



Pengaruh Ph dan Substrat terhadap Nilai Kinetika Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* pada Pengolahan Limbah Cair Batik

Azzahra Hanggararas Sasdika, Nicken Elok Arohmah, Tuhu Agung Rachmanto*, Aulia Ulfa Farahdiba

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: tuhuagung@gmail.com

Diterima: 5 Agustus 2022

Disetujui: 24 Oktober 2022

Diterbitkan: 31 Oktober 2022

Kata Kunci:

Bakteri, Lumpur Aktif, Batch, Senyawa Organik

ABSTRAK

Industri batik adalah industri yang menggunakan bahan kimia berbahaya dalam proses pembuatannya, khususnya dalam proses pewarnaan. Zat warna tekstil pada umumnya terbuat dari senyawa azo dan turunannya. Zat warna tersebut larut didalam air limbah dan akan sulit didegradasi jika tidak diolah dengan benar. Salah satu pengolahan yang dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa organik yang tinggi yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai parameter kinetika pertumbuhan pada beberapa jenis mikroorganisme yang digunakan yaitu bakteri *Pseudomonas sp.*, bakteri *Bacillus sp.*, kombinasi *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.*, serta bakteri *indigeneous* pada variasi konsentrasi substrat dan pH air limbah batik yang berbeda. Penelitian ini menggunakan metode lumpur aktif dengan adanya injeksi oksigen dalam reaktor. Dari penelitian ini didapatkan hasil nilai laju pertumbuhan maksimum terbesar berada pada sampel kontrol, konstanta kematian terkecil berada pada bakteri *Bacillus sp* dengan konsentrasi 60%, konstanta saturasi terkecil berada pada sampel kontrol, sedangkan untuk nilai hasil pertumbuhan terbesar berada pada sampel bakteri *indigeneous*. Bakteri yang optimal yang dapat digunakan untuk mendegradasi senyawa organik tinggi adalah bakteri *indigenus*.

Received: 5 August 2022

Accepted: 24 October 2022

Published: 31 October 2022

Keywords:

Bacteria, Activated Sludge, Batch, Organic Compound

ABSTRACT

Batik industry is an industry that employs harmful chemicals in its process of production, particularly in the dyeing process. Textile dyes are generally made from azo compounds and their derivatives. These dyes are soluble in wastewater and will be difficult to degrade if not treated properly. One of the processing that can be used to degrade high organic compounds is by utilizing microorganisms. This study aims to determine the comparison of growth kinetics parameter values in several types of microorganisms used, there are *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, the combination of *Pseudomonas sp.* and *Bacillus sp.*, as well as *indigenous* on different variations in substrate concentrations and pH of batik wastewater. This study used the activated sludge method in the presence of oxygen injection in the reactor. In this study, the results of the largest maximum growth rate value were in the control sample, the smallest mortality constant was in the *Bacillus sp.* with a concentration of 60%, the smallest saturation constant is in the control sample, while the largest growth yield value is in the *Indigenous* bacterial sample. The optimal bacteria that can be used to degrade high organic compounds are *indigenous*.

1. PENDAHULUAN

Industri batik adalah industri yang menggunakan bahan kimia berbahaya dalam proses pembuatannya. Salah satunya adalah senyawa azo. Zat warna tekstil pada umumnya terbuat dari senyawa azo dan turunannya. Berdasarkan struktur kimia, zat warna azo menduduki nomor teratas sebagai zat warna yang paling banyak digunakan dalam industri. Zat warna tersebut larut didalam air limbah dan akan sulit didegradasi jika tidak diolah dengan benar

Pada (Muljadi, 2013) menjelaskan bahwa teknik pembuatan batik memiliki proses yang dibagi menjadi 3 cara yaitu batik tulis, batik cap, dan batik cetak / *printing*. Air limbah batik berasal dari proses pewarnaan dan pelorodan pembuatan kain batik, dalam proses tersebut menggunakan bahan kimia sehingga air limbah industri batik yang mengandung logam berat dan senyawa organik yang tinggi. Tingginya senyawa organik dan zat warna yang sulit didegradasi menyebabkan air limbah industri batik menjadi limbah yang berbahaya dan berdampak negatif terhadap ekosistem perairan jika tidak

diolah dengan benar. Sehingga diperlukan adanya proses pengolahan air limbah batik sebelum dikembalikan ke badan air.

Senyawa organik dalam air limbah dapat ditunjukkan oleh nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*). Limbah cair batik dapat meningkatkan COD air sehingga dapat mengganggu ekosistem perairan. (Jannah & Muhimmatin, 2019) COD menunjukkan jumlah oksigen yang digunakan untuk mendegradasi senyawa organik secara kimiawi. Baku mutu nilai COD pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah adalah 150 mg/L.

Pengolahan limbah industri batik biasanya dapat dilakukan dengan biologi, fisika dan kimia. (Indrayani & Rahmah, 2018) Pengolahan yang menggunakan fisika dapat dilakukan dengan sedimentasi, filtrasi, dan flotasi. (Indrayani, 2018) Sedangkan pengolahan kimia dapat dilakukan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi (Apriyani, 2018). Tetapi juga dapat dilakukan dengan proses biologis yang memanfaatkan bakteri untuk dapat mendegradasi senyawa organik. Lumpur aktif adalah suatu pengolahan secara biologis yang dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi zat organik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinetika pertumbuhan *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* dan bakteri *indigenous* dalam proses biodegradasi zat organik pada air limbah industri batik.

Lumpur aktif merupakan metode pengolahan biologis dengan cara mengembangbiakkan bakteri di dalam tangki dengan adanya injeksi oksigen untuk mendegradasi senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana (Rizkia Widyawati et al., 2015). Senyawa organik akan diuraikan oleh bakteri dengan injeksi oksigen secara biokimia menjadi biomassa baru, CO₂, dan H₂O (Jannah & Muhimmatin, 2019).

Proses biodegradasi yang terjadi memanfaatkan enzim selulose yang dimiliki oleh bakteri. Proses biodegradasi terjadi melalui rekasi enzimatis, dimana enzim yang dihasilkan bakteri diekresikan ke luar sel untuk dapat menguraikan zat organik. Enzim yang dikeluarkan berupa hidrolitik ekstraseluler yang dapat menguraikan substrat (Lestari, 2016).

Menurut (Zahidah Et Al., 2013) menjelaskan bahwa beberapa jenis yang bisa dipakai untuk mengolah limbah cair antara lain *pseudomonas sp.*, *flavobacterium sp.*, *clostridium sp.*, *streptomyces spp.*, *ther monosphora sp.*, *michroplyspora sp.* Dalam penelitian ini akan digunakan bakteri *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* dan bakteri *indigenous*.

Bacillus sp. tergolong dalam kelas bakteri heterotrofik yang memiliki sifat uniseluler (bersel satu), dan masuk kedalam mikroorganisme redusen atau *decomposer*. *Bacillus sp* berbentuk batang, dan menghasilkan enzim ekstraseluler, merupakan bakteri gram positif, dapat menghasilkan endospore, merupakan bakteri mesofilik yang dapat tumbuh pada temperature 20-40° C, dan dapat hidup dalam pH 5-9 (Imron & Purwanti, 2016). Bakteri *Pseudomonas sp.* mempunyai karakteristik berbentuk kokus (*coccus*) dan batang (*rods*) atau aerob obligat, gram negatif, motil yg memiliki flagel polar. Bakteri ini adalah oksidase positif, katalase positif, nonfermenter dan dapat hidup baik dalam suhu 4°C atau dibawah 43°C (Suyono & Salahudin, 2011).

Jumlah mikroorganisme dapat ditunjukkan oleh nilai MLVSS (*Mixed Liqour Volatile Suspended Solid*) (Sari et al., 2013). MLVSS ini dapat diukur dengan memanaskan sampel hingga kering pada 600 – 650⁰C, serta nilainya mendekati 65-75% dari MLSS. (Said & Utomo, 2018). pH, substrat, dan inhibitor merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi

pertumbuhan bakteri. Bahan organik yang terkandung biasa disebut dengan COD, dimana COD merupakan bahan organik sebagai substrat (Rohim, 2015). Zat yang menghambat kinerja enzim mikroorganisme disebut dengan zat inhibitor. Zat warna pada limbah industri batik merupakan senyawa aromatik rantai panjang yang sukar didegradasi oleh bakteri (Manurung et al., 2004). Semakin tinggi konsentrasi warna pada limbah batik maka semakin tinggi kandungan senyawa logam berat yang menyebabkan berkurangnya kemampuan bakteri untuk mendegradasi zat warna tersebut (Rambe, 2018).

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan air limbah batik Jetis Sidoarjo. Penelitian ini menggunakan bioreaktor lumpur aktif dan pengujian karakteristik air limbah dilakukan di laboratorium dengan parameter yang diuji yaitu pH menggunakan alat pH meter, COD menggunakan metode refluks tertutup secara titimetri, dan MLVSS menggunakan metode pembakaran dengan furnace pada suhu 550°C.

Alat dan Bahan

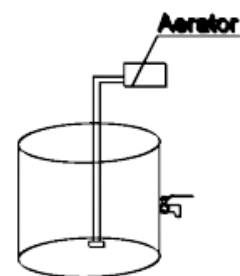
A. Alat:

1. Bioreaktor lumpur aktif
2. Aerator

B. Bahan:

1. Variasi limbah cair industri batik antara lain:
 - a. Konsentrasi substrat 100% pH 7 Bakteri *Bacillus sp.*
 - b. Konsentrasi substrat 100% pH 7 Bakteri *Pseudomonas sp.*
 - c. Konsentrasi substrat 100% pH 7 Bakteri Konsorsium (*Bacillus sp. & Pseudomonas sp.*)
 - d. Konsentrasi substrat 100% pH 7 Bakteri *indigenous* air limbah batik
 - e. Konsentrasi substrat 60% pH 7 Bakteri *Bacillus sp.*
 - f. Konsentrasi substrat 60% pH 7 Bakteri *Pseudomonas sp.*
 - g. Konsentrasi substrat 60% pH 7 Bakteri Konsorsium (*Bacillus sp. & Pseudomonas sp.*)
 - h. Konsentrasi substrat 60% pH 7 Bakteri *indigenous* air limbah batik
 - i. Kontrol (Konsentrasi substrat 100% pH asli air limbah dengan bakteri *indigenous* air limbah batik)
2. Kultur murni Bakteri *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.*
3. Larutan gula

Bioreaktor lumpur aktif berbentuk tabung silinder dengan volume 3 liter yang dilengkapi dengan injeksi oksigen berupa aerator yang ditunjukkan oleh gambar-1 di bawah ini



Gambar 1. Desain Bioreaktor

Persamaan

Model yang sering digunakan untuk menentukan nilai kinetika pertumbuhan adalah model Monod. Pada persamaan monod dibutuhkan data penelitian berupa jumlah mikroorganisme dan juga jumlah substrat yang ditunjukkan oleh nilai MLVSS sebagai variabel xv dan COD sebagai variabel S . Persamaan monod ditunjukkan oleh persamaan :

$$rx = \mu m \frac{S}{Ks+S} \cdot xv \dots\dots\dots (1)$$

$$rs = \frac{rx}{Yx/s} + ms \cdot xv \cdot xv \dots\dots\dots (2)$$

dimana,

- rx = laju pertumbuhan sel,
- μ =laju pertumbuhan sel spesifik,
- q = laju perubahan substrat spesifik,
- μm = laju pertumbuhan maksimum,
- S = konsentrasi substrat,
- Ks = afinitas substrat
- xv = konsentrasi sel hidup.

A. Laju pertumbuhan spesifik (μ) dan laju pertumbuhan substrat spesifik (q)

Setelah mendapatkan data xv dan S maka selanjutnya mencari nilai μ dan q dengan rumus sebagai berikut :

$$\mu = \frac{rx}{xv} \text{ dan } q = \frac{rs}{xv} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{dimana } rx = \frac{dx}{dt} \text{ dan } rs = \frac{ds}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{sehingga } \mu = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{1}{xv} \text{ dan } q = \frac{ds}{dt} \cdot \frac{1}{xv} (5)$$

kemudian diintergralkan sehingga mendapatkan rumus:

$$\mu = \ln \left(\frac{xvt}{xv0} \right) / \Delta t \dots\dots\dots (6)$$

$$q = \ln \left(\frac{S0}{St} \right) / \Delta t \dots\dots\dots (7)$$

B. Laju pertumbuhan maksimum (μm) dan afinitas substrat (Ks)

Untuk mendapatkan kurva hubungan antara $\frac{1}{\mu}$ dan $\frac{1}{S}$ maka dengan persamaan (1), diturunkan menjadi

$$\frac{rx}{xv} = \mu m \frac{S}{Ks+S} \dots\dots\dots (8)$$

$$\mu = \frac{rx}{xv} = \mu m \frac{S}{Ks+S} \dots\dots\dots (9)$$

sehingga menjadi :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{Ks}{\mu m} \cdot \frac{1}{s} + \frac{1}{\mu m} \dots\dots\dots (10)$$

Sehingga bisa memplot nilai $\frac{1}{\mu}$ pada sumbu Y dan $\frac{1}{s}$ pada sumbu X sehingga didapatkan persamaan garis lurus dengan nilai slope adalah $\frac{Ks}{\mu m}$ dan nilai interceptnya adalah $\frac{1}{\mu m}$.

C. Hasil pertumbuhan (Yx/s)

Untuk menentukan nilai parameter Yx/s dan juga ms maka dengan persamaan (2) diturunkan menjadi,

$$\frac{rs}{xv} = \frac{rx}{Yx/s} + ms \dots\dots\dots (5)$$

mengubah persamaan (5) menjadi persamaan di bawah ini dengan membagi kedua ruas dengan xv . Sehingga persamaan (5) menjadi:

$$\frac{rs}{xv} = \frac{1}{Yx/s} \cdot \frac{rx}{xv} + ms \dots\dots\dots (11)$$

Sehingga dapat diplotkan nilai $\frac{rs}{xv}$ atau q pada sumbu Y dan $\frac{rx}{xv}$ atau μ pada sumbu X sehingga menghasilkan

persamaan garis lurus, dimana nilai slope adalah $\frac{1}{Yx/s}$.

Dimana Yx/s adalah hasil pertumbuhan (*Yield*).

D. Koefisien kematian (Kd)

Pada saat fase kematian jumlah sel yang hidup menurun dan kematian signifikan. Sehingga pada fase kematian dapat dicari dengan cara mengplot $\ln x$ terhadap waktu, sehingga menghasilkan slope yang bernilai $-Kd$.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses penanaman bakteri *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* kultur murni pada media cair (*Nutrient Borth*). Kemudian dilakukan seeding dengan menuangkan bakteri dalam air yang telah diaerasikan selama dua hari. Tahap seeding selesai Ketika bakteri telah mencapai jumlah minimum untuk pengolahan air limbah yaitu 1600-3200 mg/l (Zafira, 2019). Kemudian dilanjutkan tahap aklimatisasi, tahap aklimatisasi berlangsung selama 15 hari. Tahap aklimatisasi selesai apabila telah mencapai kondisi *steady state*. Setelah tahap aklimatisasi dilanjutkan dengan proses running dengan variable yang ditetapkan.

1. Peubah Yang Ditetapkan
 - a. pH 7
 - b. Limbah cair industri batik
 - c. Rancangan bioreaktor
2. Peubah Yang Dikerjakan
 - a. Konsentrasi substrat : 100%, 60%, 30%
 - b. Jenis bakteri : *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.*, Bakteri *Indigenous*
 - c. Waktu tinggal : 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 , 48 jam

Analisis Data

Parameter yang diuji dalam penelitian ini antara lain adalah parameter MLVSS dan COD. Pada penelitian ini menjelaskan hasil yang didapatkan dari nilai kinetika pertumbuhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian Utama

Hasil penelitian utama adalah hasil dari penelitian setelah dilakukan penelitian pendahuluan. Penelitian utama pada penelitian ini mengamati kinetika pertumbuhan mikroorganisme yaitu laju pertumbuhan spesifik, Laju pertumbuhan maksimum, konstanta saturasi, hasil pertumbuhan, Perubahan spesifik substrat, dan konstanta kematian. Penelitian ini dilakukan dengan sistem *batch* dan diamati setiap 6 jam sekali selama 48 jam, berikut adalah hasil analisa perubahan nilai kinetika pertumbuhan mikroorganisme pada tiap jenis bakteri pada konsentrasi substrat yang berbeda.

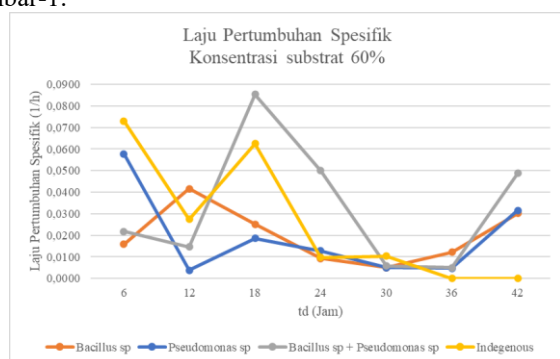
A. Laju Pertumbuhan Spesifik (μ)

Pada (Muhammad Romli, 2012) mengatakan bahwa Nilai koefisien μ menunjukkan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme tiap waktu. Nilai μ yang rendah menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang lambat. Sebaliknya, nilai μ menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang cepat.

Tabel 1. Laju Pertumbuhan Spesifik Konsentrasi Substrat 60%

| Konsentrasi Substrat 60% | | | | |
|--------------------------|-------------|----------------|------------------------------|------------|
| td | Bacillus sp | Pseudomonas sp | Bacillus sp + Pseudomonas sp | Indegenous |
| 0 | - | - | - | - |
| 6 | 0,01592 | 0,05776 | 0,02186 | 0,07296 |
| 12 | 0,04158 | 0,00388 | 0,01466 | 0,02738 |
| 18 | 0,02519 | 0,01860 | 0,08538 | 0,06253 |
| 24 | 0,00927 | 0,01285 | 0,05006 | 0,00982 |
| 30 | 0,00505 | 0,00505 | 0,00575 | 0,01043 |
| 36 | 0,01222 | 0,00476 | 0,00505 | 0,00000 |
| 42 | 0,03024 | 0,03149 | 0,04882 | 0,00000 |
| 48 | - | - | - | - |

Waktu detensi (td) merupakan waktu yang digunakan untuk mencapai hasil yang optimal dari tujuan penelitian. Dari hasil analisis, didapatkan nilai laju pertumbuhan spesifik konsentrasi substrat 60% tertinggi terjadi pada bakteri konsorsium *Bacillus sp.* + *Pseudomonas sp.* pada waktu tinggal ke 18 jam yaitu sebesar 0,0853 h⁻¹, hal itu kemungkinan disebabkan oleh efek kumulatif yang didapatkan dari pencampuran bakteri sehingga menyebabkan tingginya laju pertumbuhan spesifik. Sedangkan nilai laju pertumbuhan spesifik terendah pada konsentrasi substrat 60% terjadi pada bakteri *indigenus* pada waktu tinggal ke 36 jam yaitu sebesar 0 h⁻¹, yang artinya tidak adanya pertumbuhan bakteri hal itu kemungkinan disebabkan oleh bakteri *indigenus* merupakan bakteri asli air limbah dimana bakteri tersebut lebih resisten terhadap air limbah batik dengan konsentrasi tinggi, sedangkan pada konsentrasi substrat 60% yaitu konsentrasi yang lebih rendah pada waktu tinggal yang lebih lama, bakteri konsorsium tidak mengalami pertumbuhan. Laju pertumbuhan bakteri pada konsentrasi substrat 60% dapat dilihat pada gambar-1.



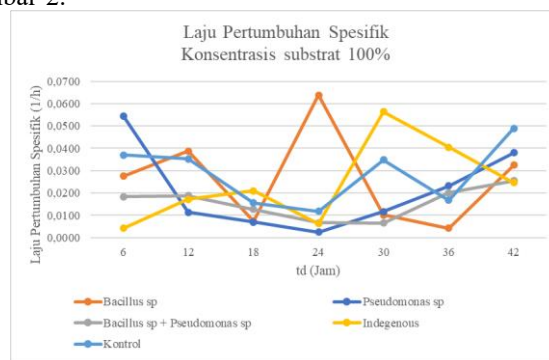
Gambar. 1 Laju Pertumbuhan Spesifik 60%

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwasannya laju pertumbuhan spesifik tertinggi umumnya terjadi pada rentang waktu tinggal 12 hingga 18 jam, dan laju pertumbuhan terendah umumnya terjadi pada rentang waktu tinggal 30 hingga 36 jam. Hasil analisis nilai laju pertumbuhan bakteri spesifik pada konsentrasi substrat 100% ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Laju Pertumbuhan Spesifik Konsentrasi Substrat 100%

| Konsentrasi Substrat 100% | | | | | |
|---------------------------|-------------|----------------|------------------------------|------------|---------|
| td | Bacillus sp | Pseudomonas sp | Bacillus sp + Pseudomonas sp | Indegenous | Kontrol |
| 0 | - | - | - | - | - |
| 6 | 0,02752 | 0,05449 | 0,01840 | 0,00422 | 0,03699 |
| 12 | 0,03878 | 0,01128 | 0,01878 | 0,01715 | 0,03524 |
| 18 | 0,00747 | 0,00695 | 0,01271 | 0,02094 | 0,01560 |
| 24 | 0,06379 | 0,00245 | 0,00667 | 0,00618 | 0,01176 |
| 30 | 0,01011 | 0,01165 | 0,00651 | 0,05645 | 0,03481 |
| 36 | 0,00427 | 0,02321 | 0,02010 | 0,04046 | 0,01672 |
| 42 | 0,03246 | 0,03806 | 0,02547 | 0,02462 | 0,04898 |
| 48 | - | - | - | - | - |

Dari Tabel 2 diketahui bahwa nilai laju pertumbuhan spesifik tertinggi terjadi pada bakteri *Bacillus sp.* pada waktu tinggal ke 24 jam yaitu sebesar 0,06379 h⁻¹, hal itu disebabkan bakteri *Bacillus sp.* merupakan bakteri yang resisten terhadap limbah batik sehingga bakteri tersebut mengalami pertumbuhan yang tinggi. hal itu juga dibuktikan oleh penelitian (Martiningsih & Rahmi, 2019) bahwa bakteri *Bacillus sp.* merupakan bakteri unggul yang ditemukan pada air limbah batik. Sedangkan laju pertumbuhan spesifik terendah terjadi pada bakteri *Pseudomonas sp.* pada waktu tinggal ke 24 jam yaitu sebesar 0,00245 h⁻¹. Laju pertumbuhan bakteri pada konsentrasi substrat 100% dapat dilihat pada gambar-2.



Gambar 2. Laju Pertumbuhan Spesifik 100%

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwasannya laju pertumbuhan spesifik tertinggi umumnya terjadi pada rentang waktu tinggal 30 hingga 42 jam, dan laju pertumbuhan terendah umumnya terjadi pada rentang waktu tinggal 24 hingga 30 jam. Perbedaan pertumbuhan spesifik pada konsentrasi substrat 60% dengan 100% terletak pada waktu tinggal. pada konsentrasi substrat yang rendah yaitu 60% semakin lama waktu tinggal maka nilai laju pertumbuhan akan semakin rendah hal itu disebabkan oleh tidak adanya bakteri yang tumbuh yang diakibatkan oleh nutrisi yang digunakan oleh bakteri telah habis, sedangkan pada konsentrasi substart yang tinggi nilai laju pertumbuhan akan semakin meningkat bersamaan dengan waktu tinggal yang bertambah hal itu terjadi dikarenakan lamanya waktu kontak bakteri dengan senyawa organic menyebabkan kesempatan bakteri untuk memanfaatkan senyawa organic sebagai nutrisi sehingga

menyebabkan tingginya nilai laju pertumbuhan (Astuti et al., 2007) dan (Suwardiyono, 2001).

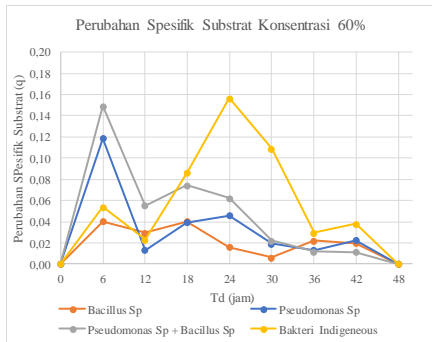
B. Perubahan Spesifik Substrat (q)

Perubahan konsentrasi substrat yang disimbolkan sebagai Perubahan Spesifik Substrat (q) adalah perubahan konsentrasi substrat yang sebanding dengan konsentrasi biomassa yang terus bertambah. (Fahria et al., 2019)

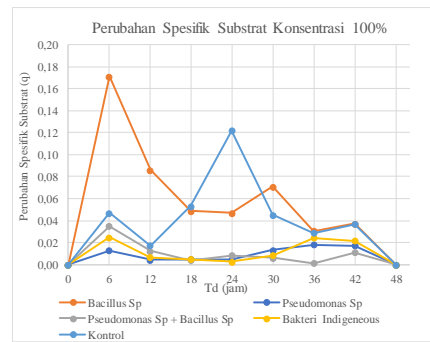
Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai perubahan spesifik substrat tertinggi dan terendah berada pada bakteri *indigeneous* waktu 24 jam yaitu sebesar 0,15668 kg kg⁻¹h⁻¹ dan pada bakteri *Bacillus sp.* waktu 30 jam yaitu 0,00607 kg kg⁻¹h⁻¹. Dari nilai yang sudah didapatkan maka diketahui bahwa bakteri *indigeneous* tepatnya pada waktu ke 24 jam memiliki perubahan kecepatan konsentrasi substrat terbesar yang sebanding dengan bertambahnya konsentrasi biomassa, sedangkan pada bakteri *Bacillus sp.* yaitu waktu ke 30 jam memiliki angka perubahan kecepatan konsentrasi substrat terkecil sebesar 0,00607 kg kg⁻¹h⁻¹ yang sebanding dengan bertambahnya konsentrasi biomassa. Adapun berikut merupakan grafik perubahan dari setiap nilai pada bakteri yang berbeda dalam konsentrasi 60%.

Tabel 3. Perubahan Spesifik Substrat Konsentrasi 60%

| Td | Bacillus Sp | Pseudomonas Sp | Pseudomonas Sp + Bacillus Sp | Bakteri Indigeneous |
|----|-------------|----------------|------------------------------|---------------------|
| 0 | - | - | - | - |
| 6 | 0,04045 | 0,11891 | 0,14893 | 0,05373 |
| 12 | 0,02953 | 0,01327 | 0,05540 | 0,02296 |
| 18 | 0,04021 | 0,03939 | 0,07432 | 0,08583 |
| 24 | 0,01617 | 0,04581 | 0,06219 | 0,15668 |
| 30 | 0,00607 | 0,01902 | 0,02214 | 0,10891 |
| 36 | 0,02215 | 0,01339 | 0,01158 | 0,02973 |
| 42 | 0,01973 | 0,02271 | 0,01146 | 0,03790 |
| 48 | - | - | - | - |



Gambar 3. Perubahan spesifik substrat konsentrasi 60%



Gambar - 4: Perubahan spesifik substrat konsentrasi 100%

Dari grafik 3 diatas dapat dilihat bahwa rata-rata nilai perubahan spesifik substrat mengalami kenaikan pada jam ke 6 dimana limbah didalam nya masih memiliki konsentrasi substrat yang tinggi, namun terkecuali pada bakteri *indigeneous* mengalami kenaikan yang pesat pada waktu ke 24 jam. Selanjutnya merupakan perubahan spesifik substrat pada konsentrasi 100% pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan Spesifik Substrat Konsentrasi 100%

| Td | Bacillus Sp | Pseudomonas Sp | Pseudomonas Sp + Bacillus Sp | Bakteri Indigeneous | Kontrol |
|----|-------------|----------------|------------------------------|---------------------|---------|
| 0 | - | - | - | - | - |
| 6 | 0,17108 | 0,01269 | 0,03514 | 0,02497 | 0,04683 |
| 12 | 0,08592 | 0,00445 | 0,01226 | 0,00639 | 0,01711 |
| 18 | 0,04867 | 0,00502 | 0,00382 | 0,00486 | 0,05298 |
| 24 | 0,04711 | 0,00483 | 0,00837 | 0,00266 | 0,12178 |
| 30 | 0,07070 | 0,01337 | 0,00593 | 0,00817 | 0,04510 |
| 36 | 0,03041 | 0,01825 | 0,00109 | 0,02436 | 0,02861 |
| 42 | 0,03721 | 0,01711 | 0,01086 | 0,02184 | 0,03662 |
| 48 | - | - | - | - | - |

Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa nilai perubahan spesifik substrat tertinggi dan terendah berada pada bakteri *Bacillus sp.* waktu 6 jam yaitu sebesar 0,17108 kg kg⁻¹h⁻¹ dan pada bakteri *Pseudomonas sp. + Bacillus sp.* waktu 36 jam yaitu 0,00109 kg kg⁻¹h⁻¹. Dari nilai yang sudah didapatkan maka diketahui bahwa bakteri *Bacillus sp.* tepatnya pada waktu ke 6 jam memiliki perubahan kecepatan konsentrasi substrat terbesar yang sebanding dengan bertambahnya konsentrasi biomassa, sedangkan pada bakteri *Pseudomonas sp. + Bacillus sp.* yaitu waktu ke 36 jam memiliki angka perubahan kecepatan konsentrasi substrat terkecil yang sebanding dengan bertambahnya konsentrasi biomassa. Adapun berikut merupakan grafik perubahan dari setiap nilai pada bakteri yang berbeda dalam konsentrasi 100%.

Dari grafik 3 dan grafik 4 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai perubahan spesifik substrat mengalami kenaikan pada jam ke 6 dimana limbah didalam nya masih memiliki konsentrasi substrat yang tinggi, namun terkecuali pada bakteri *Bacillus sp.* dan bakteri kontrol mengalami kenaikan yang pesat pada waktu ke 6 jam dan 24 jam.

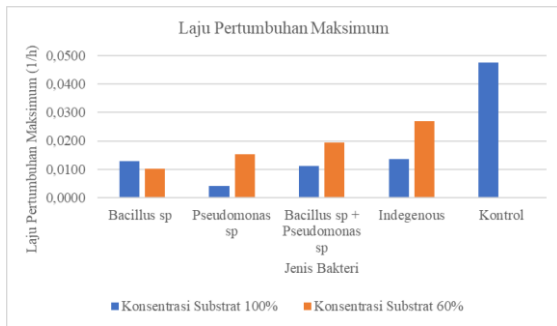
C. Laju Pertumbuhan Maksimum (μ_m)

Laju pertumbuhan maksimum (μ_m) merupakan nilai yang maksimum dari laju pertumbuhan pada titik puncak yang berada pada fase eksponensial sebelum menuju fase stasioner.

Tabel 5. Laju Pertumbuhan Maksimum

| Jenis Bakteri | Konsentrasi substrat | |
|------------------------------|----------------------|--------|
| | 60% | 100% |
| Bacillus sp | 0,0103 | 0,0128 |
| Pseudomonas sp | 0,0154 | 0,0041 |
| Bacillus sp + Pseudomonas sp | 0,0194 | 0,0111 |
| Indegenous | 0,0269 | 0,0137 |
| Kontrol | - | 0,0476 |

Adapun berikut adalah perbedaan nilai grafik dari laju pertumbuhan maksimum



Gambar 5. Laju Pertumbuhan Maksimum

Dari Tabel 5 diketahui bahwa pada konsentrasi substrat 60% nilai laju pertumbuhan maksimum tertinggi terjadi pada bakteri *indigenus* yaitu sebesar 0,0269 h⁻¹, hal itu disebabkan bakteri *indigenus* merupakan bakteri asli air limbah batik asli sehingga memiliki kemampuan tumbuh dan adaptasi yang baik sehingga menyebabkan bakteri *indigenus* memiliki nilai laju pertumbuhan maksimum tertinggi daripada bakteri lainnya. Sedangkan nilai laju pertumbuhan maksimum terendah terjadi pada bakteri *Bacillus sp.* yaitu sebesar 0,0103 h⁻¹.

Pada konsentrasi substrat 100% nilai laju pertumbuhan maksimum tertinggi terjadi pada kontrol yaitu sebesar 0,0476 h⁻¹, hal itu disebabkan pada kontrol menggunakan pH limbah asli yaitu pH 10 sehingga pertumbuhan bakteri berlangsung baik (Rohim, 2015). Sedangkan nilai laju pertumbuhan maksimum terendah terjadi pada bakteri *Pseudomonas sp.* yaitu sebesar 0,0041 h⁻¹

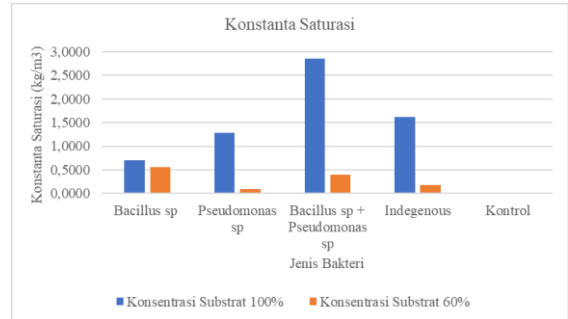
D. Konstanta Saturasi (Ks)

Nilai Ks menunjukkan ketidakjenuhan mikroorganisme terhadap substrat. Nilai Ks yang kecil menunjukkan afinitas substrat yang besar yang artinya ketika substrat akan habis laju pertumbuhan mikroorganisme masih bisa mencapai setengah dari laju pertumbuhan maksimum (B McNeil, 1990). Hasil analisis nilai afinitas substrat ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Konstanta Saturasi

| Jenis Bakteri | Konsentrasi substrat | |
|------------------------------|----------------------|--------|
| | 60% | 100% |
| Bacillus sp | 0,5511 | 0,7004 |
| Pseudomonas sp | 0,0936 | 1,2801 |
| Bacillus sp + Pseudomonas sp | 0,3946 | 2,8596 |
| Indegenous | 0,1811 | 1,6235 |
| Kontrol | - | 0,0096 |

Adapun berikut adalah perbedaan nilai grafik dari konstanta saturasi



Gambar 6. Konstanta Saturasi

Dari hasil analisis di atas menunjukkan bahwa pada konsentrasi substrat 60% nilai Ks terendah terjadi pada bakteri *Pseudomonas sp.* yaitu sebesar 0,0936 kg/m³ hal itu menunjukkan bahwa afinitas substrat *Pseudomonas sp.* besar yang mengartikan bahwa ketika jumlah substrat akan habis maka laju pertumbuhan *Pseudomonas sp* masih bisa mencapai setengah dari laju pertumbuhan maksimum.

Pada konsentrasi substrat 100%, nilai Ks terendah terjadi pada kontrol yaitu sebesar 0,0096 kg/m³. Nilai Ks kontrol yang lebih rendah daripada bakteri *indigenus* kemungkinan disebabkan oleh nilai pH kontrol yang berbeda dengan pH bakteri *indigenus* yaitu pH 10 sedangkan pH bakteri *indigenus* adalah 7 meskipun sama-sama menggunakan bakteri asli limbah batik.

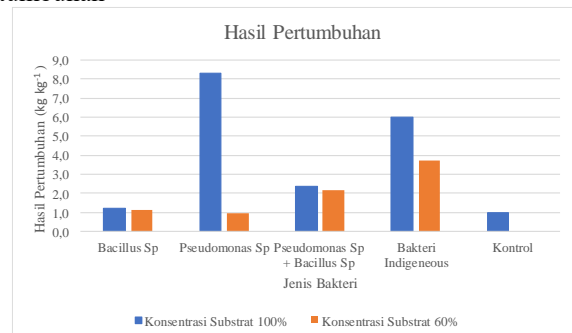
E. Hasil Pertumbuhan (Y x/s)

Nilai hasil pertumbuhan (Y’x/s) menunjukkan jumlah dari bahan organik yang dikonversi berubah menjadi sel-sel baru. Setelah menghitung nilai hasil pertumbuhan (Y’x/s) pada tiap sampel maka diketahuilah jumlah bahan organik yang terkonversi menjadi sel baru. Berikut adalah hasil perubahan spesifik substrat pada konsentrasi 60% dan 100%

| Jenis Bakteri | Konsentrasi Substrat | |
|-------------------------------------|----------------------|---------|
| | 60% | 100% |
| <i>Bacillus Sp</i> | 1,1386 | 1,2416 |
| <i>Pseudomonas Sp</i> | 0,96358 | 8,29876 |
| <i>Pseudomonas Sp + Bacillus Sp</i> | 2,19877 | 2,39177 |
| Bakteri <i>Indigeneous</i> | 3,71471 | 6,02773 |
| Kontrol | - | 1,01471 |

Tabel 6. Hasil Pertumbuhan

Adapun berikut adalah perbedaan nilai grafik dari hasil pertumbuhan



Gambar 7. Hasil Pertumbuhan

Dari hasil analisis diatas diketahui bahwa pada konsentrasi substrat 60% nilai hasil pertumbuhan tertinggi dan terendah terjadi pada bakteri *indigeneous* dan bakteri *Pseudomonas sp.*

yaitu sebesar 3,71481 kg kg⁻¹ dan 0,96358 kg kg⁻¹, Sedangkan pada konsentrasi substrat 100% nilai hasil pertumbuhan tertinggi dan terendah terletak pada bakteri *pseudomonas sp* dan bakteri kontrol yaitu sebesar 8,29876 dan 1,01471 kg kg⁻¹.

Nilai yang tinggi berarti zat organik pada limbah yang dapat diuraikan juga besar. Namun tidak selalu nilai hasil pertumbuhan (Y’x/s) yang tinggi ini mengartikan degradasi yang lebih baik, bisa juga ketidaktinggian hasil degradasi ini disebabkan oleh faktor penghambat lain seperti aktivitas enzim dan konsentrasi awal substrat. (Fahria et al., 2019)

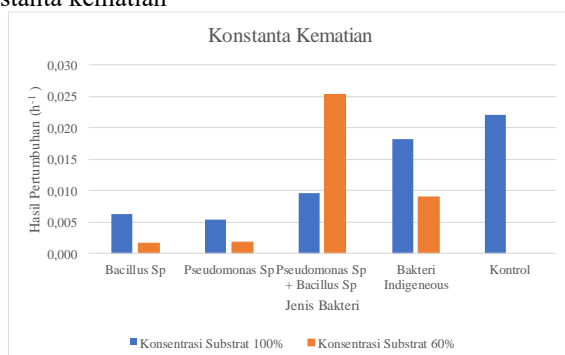
F. Konstanta Kematian (Kd)

Konstanta kematian bakteri (Kd) adalah konstanta yang sebanding dengan biomassa atau mikroorganisme yang mati pada fase kematian. Berikut adalah hasil perubahan spesifik substrat pada konsentrasi 60% dan 100%

| Jenis Bakteri | Konsentrasi Substrat | |
|-------------------------------------|----------------------|--------|
| | 60% | 100% |
| <i>Bacillus Sp</i> | 0,0016 | 0,0062 |
| <i>Pseudomonas Sp</i> | 0,0018 | 0,0053 |
| <i>Pseudomonas Sp + Bacillus Sp</i> | 0,0252 | 0,0096 |
| Bakteri <i>Indigeneous</i> | 0,0089 | 0,0182 |
| Kontrol | - | 0,0221 |

Tabel 7. Konstanta Kematian

Adapun berikut adalah perbedaan nilai grafik dari konstanta kematian



Gambar 8. Konstanta Kematian

Dari Tabel 7 diketahui bahwa pada konsentrasi substrat 60% nilai konstanta kematian tertinggi dan terendah terjadi pada bakteri *Pseudomonas sp. + Bacillus sp.* dan bakteri *Bacillus sp.* yaitu sebesar 0,0252 h⁻¹ dan 0,0016 h⁻¹, Sedangkan pada konsentrasi substrat 100% nilai konstanta kematian tertinggi dan terendah terletak pada bakteri kontrol dan bakteri *Pseudomonas sp.* yaitu sebesar 0,0221 dan 0,0053 h⁻¹.

Semakin tinggi angka konstanta kematian (Kd) maka proses pengolahan makin lama. Hal ini sesuai dengan nilai konstanta kematian (Kd) yang didapat selama penelitian. Konsentrasi mikroorganisme pada reaktor semakin menurun pada waktu sampling yang lama yaitu terdapat pada waktu antara 42 hingga 48 jam.

4. SIMPULAN

Dari penelitian yang sudah didapatkan dapat disimpulkan bahwa laju pertumbuhan yang paling cepat terletak pada bakteri *bacillus sp.* dengan konsentrasi substrat 100% waktu 24 jam yaitu sebesar 0,0638 h⁻¹. Adapun perubahan spesifik

substrat yang paling besar terletak pada bakteri konsorsium *pseudomonas sp.* dan *bacillus sp.* dengan konsentrasi substrat 100% yaitu 0,3514 kg.kg⁻¹h⁻¹. Pada konstanta kematian dan konstanta saturasi yang paling kecil terletak pada bakteri *bacillus sp.* dengan konsentrasi substrat 60% dan pada kontrol yaitu. 0,0016 h⁻¹ dan sebesar 0,00960 h⁻¹. Sedangkan nilai laju pertumbuhan maksimum dan hasil pertumbuhan yang paling besar terletak pada sampel kontrol yaitu 0,04761 h⁻¹ dan untuk hasil pertumbuhan pada bakteri *pseudomonas sp.* dengan konsentrasi substrat 100% yaitu 8,298755 kg/kg.

Perbedaan nilai dari seluruh kinetika ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah jenis bakteri serta konsentrasi substrat yang beragam dengan konsentrasi bakteri yang sama. Adapun pada sampel bakteri *indigeneous* dan kontrol juga dibedakan dengan nilai pH awal yaitu pH 7 dan pH 10 untuk kontrol. Beberapa variabel yang beragam ini dapat menyebabkan hambatan dalam prosesnya sehingga ditemukan angka kinetika yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya Nani. *Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Muhammadiyah Palangkaraya*, 3(1), 21–29.

Astuti, A. D., Wisaksono, W., & Nurwini, A. R. (2007). Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Bioreaktor Anaerob-Aerob Bermedia Karbon Aktif dengan Variasi Waktu Tunggal. *Teknologi Lingkungan*, 4(2), 30–35.

B McNeil, L. Mh. (1990). *Fermentation Modelling. In Fermentation. A partical approach.* Oxford University Press.

Fahria, Munawar, & Laksmono, R. (2019). Kinetika Biodegradasi zat organik pada Air Limbah sampah (Lindi). *J. Ilmiah Teknik Lingk.*, 4(2), 111–118.

Imron, M., & Purwanti, I. (2016). Uji Kemampuan Bakteeetri. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 4–10.

Indrayani, L. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sebagai Salah Satu Percontohan Ipal Batik Di Yogyakarta. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 12(2), 173. <https://doi.org/10.24843/ejes.2018.v12.i02.p07>

Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754>

Jannah, I. N., & Muhimmatin, I. (2019). Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik menggunakan Mikroorganisme di Kecamatan Cluring Kabupaten Banyuwangi. *Warta Pengabdian*, 13(3), 106–115. <https://doi.org/10.19184/wrtp.v13i3.12262>

Lestari, P. B. (2016). Biodegradasi Limbah Cair Tahu Dari Mikroorganisme Indigen Sebagai Bahan Ajar Mikrobiologi Lingkungan Di Perguruan Tinggi. *Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 2(1), 84. <https://doi.org/10.25273/jems.v2i1.197>

Manurung, R., Hasibuan, R., & Irvan. (2004). Perombakan Zat Warna Azo Secara Anaerob dan Aerob. *Skripsi, January 2004*, 1–19.

Martiningsih, S. T., & Rahmi, S. U. (2019). Efektifitas Bakteri

- Indigenous Limbah Cair Batik Untuk Dekolorisasi Sisa Pencelupan Tekstil Dengan Zat Warna Remazol Blue. *Jurnal Teknologi*.
- Muhammad Romli, S. dan D. S. (2012). Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif Untuk Pengolahan Air Lindi Sampah (Leachate). *Journal of Agroindustrial Technology*, 14(2), 56–66.
- Muljadi, M. (2013). Pengolahan Limbah Batik Cetak Dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis Untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter Cod, Bod, Dan Logam Berat (Cr)Setelah Perlakuan Fisika-Kimia. *Ekulibium*, 12(1), 27–36.
- Rambe, N. (2018). Dekolorisasi Pewarna Tekstil Sintetis Azo Oleh Bakteri Halotoleran Dan Identifikasi Menggunakan 16s Rrna. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota. Universitas Sumatera Utara Poliklinik Universitas Sumatera Utara*, 1(3), 82–91.
- Rizkia Widyawati, Y., Putra Manuaba, I., & Dwi Adhi Suastuti, N. (2015). Efektivitas Lumpur Aktif Dalam Menurunkan Nilai BOD (Biological Oxygen Demand) Dan COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Limbah Cair Upt Lab. Analitik Universitas Udayana. *Jurnal Kimia*, 9(1), 1–6.
- Rohim, mazlani firdausya. G. S. (2015). Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) dan Larutan Garam Dalam Jembatan Garam Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs). *Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*, 1–10.
- Said, N. I., & Utomo, K. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Proses Lumpur Aktif Yang Diisi Dengan Media Bioball. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2), 160–174. <https://doi.org/10.29122/Jai.V3i2.2337>
- Sari, F. R., Annissa, R., & Tuhuloula, A. (2013). Perbandingan Limbah Dan Lumpur Aktif Terhadap Pengaruh Sistem Aerasi Pada Pengolahan Limbah Cpo. *Konversi*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.128>
- Suwardiyono. (2001). Pengaruh Waktu Tinggal Biomassa (SRT) Terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Proses Lumpur Aktif - Membran. *Fakultas Teknik Undaris Ungaran*, 5, 41–47.
- Suyono, Y., & Salahudin, F. (2011). Identifikasi dan Karakterisasi bakteri Pseudomonas pada Tanah yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. *Jurnal Biopropal Industri*, 02(01), 1–6.
- Zafira, N. A. D. (2019). *Proses Pengembangbiakan Bakteri Kultur Tercampur untuk Pengolahan Limbah Cair Produksi Minyak Sawit*. 6, 1–6.
- Zahidah, D., Shovitri, M., & Domestik, A. L. (2013). Isolasi , Karakterisasi dan Potensi Bakteri Aerob. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 2(1), 12–15.