan (6 jam)	
COD	2416	1424	300 ¹⁾
NH ₃	13,26	11,69	5 ²⁾
pH	4,43	4,68	6-9 ¹⁾

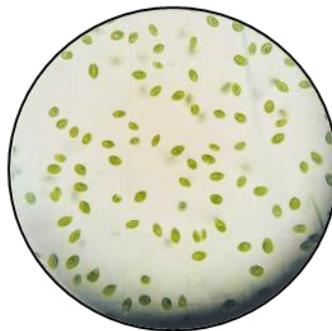
Sumber: ¹⁾ Permen LH RI No. 5 Tahun 2014 Lampiran XVIII; ²⁾ Permen LH RI No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII

B. Hasil Seeding Mikroalga *Chlorella* sp.

Pembibitan mikroalga *Chlorella* sp. pada tahap *Seeding* merupakan langkah awal untuk mengkultivasi mikroalga yang akan digunakan dalam proses pengolahan (Elystia dkk, 2021). Grafik pertumbuhan sel mikroalga *Chlorella* sp. saat tahap *seeding* dan gambar sel mikroalga secara mikroskopis dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Pertumbuhan *Chlorella* sp. Pada tahap *Seeding*



Gambar 4. Sel Mikroalga *Chlorella* sp. Tahap *Seeding* Secara Mikroskopis

Perbanyak mikroalga *Chlorella* sp. dilanjutkan hingga sel-sel mikroalga *Chlorella* sp. mencapai fase pertumbuhan eksponensial, dengan jumlah total kepadatan sel mencapai 1×10^6 sel/ml. (Wang dkk., 2018). Tahap *seeding* *Chlorella* sp. dalam penelitian ini dilakukan selama tujuh hari, dan pada hari ke-7, diperoleh kepadatan sel mikroalga sebanyak $1,42 \times 10^6$ sel/ml. Hasil ini memungkinkan penggunaan mikroorganisme *Chlorella* sp. sebagai pengurai limbah. Penghitungan jumlah sel mikroalga bertujuan untuk menentukan kepadatan populasi mikroalga *Chlorella* sp.

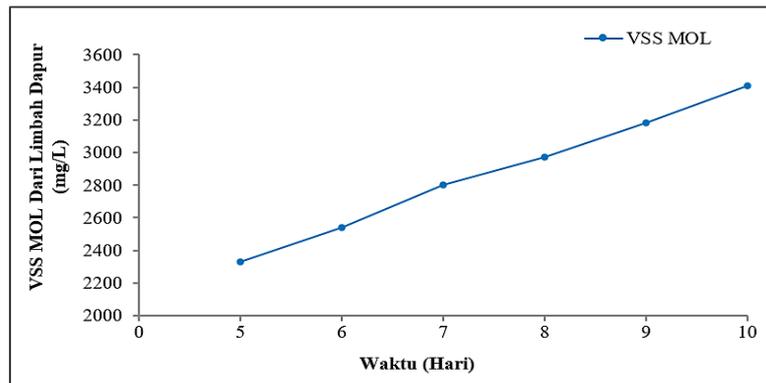
C. Hasil Seeding Bakteri (VSS) pada Mikroorganisme Lokal (MOL) dari Limbah Dapur

Tujuan dari proses *Seeding* bakteri MOL adalah untuk memperbanyak populasi mikroorganisme yang memadai atau mencukupi dalam rangka memulai penelitian (Titiresmi, 2007). Kondisi Larutan MOL dari limbah dapur setelah melalui tahap fermentasi di hari ke-5 dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. MOL dari Limbah Dapur

Berdasarkan Gambar 5. bakteri mulai terbentuk ditandai dengan adanya bentukan gelembung/busa yang bersumber dari sisa sayuran dari limbah dapur yang telah busuk pertanda fermentasi yang dilakukan telah memasuki fase *acidogenesis* dan sudah ada koloni bakteri yang tumbuh. Penelitian ini menggunakan sumber mikroorganisme lokal dari sayuran yang telah membusuk, sumber karbohidrat didapat dari air cucian beras dan sumber glukosa berasal dari molase dan difermentasi selama 5-10. Pertumbuhan bakteri dianggap sudah memenuhi persyaratan pengolahan mikroorganisme secara aerob dengan bahan organik > 3.000 mg/L (Titiresmi, 2009). Grafik pertumbuhan bakteri (VSS) mikroorganisme lokal (MOL) dari limbah dapur dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik VSS MOL dari Limbah Dapur

Pada hari ke-10 pertumbuhan MOL mencapai persyaratan mikroorganisme dengan VSS yang lebih dari 3000 mg/L dengan nilai kadar VSS sebesar 3410 mg/L dan mikroorganisme siap digunakan untuk pengolahan limbah cair tahu. Menurut penelitian yang telah dilakukan Hadi (2019), jenis mikroorganisme yang telah diidentifikasi pada MOL limbah dapur antara lain *Aspergillus* sp., *Azotobacter* sp., *Lactobacillus* sp., *Pseudomonas*, bakteri fotosintetik serta jamur pengurai selulosa yang berperan dalam penguraian senyawa organik.

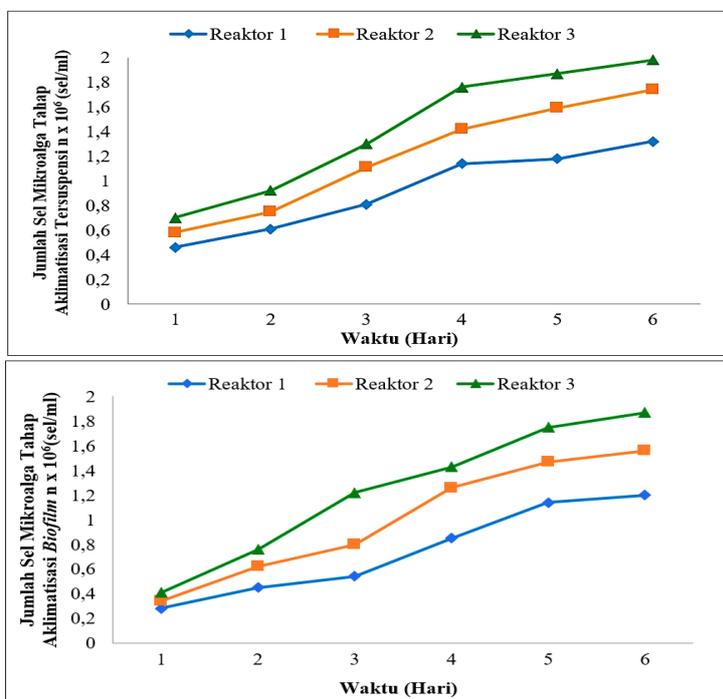
D. Aklimatisasi Mikroalga *Chlorella* sp. pada Limbah Cair Tahu dengan Penambahan Mikroorganisme Lokal (MOL) Dari Limbah Dapur

Mikroalga *Chlorella* sp. hasil perbanyakan pada proses *seeding* setelah mencapai fase eksponensialnya hingga $n \times 10^6$ sel/ml dan MOL limbah dapur yang mencapai VSS sebesar 3410 mg/l dilanjutkan dengan tahapan aklimatisasi. Berdasarkan perhitungan VSS, variasi MOL limbah dapur yang akan ditambahkan pada pengolahan limbah cair tahu menggunakan RABR memiliki kadar yang dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kadar VSS Pada Variasi Penambahan MOL Limbah dapur

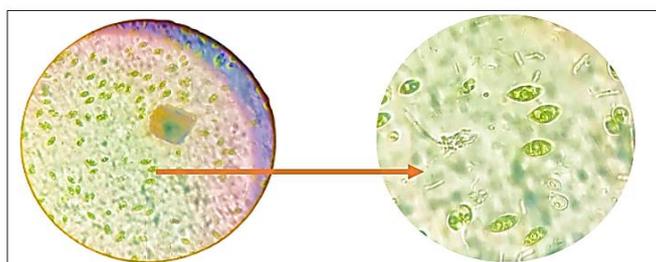
RABR	Variasi Penambahan MOL limbah dapur	Kadar VSS
Reaktor 1	20 ml	3950 mg/L
Reaktor 2	40 ml	4480 mg/L
Reaktor 3	60 ml	5170 mg/L

Hasil pada tahap aklimatisasi menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi mikroorganisme lokal (MOL) pada *Chlorella* sp. dalam pengolahan limbah cair tahu menghasilkan perbedaan dalam kelimpahan sel mikroalga *Chlorella* sp., baik dalam bentuk suspensi maupun *biofilm*. Jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp. pada tahap aklimatisasi dengan penambahan MOL bervariasi, baik dalam bentuk suspensi maupun *biofilm*, dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Jumlah Sel Mikroalga Tahap Aklimatisasi Berbasis Suspensi dan Berbasis *Biofilm*

Berdasarkan pada Gambar 7 Pertumbuhan mikroalga terbaik terjadi pada penambahan 60 ml MOL limbah dapur pada reaktor RABR ke 3 dengan kepadatan sel secara tersuspensi sebesar $1,98 \times 10^6$ sel/ml dan *biofilm* sebesar $1,87 \times 10^6$ sel/ml. Penambahan MOL limbah dapur dapat mempercepat pertumbuhan jumlah sel mikroalga yang dapat dilihat pada hari ke-3 hingga hari ke-6 bahwa kepadatan sel mikroalga telah mencapai 1×10^6 sel/ml, berwarna hijau tua dan ditandai dengan ketebalan *biofilm* hingga 1 mm yang menandakan pertumbuhan sel mikroalga memasuki fase eksponensial sehingga dianggap selesai dan dapat dilanjutkan tahap percobaan utama.



Gambar 8. Sel Mikroalga *Chlorella* Sp. dan MOL Limbah Dapur Secara mikroskopis

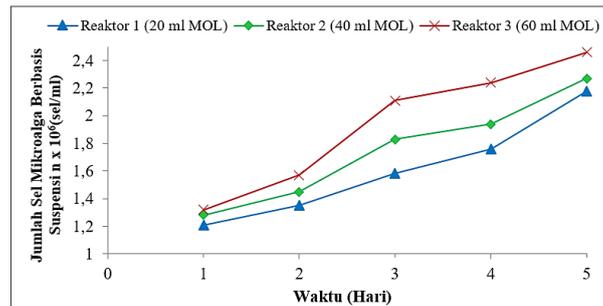
Dalam pengolahan limbah cair tahu, terjadi interaksi timbal balik antara *Chlorella* sp. dan bakteri MOL dari limbah dapur. Dalam interaksi ini, oksigen (O_2) yang dihasilkan oleh mikroalga melalui proses fotosintesis digunakan oleh bakteri sebagai sumber oksigen. Di sisi lain, bakteri menggunakan oksigen (O_2) sebagai akseptor elektron untuk mengoksidasi senyawa organik yang terdapat dalam air limbah. Hasil dari oksidasi ini adalah pembentukan senyawa produk yang stabil, seperti CO_2 , NO_3^- , dan PO_4^- . Senyawa-senyawa ini dapat berperan sebagai reaktan dalam proses fotosintesis pada sel mikroalga *Chlorella* sp. Dengan demikian, terjadi siklus oksigen dan senyawa

antara *Chlorella* sp. dan bakteri MOL yang mendukung proses pengolahan limbah cair tahu (Andiese, 2011).

E. Percobaan Utama Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Rotary Algae Biofilm Reactor (RABR)

1. Pertumbuhan Sel *Chlorella* sp. Berbasis Suspensi

Percobaan utama pengolahan limbah cair tahu menggunakan *Chlorella* sp. yang diuji selama lima hari. Perhitungan jumlah sel mikroalga *Chlorella* sp. menggunakan *thomacytometer* dibawah mikroskop cahaya. Hasil Perhitungan jumlah sel *Chlorella* sp. berbasis suspensi selama penelitian dilihat pada Gambar 9.

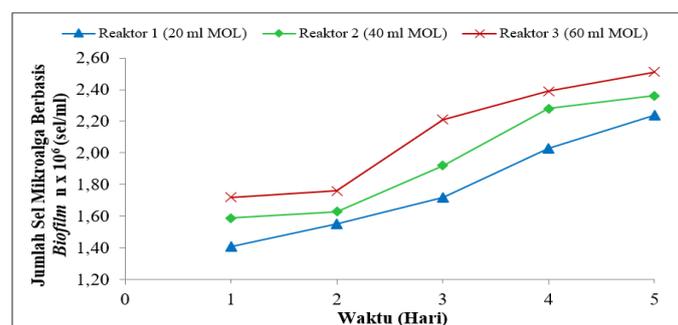


Gambar 9. Grafik Jumlah Sel Mikroalga Berbasis Suspensi Selama Percobaan Utama

Berdasarkan Gambar 9. Pada hari ke-1 dan ke-2, pertumbuhan mikroalga masih tergolong lambat karena *Chlorella* sp. masih dalam proses adaptasi terhadap limbah cair tahu, sehingga pertumbuhan belum mencapai tingkat maksimal. Namun, pada hari ke-3 hingga hari ke-5, *Chlorella* sp. memasuki fase pertumbuhan eksponensial selama percobaan utama, yang ditandai dengan peningkatan signifikan dalam laju pertumbuhan. Akibatnya, kepadatan populasi mikroalga meningkat secara substansial (Kawaroe, 2010). Pertumbuhan jumlah sel *Chlorella* sp. tertinggi terdapat pada hari ke-5 dengan variasi penambahan MOL limbah dapur 60 ml yakni $2,46 \times 10^6$ sel/ml.

2. Pertumbuhan Sel *Chlorella* sp. Berbasis Biofilm

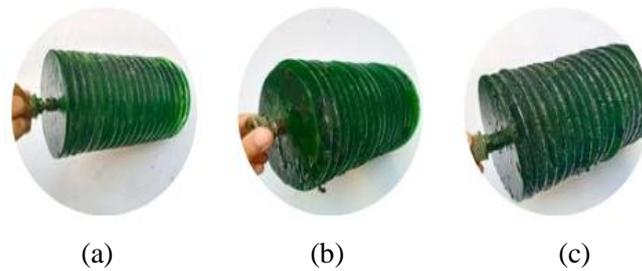
Penambahan MOL limbah dapur pada sangat mempengaruhi pertumbuhan *biofilm*. Pertumbuhan sel *Chlorella* sp. berbasis *biofilm* terbanyak diperoleh pada reaktor ke-3 dengan penambahan 60 ml MOL limbah dapur hari ke-5 dengan kepadatan sel mencapai $2,51 \times 10^6$ sel/ml. Sedangkan jumlah sel paling sedikit diperoleh pada reaktor 1 yaitu $2,24 \times 10^6$ sel/ml. Grafik diatas menunjukkan adanya pengaruh penambahan MOL terhadap pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. berbasis *biofilm*. Jumlah sel mikroalga berbasis *biofilm* dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Jumlah Sel Mikroalga *Chlorella* Sp. Berbasis Biofilm Selama Proses Pengolahan

Dengan adanya penambahan MOL limbah dapur dapat meningkatkan pertumbuhan mikroalga sehingga berbanding lurus dengan peningkatan pertumbuhan *biofilm*, hal ini sesuai dengan penelitian Sumiyati (2019), dengan penambahan bakteri MOL dalam proses pengolahan air limbah dapat

mempercepat pembentukan *biofilm*. Adapun *biofilm* mikroorganisme yang melekat pada media disk dapat dilihat pada Gambar 11.

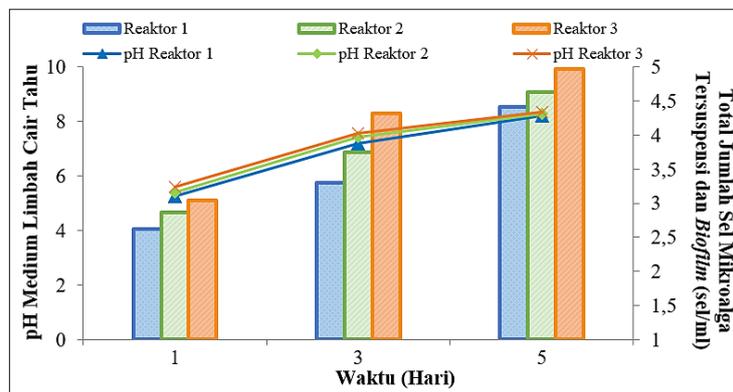


Gambar 11. *Biofilm* Mikroorganisme pada Media Disk (a) Penambahan 20 ml MOL (b) Penambahan 40 ml MOL (c) Penambahan 60 ml MOL

Pada hari ke-1 dan hari ke-2 diketahui semua perlakuan variasi konsentrasi mengalami sedikit peningkatan jumlah sel. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel mikroalga *Chlorella* sp. berbasis *biofilm* sedang berada pada fase adaptasi dengan lingkungan medium air limbah (Hadiyanto dan Azim, 2012). Setelah melalui fase adaptasi, sel-sel mikroalga *Chlorella* sp. mengalami fase eksponensial pada hari ke-3 hingga hari ke-5.

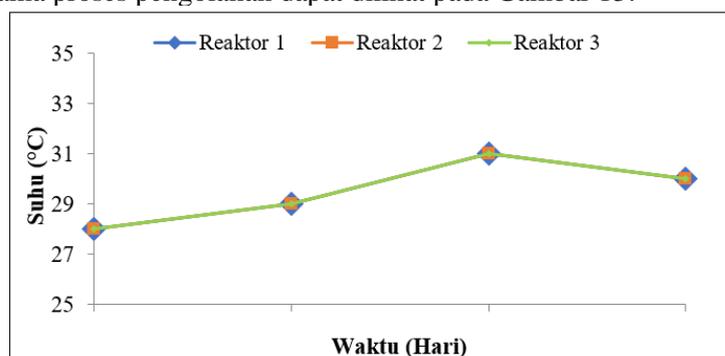
E. Pengukuran pH dan Suhu Selama Proses pengolahan

Pada hari ke-1, nilai pH awal dalam medium pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. tercatat bersifat asam dengan rentang nilai antara 5,08 hingga 5,27. Hal ini sesuai dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kondisi optimal untuk pengkulturan mikroalga *Chlorella* sp. biasanya berada dalam rentang pH 6,8 hingga 9,4. (Jelizanur dkk., 2019). Grafik perubahan nilai pH yang terjadi selama proses pengolahan dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perubahan pH Selama Proses Pengolahan

Setelah melakukan pengukuran pH, proses berikutnya adalah mengukur suhu selama proses pengolahan limbah cair tahu. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan *thermometer*. Grafik perubahan suhu selama proses pengolahan dapat dilihat pada Gambar 13.

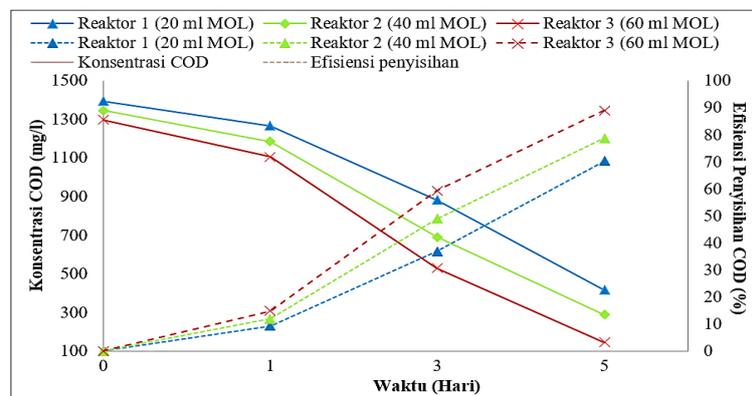


Gambar 13. Grafik Perubahan Suhu Selama Proses Pengolahan

Berdasarkan Gambar 13. diatas, diketahui suhu medium limbah cair tahu selama proses pengolahan menggunakan *Rotary Algae Biofilm Reactor* (RABR) berada pada rentang 28°C-30°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan Daliry dkk (2017), yang mengatakan bahwa suhu terbaik pertumbuhan mikroalga *Chlorella* sp. berkisar antara 25°C-35°C.

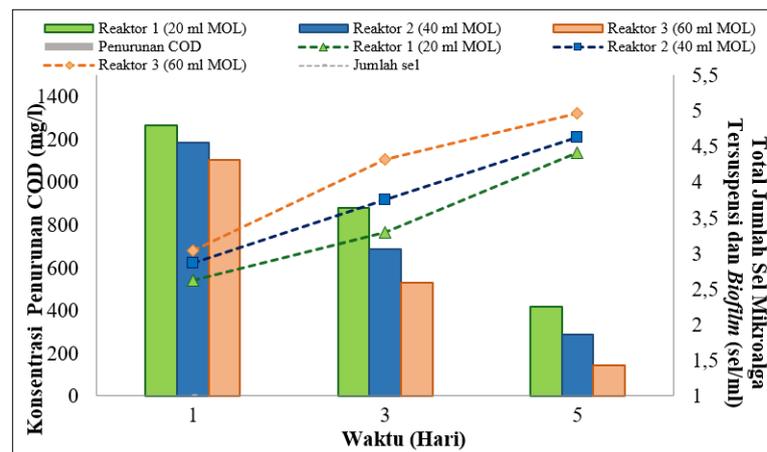
F. Efisiensi Penyisihan COD Pada Limbah Cair Tahu Menggunakan menggunakan *Rotary Algae Biofilm Reactor*

Penyisihan COD tertinggi pada reaktor RABR ke-3 dengan penambahan 60 ml MOL limbah dapur memiliki tingkat penyisihan sebesar 88,89%. Sementara pada reaktor RABR ke-1 variasi penambahan 20 ml MOL limbah dapur diperoleh efisiensi penyisihan COD terendah yaitu sebesar 70,11. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besarnya penambahan MOL limbah dapur pada pengolahan menggunakan RABR berpengaruh terhadap penyisihan kandungan COD pada limbah cair tahu. Grafik konsentrasi penurunan konsentrasi dan efisiensi penyisihan COD menggunakan RABR pada limbah cair tahu dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Konsentrasi COD dan Efisiensi Penyisihan Selama Proses Pengolahan

Pada penelitian ini, pengolahan limbah cair tahu menggunakan RABR dengan variasi penambahan bakteri MOL limbah dapur dapat menurunnya kadar COD karna adanya hubungan simbiosis mutualisme mikroalga dengan bakteri. penurunan konsentrasi COD selama proses pengolahan limbah cair tahu menggunakan RABR yang disajikan pada Gambar 15.

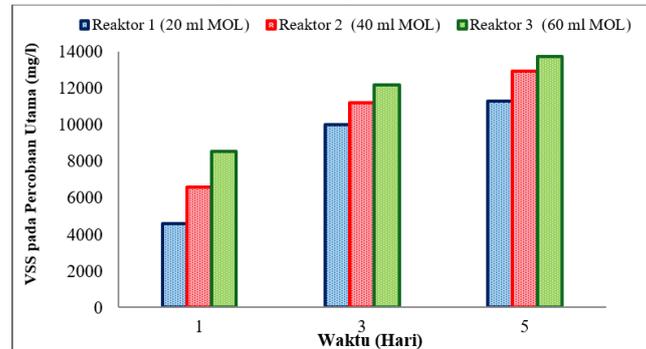


Gambar 15. Grafik Hubungan Total Sel Mikroalga Terhadap Konsentrasi Penurunan Kadar COD

Mikroalga memiliki kemampuan untuk menggunakan karbondioksida sebagai sumber utama karbon untuk pembentukan sel baru dan pada saat yang sama melepaskan oksigen melalui proses fotosintesis. Karbondioksida (CO₂) yang tersedia biasanya berasal dari aktivitas bakteri pengurai, dan oksigen yang dilepaskan oleh mikroalga digunakan oleh bakteri aerob dalam proses penguraian limbah (Restuhadi dkk, 2017).

G. Pertumbuhan Mikroorganisme VSS (Volatile Suspended Solid) pada *Rotary Algae Biofilm Reactor*

Pertumbuhan mikroorganisme dapat dinyatakan dengan analisis VSS melalui jumlah biomassa suatu mikroorganisme yang menguap dari senyawa organik dan mengalami oksidasi yaitu konversi menjadi gas melalui pembakaran (Sperling, 2007). Hasil analisis VSS pada pengolahan limbah cair tahu menggunakan RABR dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik VSS Selama Proses Pengolahan

Berdasarkan Gambar 16, dapat dilihat pada hari ke-1 hingga hari ke-5, Reaktor 1 dengan penambahan 20 ml MOL limbah dapur, Reaktor 2 dengan penambahan 40 ml MOL limbah dapur, dan Reaktor 3 dengan penambahan 60 ml MOL limbah dapur mengalami peningkatan nilai VSS yang menunjukkan bahwa mikroorganisme yang terdapat didalam reaktor mampu beradaptasi dan mendegradasi substrat (Gerardi, 2003). Pada hari ke 5 masing-masing reaktor RABR terjadi kenaikan nilai VSS tertinggi dibandingkan pada hari pertama. Hal ini disebabkan mikroorganisme mengalami puncak fase eksponensial yaitu sel-sel membelah diri memungkinkan laju pertumbuhan mencapai maksimum. Ketika pertumbuhan telah mencapai maksimum, maka akan terjadi keseimbangan antara laju pertumbuhan maksimum dan laju penyisihan substrat maksimum (Sperling, 2007).

Berdasarkan hasil nilai VSS yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa ketiga reaktor tersebut mengandung mikroorganisme dengan jumlah yang mencukupi. Hal ini sesuai dengan temuan yang dinyatakan dalam penelitian oleh Sudaryati dkk (2007), yang menunjukkan bahwa pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme dapat berlangsung dengan baik jika ada ketersediaan nutrien yang cukup. Mikroorganisme yang ada dapat efektif berperan sebagai agen oksidasi dalam proses pengolahan limbah secara biologis.

KESIMPULAN

Pada hasil penelitian perlakuan variasi Penambahan MOL limbah dapur terbaik diperoleh pada penambahan MOL sebanyak 60 ml dengan VSS sebesar 5170 mg/L hari ke-5 didapat hasil efisiensi COD sebesar 88,89 % dan konsentrasi akhir 144 mg/L, didapat konsentrasi akhir 1,09 mg/L. Peningkatan konsentrasi VSS (*Volatile Suspended Solid*) yaitu reaktor I pada hari ke-5 (11.290 mg/L), reaktor 2 hari ke-5 (12.930 mg/L), dan reaktor 3 hari ke-5 (13.740 mg/L) yang menandakan adanya mikroorganisme serta jumlah mikroorganisme yang cukup baik untuk pengolahan limbah cair tahu.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimsyah, A., & Damayanti, A. (2013). Penggunaan Arang Tempurung Kelapa dan Eceng Gondok untuk Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Variasi Konsentrasi. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(1), 6–9.
- Andiese, V. W. (2011). Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Metode Kolam Oksidasi. *Jurnal Infrastruktur*, 1(2), 103–110.
- Daliry, S., Hallajisani, A., Mohammadi Roshandeh, J., Nouri, H., & Golzary, A. (2017). Investigation of optimal condition for *Chlorella vulgaris* microalgae growth. Dalam *Global Journal of Environmental Science and Management* (Vol. 3, Nomor 2, hlm. 217–230). Iran Solid Waste Association.

- Elystia, S., Susri Darsi, M., & Rezeki Muria, S. (2021). Analisis Penambahan Bakteri Azospirillum sp. Terhadap Kepadatan Sel Dan Kandungan Lipid Mikroalga Chlorella sp. Serta Penyisihan N Total Di Limbah Cair Tahu. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 13(2), 120–134.
- Gerardi. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters* (M. H. Gerardi, Ed.; 1 ed., Vol. 1). New Jersey: John Wiley and Sons.
- Hadi, R. A. (2019). Pemanfaatan Mol (Mikroorganisme Lokal) Dari Materi Yang Tersedia Di Sekitar Lingkungan. *Jurnal Agrosience*, 9(1), 93–104.
- Hadiyanto, & Azim, M. (2012). *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan* (Hadiyanto, Ed.; 1 ed., Vol. 1).
- Jelizanur, Padil, & Muria, S. R. (2019). Kultivasi Mikroalga Menggunakan Media AF6 Pada Berbagai pH. *Jom FTEKNIK*, 6(2), 1–5.
- Kawaroe, M., Prariono, T., Sunuddin, A., Sari, D. W., & Augustine, D. (2010). *Potensi Mikroalga dan Pemanfaatannya Untuk Produksi Bio Bahan Bakar* (D. S. Sardin, Ed.; 1 ed.). PT. Penerbit IPB Press.
- Kholif, M. al, Pungut, Sugito, Sutrisno, J., & Sulistyio Dewi, W. (2020). Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada Constructed Wetland untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), 107–115.
- Kiran, M. G., Pakshirajan, K., & Das, G. (2017). A new application of anaerobic rotating biological contactor reactor for heavy metal removal under sulfate reducing condition. *Chemical Engineering Journal*, 321, 67–75.
- Nasution, F. H. M. (2022). *Pengaruh Variasi Konsentrasi Limbah Cair Tahu Terhadap Penyisihan COD dan NH3 Menggunakan Rotary Algae Biofilm Reactor (RABR)* [Skripsi]. Universitas Riau.
- Noerdjito, D. R. (2019). Interaksi Mikroalga-Bakteri Dan Peranannya Dalam Produksi Senyawa Dalam Kultur Mikroalga. *Jurnal Oseana*, 44(2), 25–34.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah pada Lampiran XVIII tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai.
- Rahadi, B., Wirosedarmo, R., & Harera, A. (2018). Anaerobic-Aerobic System on Waste water Treatment of Tofu Industry to Reduce Level of BOD5, COD, and TSS. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5(1), 17–26.
- Restuhadi, F., Zalfiatri, Y., & Pringgondani, D. A. (2017). Pemanfaatan Simbiosis Mikroalga Chlorella.sp dan Starbact® untuk Menurunkan Kadar Polutan Limbah Cair Sagu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 140–153.
- Saragih, L. R., Elystia, S., & Muria, S. R. (2019). Pengaruh Interaksi Mikroalga Chlorella sp. dan Bakteri Bioprisma terhadap Penurunan Kadar Nitrogen Total pada Medium Limbah Cair Tahu. *JOM FTEKNIK*, 6(2), 1–6.
- Sayow, F., polii, B. V. J., Tilaar, W., & Augustine Deanne, K. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu Dan Tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *AGRI-SOSIOEKONOMI*, 16(2), 245–252.
- Sperling, M. von. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal* (Three, Vol. 1). Department of Sanitary and Environmental Engineering Federal University of Minas Geruis.
- Sudaryati, N. L. G., Kasa, I. W., & Suyasa, I. wayan B. (2007). Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal ECOTROPHIC*, 3(1), 21–29.
- Sumiyati, S. (2019). *Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Kombinasi Reaktor Biofilm Anaerob-Aerob* [Thesis]. Universitas Diponegoro.
- Titiresmi. (2007). Penurunan Kadar COD Air Limbah Industri Permen Dengan Menggunakan Reaktor Lumpur Aktif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(2), 91–96.
- Titiresmi. (2009). Proses Pembenuhan dan Aklimatisasi Mikroorganisme Dari Limbah Pabrik Permen Untuk Lumpur Aktif. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), 139–144.
- Wang, J. H., Zhuang, L. L., Xu, X. Q., Deantes-Espinosa, V. M., Wang, X. X., & Hu, H. Y. (2018). Microalgal attachment and attached systems for biomass production and wastewater treatment. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 92, hlm. 331–342). Elsevier Ltd.