



Al-Ard

Jurnal Teknik Lingkungan

P-ISSN: 2460-8815
E-ISSN: 2549-1652

Volume 05, Nomor 02
Maret 2020



Produksi Lipid dari Mikroalga *Scenedesmus sp.* pada Media Limbah Cair Tahu dengan Variasi Konsentrasi Limbah dan Photoperiod
Shinta Elystia, Dian Larasati, Sri Rezeki Muria

Evaluation of Community-Based Sanitation Program Implementation in Central and East Java
Filson M. Sidjabat, Michelle N. Gunawan

Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat untuk Berpartisipasi dalam Program Citarum Harum
Aulia F. Hadining, Kusnadi, Gina Lova Sari, Hadi Sudarjat

Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Manggarai dengan Sistem Zonasi di Desa Bangka Kenda
Teguh Taruna Utama

Analisa Dampak Pembuangan Limbah Pengolahan Tepung Ikan Terhadap Kualitas Air Sungai dan Ekosistem Mangrove di Sungai Kalimireng, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik
Miftakhul Khoiri, Mauludiyah, Noverma

Analisis Timbulan Sampah Pasar Tradisional (Studi Kasus: Pasar Ujungberung, Kota Bandung)
Mochammad Chaerul, Titara Puspita Dewi

Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada Constructed Wetland untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu
Muhammad Al Kholif, Pungut, Winda Sulistyo Dewi

DEWAN REDAKSI
AL-ARD: JURNAL TEKNIK LINGKUNGAN

Jurnal Al-Ard adalah Jurnal Teknik Lingkungan yang diterbitkan secara berkala dua kali dalam setahun oleh Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya.

Penanggung Jawab

Dr. Eni Purwati, M.Ag

Redaktur

Dedy Suprayogi, M.KL

Penyunting/ Editor

Shinfi Wazna Auvaria, MT

Sulistiya Nengse, MT

Ida Munfarida, MT

Sarita Oktorina, M.Kes

Dyah Ratri Nurmaningsih, MT

Widya Nilandita, M.KL

Alamat Redaksi

Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya

Jl. Jend. Ahmad Yani 117 Surabaya Jawa Timur 60237

Telp. 031-8493836 Fax. 031-8474347

Website : www.uinsby.ac.id

Email : uinsatekling@gmail.com

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas terselesaikannya edisi ketiga Jurnal Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya. Jurnal ini diberi nama “Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan” berdasarkan kesepakatan bersama tim jurnal Program Studi Teknik Lingkungan, yang berarti Bumi.

Jurnal Al-Ard volume.5 no.2 ini menampilkan 7 artikel, yaitu: **pertama**, mengenai “Produksi Lipid dari Mikroalga *Scenedesmus* SP. pada Media Limbah Cair Tahu dengan Variasi Konsentrasi Limbah dan Photoperiod” yang ditulis oleh Shinta Elystia, Dian Larasati, Sri Rezeki Muria; **kedua**, mengenai “*Evaluation of Community-Based Sanitation Program Implementation in Central and East Java* “ yang ditulis oleh Filson M. Sidjabat, Michelle N. Gunawan; **ketiga**, mengenai “Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat untuk Berpartisipasi dalam Program Citarum Harum” yang ditulis oleh Aulia F. Hadining, Kusnadi, Gina Lova Sari, Hadi Sudarjat; **keempat**, mengenai “Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Manggarai dengan Sistem Zonasi di Desa Bangka Kenda” yang ditulis oleh Teguh Taruna Utama; **kelima**, mengenai “Analisa Dampak Pembuangan Limbah Pengolahan Tepung Ikan Terhadap Kualitas Air Sungai dan Ekosistem Mangrove di Sungai Kalimireng, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik” yang ditulis oleh Miftakhul Khoiri, Mauludiyah, Noverma; **keenam**, mengenai “Analisis Timbulan Sampah Pasar Tradisional (Studi Kasus: Pasar Ujungberung, Kota Bandung)” yang ditulis oleh Mochammad Chaerul, Titara Puspita Dewi; **ketujuh**, mengenai “Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada *Constructed Wetland* untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu” yang ditulis oleh Muhammad Al Kholif, Pungut, Winda Sulistyowati.

Semoga sajian artikel dalam jurnal ini mampu meningkatkan pemahaman mengenai lingkungan dan meningkatkan kesadaran bersama dalam pemanfaatan, pengembangan sekaligus pemeliharaan lingkungan dengan teknologi yang tepat guna. Kritik dan saran selalu kami harapkan sebagai perbaikan dan pengembangan jurnal edisi berikutnya.

Surabaya, September 2019

Salam Redaksi

DAFTAR ISI

Produksi Lipid dari Mikroalga <i>Scenedesmus sp.</i> pada Media Limbah Cair Tahu dengan Variasi Konsentrasi Limbah dan Photoperiod. Shinta Elystia, Dian Larasati, Sri Rezeki Muria	Hal. 54-61
<i>Evaluation of Community-Based Sanitation Program Implementation in Central and East Java.</i> Filson M. Sidjabat, Michelle N. Gunawan	Hal. 62-69
Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat untuk Berpartisipasi dalam Program Citarum Harum. Aulia F. Hadining, Kusnadi, Gina Lova Sari, Hadi Sudarjat	Hal. 70-79
Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Manggarai dengan Sistem Zonasi di Desa Bangka Kenda. Teguh Taruna Utama	Hal. 80-90
Analisa Dampak Pembuangan Limbah Pengolahan Tepung Ikan Terhadap Kualitas Air Sungai dan Ekosistem Mangrove di Sungai Kalimireng, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. Miftakhul Khoiri, Mauludiyah, Noverma	Hal. 91-97
Analisis Timbulan Sampah Pasar Tradisional (Studi Kasus: Pasar Ujungberung, Kota Bandung). Mochammad Chaerul, Titara Puspita Dewi	Hal. 98-106
Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada <i>Constructed Wetland</i> untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu. Muhammad Al Kholif, Pungut, Winda Sulistyowati	Hal. 107-115



Produksi Lipid dari Mikroalga *Scenedesmus sp.* pada Media Limbah Cair Tahu dengan Variasi Konsentrasi Limbah dan Photoperiod

Shinta Elystia¹, Dian Larasati², Sri Rezeki Muria³

^{1,2,3} Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Shintaelystia@yahoo.com

Abstract

Most energy needs in various countries are met from fossil fuels and has increased every year while petroleum reserves are only enough for 18 years into the futures. Various studies have been conducted out to utilize microalgae as raw material for biodiesel. *Scenedesmus sp.* has a growth rate and high lipid production, and has adequate fatty acids for synthesis of biodiesel and can utilize organic materials as nutrients in the form of tofu liquid waste so that the synergies between wastewater treatment and biomass production can run well. In this study examined the potential of microalgae *Scenedesmus sp.* with variations of tofu liquid waste in the cultivation medium (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) with the ratio of photoperiod light:dark (16: 8, 14:10, 12: 12, and 24: 0) and the time of data collection on days are 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, and 13. Based on the results of the study it was found that the highest lipid content was 27.12% at the added of 20% tofu liquid waste and photoperiod 12:12 with COD removal efficiency of 73.91%.

Keywords: COD, Lipid, photoperiod, *Scenedesmus sp.*, tofu liquid waste

Abstrak

Kebutuhan energi di berbagai negara lebih banyak dipenuhi dari bahan bakar fosil dan mengalami peningkatan setiap tahunnya sementara cadangan minyak bumi hanya cukup untuk 18 tahun ke depan. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel. *Scenedesmus sp.* memiliki tingkat pertumbuhan dan produksi lipid yang tinggi dan memiliki asam lemak yang memadai untuk sintesis biodiesel serta dapat memanfaatkan bahan organik sebagai nutrisi berupa limbah cair tahu sehingga sinergi antara pengolahan limbah cair dan produksi biomassa dapat berjalan dengan baik.. Pada penelitian ini akan diteliti potensi mikroalga *Scenedesmus sp.* dengan variasi pemberian limbah cair tahu dalam medium kultivasi (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) dengan perbandingan fotoperiod terang:gelap (16:8, 14:10, 12:12, dan 24:0) dan waktu pengambilan data pada hari ke-0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kadar lipid tertinggi sebesar 27,12% pada pemberian limbah cair tahu 20% dan fotoperiod 12:12 dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 73,91%.

Kata Kunci: COD, gelap:terang, Lipid, Limbah Cair Tahu, *Scenedesmus sp.*,

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di berbagai negara lebih banyak dipenuhi dari bahan bakar fosil dan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa minyak bumi mendominasi 54% penggunaan energi di Indonesia dan cadangan minyak bumi tersebut hanya cukup untuk 18 tahun ke depan (Assadad dkk, 2010). Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan mikroalga. Mikroalga adalah sejenis makhluk hidup unisel

berukuran antara 1 mikrometer sampai ratusan mikrometer, membutuhkan karbon dioksida, beberapa nutrisi dan cahaya untuk berfotosintesis sehingga menghasilkan biomassa (Widjaja, 2009). Harun dkk (2010) memaparkan beberapa produk yang dapat dihasilkan dari mikroalga, diantaranya produk energi seperti biodiesel, serta untuk pengolahan limbah cair industri. Menurut Hadiyanto dan Azim (2012), limbah cair organik akan lebih aman dibuang ke lingkungan setelah digunakan sebagai medium mikroalga, sementara biomassa yang

dihasilkan oleh mikroalga dapat difokuskan untuk energi, sehingga sinergi antara pengolahan limbah cair dan produksi biomassa dapat berjalan dengan baik.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku biofuel (Assadad dkk, 2010). Penelitian yang telah dilakukan cenderung memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel (Widjaja, 2009). Hal ini dilakukan mengingat kandungan lipid yang ada pada mikroalga cukup tinggi. Lipid di dalam sel mikroalga berfungsi sebagai sumber energi cadangan apabila sel kekurangan karbohidrat sebagai sumber energi utama (Widianingsih dkk, 2011). Menurut Nurlita dkk (2007), semakin banyak kandungan asam lemak dalam suatu bahan maka semakin besar pula potensi bahan tersebut untuk dapat menghasilkan biodiesel. *Scenedesmus* dianggap sebagai mikroalga yang menjanjikan untuk produksi biofuel karena spesies alga ini memiliki tingkat pertumbuhan dan produksi lipid yang tinggi, dan memiliki asam lemak yang memadai untuk sintesis biodiesel (Soares dkk, 2017). Mikroalga *Scenedesmus* sp. mempunyai kandungan minyak nabati yang cukup banyak sekitar 40,8 – 53,9 mg/liter/hari (Mata dkk, 2010).

Industri di Indonesia sebagian besar menghasilkan limbah yang tidak dimanfaatkan secara optimal, salah satunya limbah dari industri tahu. Hal ini sering kali menjadi masalah bagi lingkungan sekitarnya karena dapat menyebabkan pencemaran dan terganggunya kualitas lingkungan perairan (Rossiana, 2006). Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan industri tahu dapat berupa protein 40 – 60%, karbohidrat 25 – 50%, dan lemak 10% (Herlambang, 2002). Secara teknis, mikroalga menyerap kandungan senyawa organik dan nutrisi yang masih tersisa dalam limbah, kemudian menghasilkan oksigen yang dapat menurunkan kadar COD dalam limbah lewat bantuan bakteri pengurai zat organik (Hadiyanto dan Azim, 2012). Berdasarkan kandungan nutrisi yang masih terdapat pada limbah cair tahu, maka pemanfaatannya sebagai medium alternatif pertumbuhan mikroalga merupakan salah satu bentuk pemecahan masalah limbah cair tahu (Muttaqin dan Wachda, 2016).

Dalam penelitian ini akan diteliti potensi mikroalga *Scenedesmus* sp. dengan variasi pemberian limbah cair tahu dalam medium kultivasi yang didukung oleh variasi fotoperiod dan waktu pengambilan sampel

yang berbeda untuk mendapatkan kadar lipid tertinggi sebagai bahan baku biodiesel serta pengaruhnya dalam menyisihkan parameter COD dalam limbah cair tahu.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Mikroalga *Scenedesmus* sp. yang diperoleh dari Indonesian Culture Collection (InaCC), Research Center for Biology, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor. Kultur murni *Scenedesmus* sp. sebanyak 5 ml dibiakkan dalam 250 ml Medium Basal Bold (MBB) pada suhu ruang, dan fotoperiod 12:12 dengan diberi aerasi selama 2 minggu.

Persiapan Media Kultur

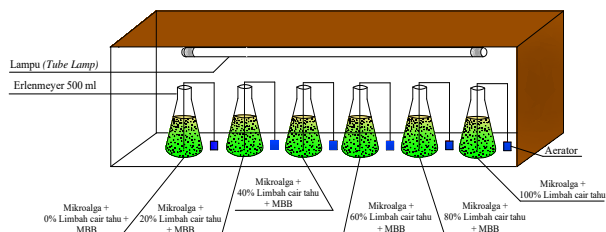
Medium Basal Bold (MBB) berupa KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , K_2HPO_4 , NaCl , KOH , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , EDTA, dan larutan *trace element metal* berupa $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Preparasi dilakukan dengan cara menambahkan 10 ml dari larutan MBB kedalam erlenmeyer 1 liter kemudian ditambahkan akuades. Larutan yang telah dihomogenkan tersebut selanjutnya disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit dengan tekanan 2 atm (Fadilla, 2010).

Limbah cair tahu dari industri tahu rumahan jalan Garuda Ujung, Kelurahan Tangkerang Tengah, Kecamatan Marpoyan Damai, Pekanbaru. Kemudian dilakukan sterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Preparasi limbah cair tahu dilakukan sesuai perlakuan penelitian yaitu dengan volume 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% masing-masing perlakuan akan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 ml yang sudah terisi 2 ml mikroalga *Scenedesmus* sp. dengan batas volume kultivasi sampai 250 ml.

Kultivasi Mikroalga

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *chamber* cahaya berukuran 100 cm x 30 cm x 40 cm. Erlenmeyer 500 ml digunakan sebagai wadah kultivasi mikroalga *Scenedesmus* sp. Mikroalga dalam erlenmeyer diaerasi menggunakan aerator (*aquarium pump*) yang berfungsi untuk mengontakkan mikroalga dengan media tumbuh dan nutrisi (limbah cair tahu). Sumber cahaya pada *chamber* ini menggunakan lampu TL (*Tube Lamp*). Rak ini dilapisi aluminium foil yang berfungsi untuk menjaga agar intensitas

cahaya yang dihasilkan terkuantisasi sehingga mikroalga dalam erlenmeyer mendapatkan cahaya yang maksimal (Daniyati dkk, 2012).



Gambar 1. Chamber Cahaya

Erlenmeyer 500 ml diisi dengan medium kultur berupa limbah cair tahu bersamaan dengan Medium Basal Bold (MBB) sesuai masing-masing variasi perlakuan. Kultur mikroalga *Scenedesmus* sp. ditambahkan sebanyak 2 ml yang sudah dihitung jumlah sel awalnya. Dari 7 variasi medium, masing-masingnya dilakukan variasi fotoperiod (periode terang:gelap) yaitu 16:8, 14:10, 12:12, dan 24:0. Selanjutnya erlenmeyer ditutup rapat untuk mencegah kontaminasi, diberi aerasi dan lubang untuk udara keluar serta pencahayaan dari lampu TL (Tube Lamp) (Prihantini dkk, 2007) dengan intensitas cahaya 3000 lux (Widianingsih dkk, 2012).

2.4 Analisa Data

2.4.1 Perhitungan Jumlah Sel Mikroalga

Selama proses kultivasi, perhitungan jumlah sel mikroalga dilakukan pada variasi waktu 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13 hari dimulai dari t_0 (hari ke-0) hingga t_{13} (hari ke-13). Sebanyak 1 ml kultur diambil dari tiap-tiap perlakuan. Kemudian jumlah sel dihitung menggunakan alat *thomacytometer*. Jumlah sel/ml dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Jumlah sel/ml} = \frac{\text{Jumlah sel rata-rata setiap petak} \times 1000}{L (\text{mm}^2) \times K (\text{mm})} \times P$$

Dimana : P = Faktor pengenceran

$$L = \text{Luas petak} \\ (0,2 \times 0,2) \text{ mm}^2 = (0,04 \text{ mm}^2)$$

K = Kedalaman petak (0,1 mm)

Analisa Lipid

Analisis kadar lipid diawali dengan pengujian berat kering atau bobot biomassa yang dilakukan dengan cara 1 ml sampel disaring menggunakan kertas saring dan dipanaskan pada suhu 105°C. Sedangkan

ekstraksi lipid dilakukan dengan metode *Bligh-Dyer*. Sel mikroalga sebanyak 1 ml diekstraksi dengan larutan kloroform:metanol (2:1 v/v) sehingga terpisah menjadi lapisan cairan kloroform dan metanol. Kemudian ditambahkan metanol dan air untuk menghasilkan rasio pelarut akhir dari kloroform:metanol:air sebesar 1:1:0,9. Total lipid ditentukan secara gravimetri (Putri, 2012).

$$\% \text{ Total lipid} = \frac{L_w}{B_w} \times 100$$

Dimana:

L_w = Bobot lipid (gram)

B_w = Bobot Biomassa (gram)

2.4.3 Analisa Chemical Oxygen Demand (COD)

Analisis kadar COD dilakukan diawal sebelum kultivasi dan setelah kultivasi. Analisis parameter COD mengacu pada SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks tertutup secara titrimetri. Untuk mengetahui efisiensi penurunan parameter COD digunakan persamaan berikut:

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

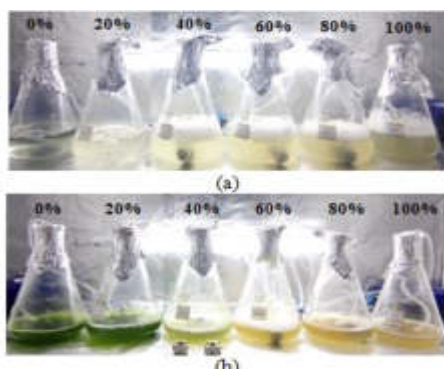
Dimana: C_{in} = Konsentrasi influen (mg/L)

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Volume Limbah Cair Tahu dan Fotoperiod terhadap Jumlah Sel Mikroalga *Scenedesmus* sp.

Perhitungan jumlah sel dilakukan setiap hari ke-0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13 menggunakan alat *thomacytometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kultur yang ditumbuhkan dalam medium limbah cair tahu dan Medium Basal Bold (MBB) menghasilkan kepadatan sel yang berbeda. Hal tersebut menandakan bahwa variasi media perlakuan yang digunakan berpengaruh terhadap pertumbuhan sel mikroalga *Scenedesmus* sp.



Gambar 2. Kultivasi mikroalga *Scenedesmus* sp. pada variasi volume limbah cair tahu (a) hari ke-0 dan (b) hari ke-13

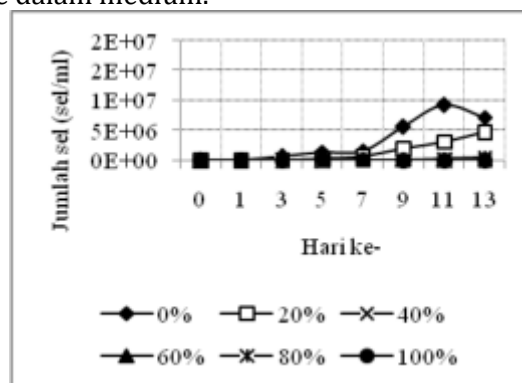


Gambar 3. Bentuk sel mikroalga *Scenedesmus* sp. Dari Hasil Pengamatan Mikroskop

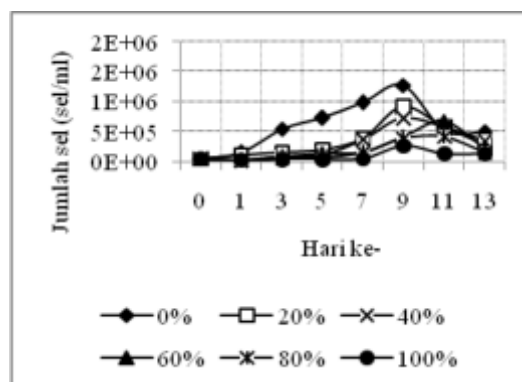
Berdasarkan hasil perhitungan jumlah sel, kepadatan sel mikroalga *Scenedesmus* sp. tertinggi terdapat pada perlakuan 0% limbah cair tahu. Menurut Salim (2013), penggunaan MBB pada kultur tunggal yang sama dengan medium yang digunakan untuk isolasi jenis *Scenedesmus* sp. memungkinkan sel dari spesies ini dengan cepatnya bereproduksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa fase adaptasi sel *Scenedesmus* sp. berlangsung cepat dan pertumbuhan sel lebih banyak. Pada perlakuan medium dengan penambahan limbah cair tahu, sel memerlukan fase adaptasi lebih lama dan pertumbuhan menjadi lebih lambat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Widayat dan Hadiyanto (2015) dengan mikroalga *Nannochloropsis* sp. pada medium 20% limbah cair tahu memerlukan tahap *pre-culture* terlebih dahulu sehingga pertumbuhannya lebih lambat dibanding medium air laut.

Pada perlakuan 60%, 80%, dan 100% limbah cair tahu, pertumbuhan jumlah sel cenderung lebih sedikit. Hal ini disebabkan kandungan volume limbah cair tahu yang lebih besar berarti memiliki kandungan unsur hara yang berlebih sehingga pertumbuhan sel menjadi tidak optimal. Hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Salim (2013) yang mana populasi puncak terendah dicapai pada perlakuan 50% limbah cair tahu pada hari ke-13. Pada penelitian ini, populasi puncak pada perlakuan volume limbah cair

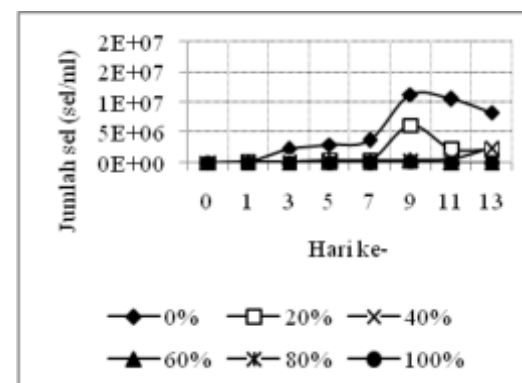
tahu yang berlebih yaitu perlakuan 60% hanya mencapai 8×10^5 sel/ml pada hari ke-13 untuk fotoperiod 12:12. Ketersediaan unsur hara yang berlebihan dapat menurunkan jumlah sel karena unsur hara dari limbah cair tahu dapat menyebabkan inhibisi bagi sel *Scenedesmus* sp. sehingga setelah mencapai puncak maka segera pertumbuhan jumlah sel *Scenedesmus* sp. menurun (Salim, 2013). Selain itu, menurut Muttaqin dan Wachda (2016) semakin tinggi konsentrasi medium akan menyebabkan pertumbuhan berkurang karena adanya peningkatan kepekatan medium sehingga menghambat cahaya masuk ke dalam medium.



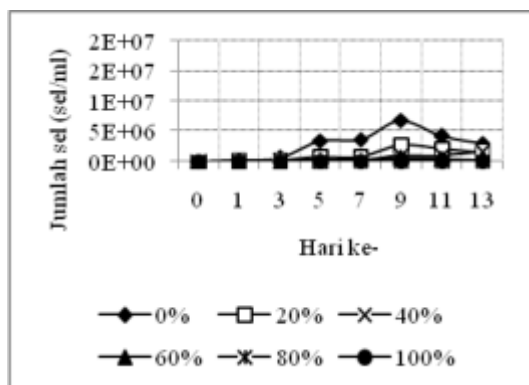
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Grafik hubungan volume limbah cair tahu terhadap jumlah sel pada variasi fotoperiod (a) 16:8, (b) 14:10, (c) 12:12, dan (d) 24:0

Fotoperiod merupakan salah satu faktor yang penting dalam penentuan tingkat keberhasilan fotosintesis oleh mikroalga (Widianingsih dkk, 2012). Adanya variasi fotoperiod mempengaruhi pertumbuhan sel mikroalga *Scenedesmus* sp. Pada Gambar 4, jumlah sel tertinggi terlihat pada perlakuan fotoperiod 12:12 untuk setiap variasi pemberian limbah cair tahu. Hal ini sesuai dengan penelitian Manullang dkk (2013) dengan mikroalga yang berbeda yaitu *Spirulina platensis* pertumbuhan lebih cepat pada fotoperiod 12:12. Hasil ini juga diperkuat oleh penelitian Latiffi dkk (2017) yang melaporkan bahwa pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus* sp. yang terbaik pada fotoperiod 12:12. Bouterfas dkk (2006) menyatakan bahwa fotoperiod 12:12 memungkinkan keseimbangan yang terbentuk antara fenomena anabolik dan katabolik selama siklus fotoperiod. Bouterfas dkk (2006) juga menambahkan bahwa untuk aplikasi industri, fotoperiod 12:12 dianggap sebagai kondisi optimal untuk pertumbuhan mikroalga. Cahaya dibutuhkan pada fase fotokimia untuk menghasilkan energi berupa ATP dan NADPH, sedangkan kondisi gelap dibutuhkan pada fase biokimia untuk sintesis molekul-molekul metabolik yang berperan dalam proses pertumbuhan.

Pada kurva pertumbuhan terkadang memperlihatkan pola pertumbuhan yang tidak lengkap, bukan karena tidak adanya salah satu fase, tetapi fase tersebut berlangsung sangat cepat sehingga sulit digambarkan (Andriyono, 2001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan fase stasioner masing-masing variasi tidak terlihat nyata. Fase

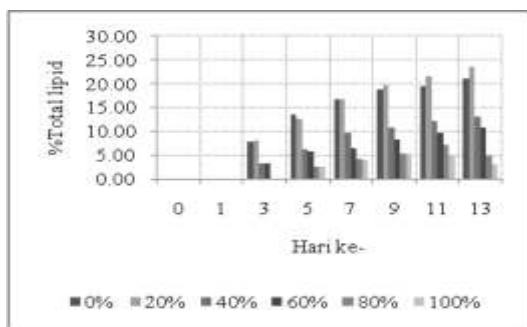
pertumbuhan mikroalga diawali dengan fase adaptasi yaitu penyesuaian mikroalga pada lingkungan yang baru, kemudian dilanjutkan dengan fase eksponensial. Menurut Rusyani (2001), pada awal kultur kandungan nutrisi masih tinggi sehingga dapat dimanfaatkan oleh populasi mikroalga dengan baik untuk reproduksi dan pertumbuhan yang ditandai dengan peningkatan jumlah sel.

Jumlah populasi meningkat namun tidak ada penambahan nutrisi, sedangkan pemanfaatan nutrisi oleh mikroalga terus berlanjut sehingga terjadi persaingan antar mikroalga yang menyebabkan terjadinya penurunan pertumbuhan. Setelah sel mencapai puncak pertumbuhan, maka tidak terjadi lagi penambahan jumlah sel lagi karena pada fase stasioner terjadi keseimbangan antara nutrisi dengan jumlah sel di media kultur (Rusyani, 2001). Kemudian sel memasuki fase kematian yang disebabkan oleh mulai berkurangnya nutrisi yang tersedia sehingga tidak mampu mendukung pertumbuhan sel. Fase kematian juga ditandai dengan perubahan kondisi media seperti warna dan pH medium (Irianto, 2011).

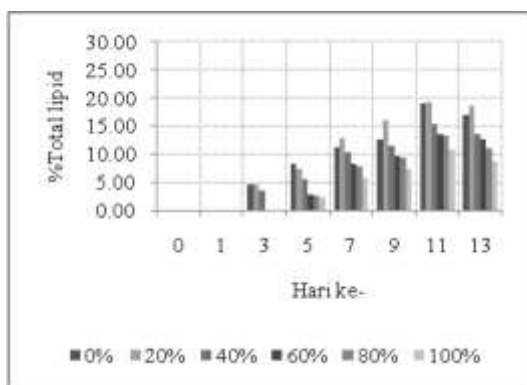
3.2 Pengaruh Volume Limbah Cair Tahu dan Fotoperiod terhadap Kadar Lipid Mikroalga *Scenedesmus* sp.

Berdasarkan seluruh variasi volume limbah cair tahu pada Gambar 5, lipid paling tinggi dihasilkan pada perlakuan 20% dan 0% limbah cair tahu untuk setiap variasi fotoperiod. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Widayat dan Hadiyanto (2015) dengan mikroalga *Nannochloropsis* sp. yang dikultur pada 20% limbah cair tahu menghasilkan lipid mencapai 34,25%, sedangkan pada 0% limbah cair tahu menghasilkan lipid sebesar 32,50%. Menurut Muttaqin dan Wachda (2016), kandungan lipid sangat bergantung pada ion ammonium dan fosfat, karena dua ion tersebut berguna sebagai penyusun struktur lipid. Ion ammonium (sumber nitrogen) yang sudah terdapat pada medium limbah cair tahu dapat digunakan secara langsung untuk metabolisme sel. Sedangkan pada medium MBB, ion nitrat harus diubah dulu menjadi ion ammonium agar bisa digunakan oleh sel untuk proses fotosintesis sehingga memiliki efek pada lipid yang dihasilkan. Lipid berfungsi sebagai sumber energi cadangan apabila sel kekurangan karbohidrat (Widianingsih dkk,

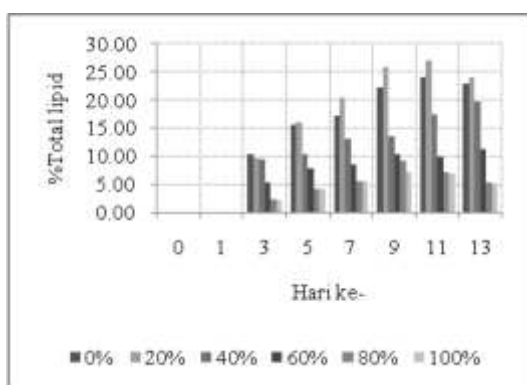
2011). Pada penelitian ini, rendahnya kadar lipid yang dihasilkan pada volume limbah cair tahu yang lebih besar (40%, 60%, 80%, dan 100%) disebabkan energi hasil fotosintesis disimpan sebagai bentuk proses adaptasi sel untuk mempertahankan hidup pada lingkungan yang ekstrim atau pada keadaan diluar kondisi optimal untuk tumbuh. Hal tersebut menyebabkan pertumbuhan sel lebih lambat pada perlakuan volume limbah tahu yang lebih besar seperti pada Gambar 5.



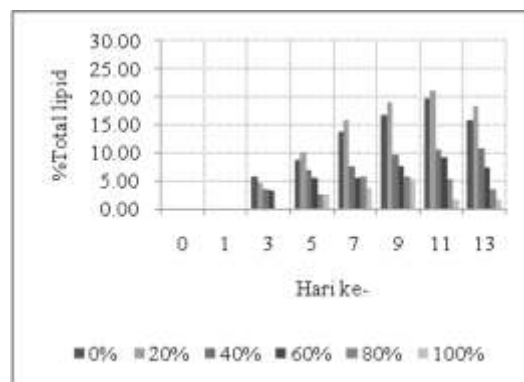
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5. Grafik hubungan volume limbah cair tahu terhadap kadar lipid pada variasi fotoperiod (a) 16:8, (b) 14:10, (c) 12:12, dan (d) 24:0

Berdasarkan Gambar 5 diatas, kadar lipid tertinggi yang dihasilkan pada perlakuan 20% limbah cair tahu berturut-turut yaitu 27,12% (fotoperiod 12:12), 23,61% (fotoperiod 16:8), 21,05% (fotoperiod 24:0), dan 19,30% (fotoperiod 14:10). Menurut Harahap dkk (2013) pembelahan sel terjadi selama periode gelap, sedangkan proses metabolisme seperti pembentukan pigmen, sintesa lipid dan asam terjadi selama periode terang. Oleh sebab itu pada penelitian ini, pembelahan sel yang terjadi secara cepat pada 12 jam periode gelap menyebabkan sintesa lipid pada 12 jam periode terang menjadi meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Widianingsih dkk (2012) yang menyatakan bahwa untuk mendapatkan kandungan lipid total yang maksimal, maka *Nannochloropsis oculata* harus dikultur pada fotoperiod 12:12 dengan panen pada saat kultur memasuki fase stasioner yaitu 31,8%. Lebih kecilnya nilai lipid total pada perlakuan 24:0 disebabkan adanya proses *photoinhibition* pada kultur sehingga dapat menyebabkan rusaknya sel-sel yang mengandung lipid (Widianingsih dkk, 2012).

Pada penelitian ini, jika ditinjau dari pola pertumbuhan *Scenedesmus* sp., kadar lipid tertinggi yang dihasilkan berada pada fase stasioner, yaitu antara hari ke-9 sampai 13 untuk perlakuan 20% limbah cair tahu. Menurut Harahap dkk (2013), pada fase stasioner sel akan memiliki kadar lipid yang lebih besar dibanding pada fase eksponensial, karena pada fase eksponensial seluruh nutrisi yang dibentuk pada sel masih digunakan untuk pertumbuhan. Menurut Safitri dkk (2013) produksi lipid atau penumpukan cadangan lemak terjadi pada fase stasioner, yaitu ketika nutrisi utama seperti nitrogen

untuk sintesa protein atau untuk produksi biomassa sudah tidak mencukupi. Muttaqin dan Wachda (2016) menyatakan jika jumlah sel berkurang, maka lipid yang dihasilkan berkurang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5 yaitu pada saat sel memasuki fase kematian, lipid yang dihasilkan semakin berkurang.

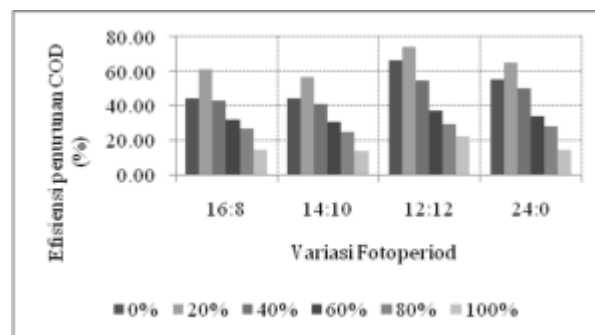
3.3 Pengaruh Volume Limbah Cair Tahu dan Fotoperiod terhadap Efisiensi Penurunan Parameter COD

Berdasarkan Tabel 1, pada masing-masing medium kultur menunjukkan hasil konsentrasi COD awal dan akhir kultivasi. Penambahan limbah cair tahu ke dalam medium kultivasi selain untuk memberikan nutrisi pada pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus* sp., juga bertujuan untuk menurunkan kadar COD yang terkandung dalam limbah cair tahu. Pengolahan limbah cair tahu menggunakan mikroalga memberikan hasil yang cukup baik.

Tabel 1 Hasil Konsentrasi COD Awal dan Akhir Kultivasi

Limbah Cair Tahu	COD awal (mg/L)	COD akhir (mg/L)			
		16:8	14:10	12:12	24:0
0%	450	250	250	150	200
20%	1150	450	500	300	400
40%	2200	1250	1300	1000	1100
60%	3250	2200	2250	2050	2150
80%	4450	3250	3350	3150	3200
100%	5400	4600	4650	4200	4600

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan menggunakan mikroalga jenis *Scenedesmus* sp. dapat menurunkan COD hingga 73,91% pada penambahan 20% limbah cair tahu. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Widayat dan Hadiyanto (2015) yang menunjukkan bahwa pada variabel 20% limbah cair tahu, mikroalga *Nannochloropsis* sp. mampu menurunkan COD hingga 77,40%. Menurut Widayat dan Hadiyanto (2015), pertumbuhan mikroalga yang optimal diindikasikan dengan penurunan COD yang lebih besar. Hal ini sebagai bukti adanya proses penguraian dan pemanfaatan senyawa organik oleh mikroalga untuk pertumbuhan.



Gambar 6. Grafik hubungan volume limbah cair tahu dan fotoperiod terhadap efisiensi penurunan parameter COD

4. KESIMPULAN

Kultivasi dengan variasi pemberian limbah cair tahu dan fotoperiod memberikan pengaruh terhadap kadar lipid mikroalga *Scenedesmus* sp. Kadar lipid tertinggi diperoleh pada pemberian limbah cair tahu 20% dan fotoperiod 12:12 pada hari ke- 11 yaitu sebesar 27,12% dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 73,91%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andriyono, S. 2001. Pengaruh Periode Penyinaran terhadap Pertumbuhan *Isochrysis galbana* klon Tahiti. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Assadad, L., Utomo, B.S.B., dan Sari, R.N. 2010. Pemanfaatan Mikroalga Sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Squalen*. 5(2):51-58.
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 6989.73:2009. Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand (COD)) dengan refluks tertutup secara titrimetri.
- Bouterfas, R., Belkoura, M., dan Dauta, A. 2006. The Effects of Irradiance and Photoperiod on The Growth Rate of Three Freshwater Green Algae Isolated from A Eutrophic Lake. *Jurnal Limnetica*. 25(3):647-656.
- Daniyati, R., Yudoyono, G., dan Rubiyanto, A. 2012. Desain Closed Photo bioreaktor *Chlorella vulgaris* sebagai Mitigasi CO₂. *Jurnal Sains dan Seni*. 1:1-5.
- Fadilla, Z. 2010. Pengaruh Konsentrasi Limbah Cair Tahu Terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Scenedesmus* sp. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Hadiyanto, dan Azim, M. 2012. *Mikroalga Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Semarang: UPT UNDIP Press.

- Harahap, P.S., Susanto, A.B., Susilaningsih, D., Delicia, Y.R. 2013. Pengaruh Substitusi Limbah Cair Tahu untuk Menstimulasi Pembentukan Lipida pada *Chlorella* sp. *Journal of Marine Research*. 2(1):80-86.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., dan Danquah, M.K. 2010. Bioprocess Engineering of Microalgae to Produce a Variety of Consumer Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14:1037-1047.
- Herlambang, A. 2002. Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Samarinda.
- Irianto, D. 2011. Pemanfaatan Mikroalga Laut *Scenedesmus* sp. Sebagai Penyerap Bahan Kimia Berbahaya dalam Air Limbah Industri. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Latiffi, N.A.A, Mohamed, R.M.S.R., Apandi, N.M., dan Tajuddin, R.M. 2017. Experimental Assessment on Effects of Growth Rates Microalgae *Scenedesmus* sp. Different Conditions of pH, Temperature, Light Intensity and Photoperiod. *Jurnal Key Engineering Materials*. 744:546-551.
- Manullang, C., Widianingsih, dan Endrawati, H. 2012. Densitas dan Kandungan Total Lipid Mikroalga *Spirulina platensis* yang Dikultur pada Tingkatan Perbedaan Fotoperiod. *Journal of Marine Research*. 1(1):24-28.
- Mata, T.M., Martins, A.A. dan Caetano, N.S. 2010. Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14:217-232.
- Muttaqin, S.S., dan Wachda. 2016. Peningkatan Kandungan Lipid pada Kultur *Arthrospira Maxima* (Setchell & N.L Gardner) sebagai Biodiesel dengan Medium Limbah Cair Tahu. *Inovation Science Writing Competition (Instinct)*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Nurlita, A., Zuhdi, A.M.F, dan Sukes. 2007. Potensi Mikroalga *Skeletonema costatum*, *Chlorella vulgaris*, dan *Spirulina platensis* sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Jurnal Biologi*. 1-10.
- Prihantini, N.B, Damayanti, D., dan Yuniati, R. 2007. Pengaruh Konsentrasi Medium Ekstrak Tauge (MET) Terhadap Pertumbuhan *Scenedesmus* Isolat Subang. *Jurnal Makara Sains*. 11(1):1-9.
- Putri, E.V. 2012. Cultivation of Microalgae Using Palm Oil Mill Effluent for Lipid Production. *Thesis*. Universiti Teknologi Malaysia.
- Rossiana, N. 2006. Uji Toksisitas Limbah Cair Tahu Sumedang Terhadap Reproduksi *Daphnia carinata* King. *Laporan Penelitian*. Universitas Padjajaran.
- Rusyani, E. 2001. Pengaruh Dosis Zeolit yang Berbeda terhadap Pertumbuhan *Isochrysis galbana* klon Tahiti Skala Laboratorium dalam Media Komersial. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Safitri, M.E., Diantari, R., Suparmono, dan Muhaemin, M. 2013. Kandungan Lemak Total *Nannochloropsis* sp. pada Fotoperiod yang Berbeda. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*. 1(2):128-134.
- Salim, M.A. 2013. Penggunaan Limbah Cair Tahu untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Scenedesmus* sp. 7(1). ISSN 1979-8911.
- Soares, J., Loterio, R.K., Rosa, R.M., Santos, M.O., Nascimento, A.G., Santos, N.T., Williams, T.C.R., Nesi A.N., dan Martins, A.M. 2017. *Scenedesmus* sp. Cultivation Using Commercial-Grade Ammonium Sources. *Jurnal Annals of Microbiology*. 1-12.
- Widayat, dan Hadiyanto. 2015. Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tahu untuk Produksi Biomassa Mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Reaktor*. 15(4):253-260.
- Widianingsih, Hartati, R., Endrawati, H., dan Hilal, M. 2011. Kajian Kadar Total Lipid dan Kepadatan *Nitzschia* sp. yang Dikultur dengan Salinitas yang Berbeda. *Ilmu Kelautan*. 1-9.
- Widianingsih, Hartati, R., Endrawati, H., dan Iriani, V.R. 2012. Kandungan Lipid Total *Nannochloropsis oculata* pada Kultur dengan Berbagai Fotoperiod. *Ilmu Kelautan*. 12(3):119-124.
- Widjaja, A. 2009. Lipid Poduction from Microalgae As a Promising Candidate for Biodiesel Production. *Makara Teknologi*. 13(1):47-51.



Evaluation of Community-Based Sanitation Program Implementation in Central and East Java

Filson M Sidjabat¹, Michelle N Gunawan²

^{1,2} President University, Cikarang, Indonesia

fmsidjabat@president.ac.id

Abstract

Goal 6 of the SDGs has a target for clean water and sanitation, by 2030 the UN has a target of providing universal access to sanitation. Safely managed sanitation can support the progress to supporting socioeconomic development and promoting equality. In developing countries, a majority of the general population does not have access to proper sanitation. Therefore, there are still many challenges faced for sanitation in developing country. Unmanaged sanitation has a negative impact to human health and the environment. In developing countries that has a lot of under developed and rural area, community-based sanitation program is one of the approach for educating and improving sanitation. This study has an objective to evaluate the current implementation of community-based sanitation programs in Indonesia. This study is a literature review that analyzed various sources in a systematical way to evaluate the implementation of community based sanitation programs in Indonesia. In conclusion, the implementation of community based sanitation programs yield a positive impact for the targeted community. The factors that has influence are community involvement, funding and enforcement of sanctions.

Keywords: Sanitation, Community-Based, Clean water, Open defecation, SDGs

Abstrak

Sasaran 6 SDGs memiliki target untuk air bersih dan sanitasi, pada tahun 2030 PBB memiliki target untuk menyediakan akses sanitasi universal. Sanitasi yang dikelola dengan aman dapat mendukung kemajuan, mendukung pembangunan sosial ekonomi dan mempromosikan kesetaraan. Di negara-negara berkembang, mayoritas populasi umum tidak memiliki akses ke sanitasi yang layak. Karena itu, masih banyak tantangan yang dihadapi untuk sanitasi di negara berkembang. Sanitasi yang tidak dikelola memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Di negara-negara berkembang yang memiliki banyak daerah tertinggal dan pedesaan, program sanitasi berbasis masyarakat adalah salah satu pendekatan untuk mendidik dan meningkatkan sanitasi. Studi ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi implementasi saat ini dari program sanitasi berbasis masyarakat di Indonesia. Studi ini adalah tinjauan pustaka yang menganalisis berbagai sumber secara sistematis untuk mengevaluasi pelaksanaan program sanitasi berbasis masyarakat di Indonesia. Kesimpulannya, implementasi program sanitasi berbasis masyarakat menghasilkan dampak positif bagi masyarakat sasaran. Faktor-faktor yang memiliki pengaruh adalah keterlibatan masyarakat, pendanaan dan penegakan sanksi.

Kata kunci: Sanitasi, Berbasis Masyarakat, Air bersih, Buang Air Besar Terbuka,

1. INTRODUCTION

Access to proper sanitation are basic human needs that needs to be fulfilled. This issue relates closely to goal number 6 in the Sustainable Development Goals (SDGs) which focuses on clean water and sanitation. In fact, one of the target calls for universal access to sanitation by 2030. Meaning a major proportion of the population should have access to safely managed sanitation services. (Mcgrahan, 2015) Clean water and sanitation

is closely related with other SDGs such as no poverty (Goal 1), good health and well being (Goal 3) and decent work and economic growth (Goal 8), According to the SDGs, the indicators for a 'safely managed drinking water and sanitation services' are use of improved facilities that includes the accessibility, availability and quality of water services, and the treatment and disposal of wastewater. (WHO, 2017)

According to the World Health Organization (WHO), "Sanitation refers to the provision of facilities and services for the safe management of human excreta from the toilet to containment and storage and treatment onsite or conveyance, treatment and eventual safe end use or disposal. More broadly sanitation also included the safe management of solid waste and animal waste." (WHO, 2018)

Diseases such as diarrheal disease, trachoma and intestinal helminthes are diseases that related to poor access to sanitation and drinking water. According to WHO, other infectious diseases such as cholera, typhoid, dysentery and impaired cognitive function are also related to inadequate sanitation. In addition, inadequate sanitation can have negative impact on a person's wellbeing through anxiety, reduced school attendance and threat to safety. Unsafe sanitation services or practices has a negative impact on the environment such as polluting water sources with fecal-pathogens. (World Health Statistic, 2017) Contamination of water sources, especially ones that is used as drinking water sources will impact public health as well as the quality of the environmental ecosystem. The degradation of the environment and public health has an implication on the economic aspect. Cambodia, Indonesia, Philippines and Vietnam experience approximately US\$ 9 Billion losses each year due to poor sanitation management practices. (Minh & Hung, 2011)

These diseases and negative consequences can be prevented by implementing proper sanitation and drinking water systems. A study estimated that the risk reduction due to water treatment at point of use results in 37% reduction in diarrheal cases. (Clansen, 2017) Non-health related benefits include time saving and more time spent at school for children. In addition, Safe and proper management of sanitation can support the socioeconomic development progress and promotes equality. A study by Hutton et al, conducted a cost-benefit on improving clean water and sanitation services, it is concluded that the cost-benefit ratio is at least US\$5 in economic benefit per US\$1 invested. (Hutton, Haller, & Bartram, 2007) Suggesting that the improvement of health gives economic returns that outweigh the economic investments required to build a proper sanitation and clean water services. (Hutton, 2012)

Equality of service is one of the challenges in providing proper sanitation, from the total global population that is unserved by proper sanitation 80% of which in Africa, South Asia or East Asia. These are parts of the world are largely composed of developing country. According to McGranahan, four institutional challenges for providing low-cost sanitation are: 'a collective action challenge, a coproduction challenge, an affordability challenge, and a housing tenure challenge.' (Mcgranahan & Mitlin, 2016) The first challenge, a collective action challenge, stated that sanitation problems are dependent on the sanitation facilities and the behavior of others. The second challenge relates that to the inability of the stakeholders involved (state, resident, etc) to collaborate in providing safely managed low-cost sanitation. The third challenge is quite straightforward in that those with low incomes simply cannot afford proper sanitation. Lastly, the house tenure challenge relates to land ownership and fear of being displaced which result in reluctance to invest on proper sanitation facilities. (Mcgranahan & Mitlin 2016)

The biggest challenge in Indonesia regarding sanitation are the rural-urban gaps, for example more developed areas such as Jakarta has better sanitation that eastern provinces such as Papua. Although Indonesia has had improvements in recent years, with 71% of households having access to drinking water while 62.1% have access to sanitation. Still, the gap of coverage ranged from 89.3% in Jakarta to 23.9% in East Nusa Tenggara. (Asfifah, et al., 2018)

A solution that can be implemented in middle-income and low-income such as Indonesia is community-based sanitation programs. (Hope, 2015) This approach are implemented to address the lack of provision from private sector or the government. This bottom-up approach are based on the belief that communities can effectively manage water and sanitation services through collective action. The approach utilizes social capital, that includes social networks and shared trust. (Dickin, Bisung, & Savadogo, 2017)

A study in India shows that individuals are more likely to adopt a good sanitation behavior if an acquaintance also did the same. (Shakya, Christakis, & Fowler, 2012)

This study has an objective to evaluate the current implementation of community-based

sanitation programs in Indonesia. The programs that will be analyzed in this study is CLTS and PAMSIMAS. The aspects to be evaluated is the type of program implemented, factors that has influence, the result of the program. The factors that influence the success and sustainability of the program will be further studied. This knowledge will be usefully for planning future community based sanitation programs.

2. METHOD

This study is a literature review that analyzed various sources in a systematical way to evaluate the implementation of community based sanitation programs in Indonesia.

The result and discussion contains discusses about the challenges and benefits of community-based sanitation program. Next, 4 case studies will be analyzed according to the aspects of area, type of program, influencing factors, and result of the program. Of the 4 case studies in this study, 2 cases are located in East Java, 2 cases in Central Java. A conclusion will be drawn on the influencing factors and the result of community-based sanitation programs.

3. RESULT AND DISCUSSION

To evaluate the implementation of community based sanitation programs in Indonesia. Some case studies of programs that has been implemented in various areas in Indonesia are analyzed and compared in order to better understand implementation of these programs and the lesson learned.

3.1 Case study area description

There are 4 case studies that are studied in this study. Case study 1, 2 and implemented the CLTS program while case study 3 and 4 implemented PAMSIMAS program. The programs are located as follows:

Case study 1: Gucialit Village, Gucialit District, Lumanjang Regency, East Java (Nugraha, 2015)

Gucialit Village has an area of 11.38 Km² and a population of 5,089 people that is divided into 1,512 families. This area is located in Gucialit District ± 25 km northwest of Lumajang City Center. (BPS Kabupaten Lumajang. 2018) According to public records, of 305,569 Families in Lumajang district, 83.35% had access to latrines in 2014.

The majority of the population works as farmers.

Case study 2: Parning Village, Jaticalen District, Nganjuk Regency, East Java (Zahrina, 2015.)

Parning Village has an area of 6.19 km² and a population of 3,399 in 2017. (BPS Kabupaten Nganjuk, 2018) The condition of community latrines in this area, the location of the latrine, and the improper protection or cover of the toilet, as well as the unpleasant impression of the latrine still indicate improper latrine conditions.

Case study 3: Temanggung Regency in Central Java Province. (Insani & Uny, 2016.)

Temanggung Regency has a total area of 870.65 km² and has 20 district with 266 rural and 23 urban villages. Temanggung Regency has a total population of 759,128 people. (BPS Kabupaten Temanggung, 2018) The increasing population of Temanggung Regency from year to year shows that, the need for clean water is also increasing. The population in rural areas with safe drinking water access is 67.79% and the population with proper sanitation is 61.47%. In 2015, the PAMSIMAS program was implemented in 108 villages in the Temanggung Regency

Case study 4: Prambanan District, Klaten Regency, Central Java Province (Saputra, 2016)

Prambanan District is located in the westernmost part of Klaten Regency and is a border area between Klaten Regency and Sleman Regency. Prambanan District has a population of 50,047 people, The population density of Prambanan Subdistrict is 2117 people / Km². The largest type of livelihood in Prambanan District is 41.03% is farmers and the lowest is 13.67% is breeders. There are 5 villages that have been reached by the PAMSIMAS program, Sanggrahan Village , Pereng Village, Kotesan Village, Cucukan Village and Sengon Village. The problem in Prambanan District is the drying up of water sources during the dry season, there is an iron content so that the water is yellowish, and improper management of wastewater.

Table 1. Summary of Case Study Area

Case Study	Area
Case Study 1 (Nugraha, 2015)	Gucialit Village, Gucialit District, Lumanjang Regency, East Java

Case Study	Area
Case Study 2 (Zahrina, 2015)	Perning Village, Jatikalen District, Nganjuk Regency, East Java
Case Study 3 (Insani & Uny, 2016)	Temanggung Regency in Central Java Province.
Case Study 4 (Saputra, 2016)	Prambanan District, Klaten Regency, Central Java Province

3.2 Description of programs implemented

3.2.1 Community-Led Total Sanitation (CLTS)

In case study 1 & 4, the program implemented is Community-Led Total Sanitation. This approach focuses on raising awareness about open defecation and its negative effect to human health, furthermore the program encourages communities to have healthy latrines. A notable principle of this approach is that there are no financial subsidies. (Galvin, 2015)

In Indonesia, according to the Ministry of Health, STBM or Community-Led Total Sanitation consists of 5 pillars, 1) Stop open defecation (Stop BABS); 2) Wash hands with soap (CTPS); 3) Safe drinking water and food management (PAMM-RT); 4) Management of household waste (PS-RT), and 5) Management of household wastewater (PLC-RT). (PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 2 TAHUN 2014) Of the 5 Pillars, the first pillar, stop open defecation is the most influential pillar that has great effect towards public health and the environment. In addition, the first pillar is the gateway to total sanitation. (Nugraha, 2015) In management of household waste, the goal of improving human health and environmental quality can be made through the involvement of the community. (Ismail & Sidjabat ,2019) In addition, The problem of waste pollution in water and sea bodies must be a concern of various agencies including education, and contribute in various scales, especially local scale (Sidjabat et al., 2019)

According to The National Development Planning Board (BAPPENAS), 25 million people in Indonesia still practice open defecation, although there about 21% reduction from 2015 where UNICEF found that there are 32 million people that still practice open defecation. (Nugraha, 2019) While according to World Bank, worldwide about 9.052% of the global population still

practiced open defecation. This numbers shows that even in a modern society, this unsanitary behavior is still commonly found in society. (The World Bank) A research done in 2016 that analyzed the relationship between CLTS implementation and diarrhea cases shows that by the implementation of CLTS there is a reduction in the number of diarrhea cases in the area. Of the five pillars that is included in CLTS, the pillars that has influence on the reduction of diarrhea cases is Stopping open defecation, Hand-washing with soap and treatment of household wastewater. While, Safe drinking water and management of food as well as management of household waste do not have a relationship. (Mukti, Raharjo & Dewanti, 2016)\

3.2.2 PAMSIMAS

PAMSIMAS is the abbreviation of “Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat” or Community Based Water Supply and Sanitation. This program is of the National Community Empowerment Program run by the Indonesian government. PAMSIMAS includes preparation, planning, implementation, operation and maintenance stages. Currently, there are two stages that has been completed PAMSIMAS I (2008-2012) and PAMSIMAS II (2013-2015) and is now entering the third stage PAMSIMAS III (2016-2020). This project receives funding from the local government budget as well as international funding from World Bank and Australian government through the Department of Foreign Affairs and Trade (DFAT) [Pamsimas]

The approach includes preparing the necessary facilities such as drinking water and sanitation as well as building community awareness and capacity to live clean and healthy lifestyles. Another aspect in this program is the formation of management body called BPSPAMS that is responsible for managing the facilities. The components that is involved in this program are, community empowerment, CLTS approach, supplying clean water and sanitation facility, incentives and technical support. [Pamsimas]

3.2.3 Comparison between PAMSIMAS and CLTS

Community-Led Total Sanitation is an approach that is widely implemented internationally, while PAMSIMAS is an approach that is developed by the Indonesian government. While, CLTS focuses on changing

social behavior with regards of sanitation in a community, PAMSIMAS focuses on providing proper clean water and sanitation infrastructures or in other words the bigger picture of sanitation and clean water. For this reason, PAMSIMAS commonly receive funding from government or international organizations, while CLTS are not subsidized. Although both has a similar target of improving sanitation, the approach and the means used to reach that target is different.

3.3 Result of program implementation

In the first case study that is implemented in Gucialit Village. Since the implementation of CLTS there are several positive changes. First, the area is open defecation free (ODF), previously the people defecate in fields or gardens. Second, the latrine conditions now have improved, most of the area have converted from using unhealthy latrines to healthy latrines, with some exception in places that has difficult access to water. Healthy latrines mean latrines that have building made of concrete), has a room and a roof that protects it from the weather so it does not contaminate the surrounding environment and equipped with water. As a result of being open defecation free and having healthy latrines, there is no more human feces that can be seen in the surrounding environments. The implementation of CLTS also reduced diseases such as diarrhea and skin disease, although the researchers did not provide the exact numbers of the decrease.

In the second case study, since the implementation of CLTS in 2009, only about 8.51% of the community or as many as 60 people in Perring village still often do open defecation. People who use shared latrines is as much as 18.6% (128 people). 129 people owns healthy and permanent toilets and while 388 families owns semi-permanent toilets.

The PAMSIMAS program implemented in the third case study were able to build drinking water facilities with a capacity of 401.67 liters / second even though the water demand is only 207.60 liters/second. In addition, the program built sanitation facilities by building hand-washing facilities and toilets in primary schools. For maintenance purposes, a management body, BPSPAMS is formed in every village. The program was completed in one year. The community is satisfied with the benefit obtained from the PAMSIMAS

program. With the existence of the PAMSIMAS program the community lived healthier life.

In the last case study, the form of PAMSIMAS implementation in Prambanan District begins with the socialization from the central government or BAPPEDA, followed by the planning, implementation of monitoring and evaluation phase. There are no percentage of improvement provided in this research, but it is stated that this program receives a good reception by the surrounding community and it said that it helps the problem of water shortage in dry season.

3.4 Factors influencing success and failure

Like every activity there are supporting factors that can contribute to a program's success as well as inhibiting factors that can contribute to the failure of a program. By analyzing the supporting factors and inhibiting factor, a lesson can be learned which can contribute to the success of future programs. The factors that affect each case study is summarized below in table 2.

Table 2. Supporting and Inhibiting factors

Case Study	Supporting Factors	Inhibiting Factors
Case Study 1	1. Public Participation 2. Enforcement of Sanction or Rules 3. Monitoring Mechanism 4. Clear strategic Plan	1. Lack of funding 2. Community Acceptance 3. No Standardized Procedure or Guidebook
Case Study 2	1. Support from professional human resources 2. Enforcement of Legal Sanctions 3. Awareness of Community	1. Lack of funding 2. Lack of time
Case Study 3	1. Minimal third party interference 2. Community's adaptability 3. Funding by government	1. People's low economic capacity 2. Natural factor 3. Lack of Time 4. Low community awareness
Case Study	1. Community participation	1. Rejection by the

Case Study	Supporting Factors	Inhibiting Factors
4	through funding, idea, manpower	2. community Technical Issue
	2. Good Cooperation and teamwork	3. Destruction of property by locals

A clear supporting factor is the reception and participation of the targeted community, this factor will determine the speed of which the project may be completed and how successful the program will be. Without support from the local community, a project might be too dependent to third party stakeholders, therefore it is suggested that if a program face rejection from a community, it is best to terminate the program. (Ceptureanu, Ceptureanu, Luchian, & Luchian, 2018) Community participation can be in the form of money, material, manpower, skills, ideas, social, decision-making, representation. (Nurbaiti & Bambang, 2018)] The characteristic of the individuals inside the community such as financial level, gender and age group also influence the level of participation (Nurbaiti & Bambang, 2018) Meanwhile, participation from the community in the form of local knowledge can reduce repair costs later on but has no impact to the maintenance of an infrastructure, although this result might vary with different populations. (Holcombe, Berg, Smith, Anderson, & Holm-Nielsen, 2017) Therefore securing good community participation will greatly contribute to a program's success and sustainability

In several cases funding is identified as a determining external factor to a program's success or failure. Especially in infrastructure focused programs such as PAMSIMAS. Diversity in funding sources will increase the chances of success in a community based programs (Ceptureanu, Ceptureanu, Luchian, & Luchian, 2018). A study found that over 90% of highly successful programs received external financial support. (Hutchings, et al., 2017) From the 4 case studies above, only one case study clearly mentioned that they had received funding from the government.

Two out of two case study mentioned that the enforcement of sanction contributes as a supporting factor. Although there is no substantial evidence that enforcing sanction

will be effective in combating non-compliance. (Hutchings, et al., 2017) There is also the additional concern about the ethics and appropriateness of enforcing sanctions. (Ficek & Novotny, 2018) However, there are some cases where implementing local community by-laws that is accepted by the community members may result in the change of social norms. (Hutchings, et al., 2017) For this reason, sanctions are a sensitive factor that should only be implemented with the consent of the community members and should adapt to the culture and norms of the targeted community.

Research by Al'Afghani et al., suggests that community based sanitation program has four key issues: "absence of legal personality, lack of asset security, lack of financial security, and lack of a service standard." (Al'Afghani, 2019) Therefore improvement in the way the government conduct this projects is needed in order to ensure greater success with these type of projects.

4. CONCLUSION

In conclusion, the implementation of community based sanitation programs yield a positive impact for the targeted community. The comparison between case studies is summarized in the table 2. There are two type of programs, CLTS and PAMSIMAS. Generally, the result that is obtained are reduced ODF and improvement in sanitation facilities. The factors that is mentioned in the case studies are community involvement, funding and enforcement of sanctions. Community involvement and funding are great contributing factor to the success of a program, while enforcement of sanctions has no supporting evidence of its influence. With the nation-wide implementation of community-based programs, it is hoped that this can resolve the equality of sanitation quality issues that exist in Indonesia. Suggestion for further studies should focus on the implementation of of communal water treatment plants and the management of such facilities, which have high operational cost. Especially regarding the wastewater sludge which needs to be disposed properly. (Kurniawan, Hakiki & Sidjabat, 2018)

5. REFERENCES

- Afifah, T., Nuryetty, M. T., Cahyorini, Musadad, D. A., Schlotheuber, A., Bergen, N., & Johnston, R. (2018). Subnational regional inequality in

- access to improved drinking water and sanitation in Indonesia: results from the 2015 Indonesian National Socioeconomic Survey (SUSENAS). *Global Health Action*, 11(sup1), 31–40. doi: 10.1080/16549716.2018.1496972
- Al'Afghani, M. M. (2019). *Not Built to Last: Improving Legal and Institutional Arrangements for Community-Based Water and Sanitation Service Delivery in Indonesia*. 12(1), 19.
- BPS Kabupaten Nganjuk (2018) "Kecamatan Jatilaken dalam angka,"
- BPS Kabupaten Temanggung (2018) "Kabupaten Temanggung dalam angka,"
- Ceptureanu, Sebastian, et al. "Community Based Programs Sustainability. A Multidimensional Analysis of Sustainability Factors." *Sustainability*, vol. 10, no. 3, 2018, p. 870., doi:10.3390/su10030870.
- Clansen, T. F. (2017). *Household-Based Water Treatment for the Prevention of Diarrhoeal Disease* (dissertation).
- Dickin, S., Bisung, E., & Savadogo, K. (2017). Sanitation and the commons: The role of collective action in sanitation use. *Geoforum*, 86, 118–126. doi: 10.1016/j.geoforum.2017.09.009
- Galvin, M. (2015). Talking shit: Is Community-Led Total Sanitation a radical and revolutionary approach to sanitation?: Is CLTS a radical and revolutionary approach to sanitation? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(1), 9–20. <https://doi.org/10.1002/wat2.1055>
- Ficek, F., & Novotný, J. (2018). Comprehending practitioners' assessments of community-led total sanitation. *Health Promotion International*, 34(6). doi: 10.1093/heapro/day070
- Holcombe, Elizabeth A., et al. "Does Participation Lead to Ongoing Infrastructure Maintenance? Evidence from Caribbean Landslide Mitigation Projects." *The Journal of Development Studies*, vol. 54, no. 8, 2017, pp. 1374–1391., doi:10.1080/00220388.2017.1327658.
- Hope, R. (2015). Is community water management the community's choice? Implications for water and development policy in Africa. *Water Policy*, 17(4), 664–678. doi: 10.2166/wp.2014.170
- Hutchings, P., Chan, M. Y., Cuadrado, L., Ezbakhe, F., Mesa, B., Tamekawa, C., & Franceys, R. (2015). A systematic review of success factors in the community management of rural water supplies over the past 30 years. *Water Policy*, 17(5), 963–983.
- Hutton, G., Haller, L., & Bartram, J. (2007). Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. *Journal of Water and Health*, 5(4), 481–502. doi: 10.2166/wh.2007.009
- Hutton, G. (2012). Global costs and benefits of reaching universal coverage of sanitation and drinking-water supply. *Journal of Water and Health*, 11(1), 1–12. doi: 10.2166/wh.2012.105
- Insani, S., & Uny, F. (2016). *EFEKTIVITAS PROGRAM PENYEDIAAN AIR MINUM DAN SANITASI BERBASIS MASYARAKAT (PAMSIMAS) DI TEMANGGUNG*. 12.
- Ismail, Y., & Sidjabat, F. M. (2019). COMMUNITY EMPOWERMENT IN HOUSEHOLD WASTE MANAGEMENT. *JCE/ Journal of Community Engagement*, 1(01), 24–29.
- Kurniawan, T., Hakiki, R., & Sidjabat, F. M. (2018). Wastewater Sludge As an Alternative Energy Resource: A Review. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 3(1), 1–12.
- Mcgranahan, G. (2015). Realizing the Right to Sanitation in Deprived Urban Communities: Meeting the Challenges of Collective Action, Coproduction, Affordability, and Housing Tenure. *World Development*, 68, 242–253. doi: 10.1016/j.worlddev.2014.12.008
- Mcgranahan, G., & Mitlin, D. (2016). Learning from Sustained Success: How Community-Driven Initiatives to Improve Urban Sanitation Can Meet the Challenges. *World*

- Development*, 87, 307–317. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.06.019
- Minh, H. V., & Hung, N. V. (2011). Economic Aspects of Sanitation in Developing Countries. *Environmental Health Insights*, 5. doi: 10.4137/ehi.s8199
- Mukti, D. A., Raharjo, M., & Dewanti, N. A. Y. (2016). HUBUNGAN ANTARA PENERAPAN PROGRAM SANITASI TOTAL BERBASIS MASYARAKAT (STBM) DENGAN KEJADIAN DIARE DI WILAYAH KERJA PUSKESMAS JATIBOGOR KABUPATEN TEGAL. *JURNAL KESEHATAN MASYARAKAT*, 4, 9.
- PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 2 TAHUN 2014
- PROFIL KABUPATEN LUMAJANG. (2017). Retrieved December 8, 2019, from <https://lumajangkab.go.id/profil/kecgcl.php>.
- “Ringkas Program.” *Pamsimas*, pamsimas.org/profil/ringkas-program/.
- Nugraha, M. F. (2015). *Dampak Program Sanitasi Total Berbasis Masyarakat (STBM) Pilar Pertama di Desa Gucialit Kecamatan Gucialit Kabupaten Lumajang*. 3, 10.
- Nugraha, Ricky Mohammad. “Bappenas: 25 Mln Indonesians Practice Open Defecation in 2018.” *Tempo*, TEMPO.CO, 12 Feb. 2019, en.tempo.co/read/1175007/bappenas-25-mln-indonesians-practice-open-defecation-in-2018.
- Nurbaiti, Siti Robiah, and Azis Nur Bambang. “Literature Study on Community Participation in Community Based Rural Water Supply and Sanitation Programs.” *E3S Web of Conferences*, vol. 31, 2018, p. 09033., doi:10.1051/e3sconf/20183109033.
- Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children’s Fund (UNICEF), 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Sanitation. (2018, November 30). Retrieved from <https://www.who.int/topics/sanitation/en/>
- Saputra, A. K. (2016). ANGGAPAN DAN PARTISIPASI MASYARAKAT DALAM PROGRAM PENYEDIAAN AIR MINUM DAN SANITASI BERBASIS MASYARAKAT (PAMSIMAS) DI KECAMATAN PRAMBANAN KABUPATEN KLATEN.
- Shakya, H. B., Christakis, N. A., & Fowler, J. H. (2012). Social Network Predictors of Latrine Ownership. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2182130
- Sidjabat, F. M., Ismail, Y., & Rismauli, E. (2019). Pendidikan Lingkungan: Plastic Pollution Awareness di Desa Jatireja, Cikarang, Jawa Barat. *Academics in Action Journal*, 1(2), 88–100.
- “The World Bank.” *Data*, data.worldbank.org/indicator/SH.S.TA.ODFC.ZS.
- World Health Statistics 2017: Monitoring health for the SDGs. (2017, July 4). Retrieved from https://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2017/en/.
- Zahrina, A. F. (2015.). *IMPLEMENTASI PROGRAM GERAKAN SANITASI BERBASIS MASYARAKAT DALAM PENGENDALIAN LINGKUNGAN (Studi Kasus pada Desa Perring, Kecamatan Jatikalen, Kabupaten Nganjuk)*. 5.



Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Masyarakat untuk Berpartisipasi dalam Program Citarum Harum

Aulia F. Hadining¹, Kusnadi², Gina Lova Sari³, Hadi Sudarjat⁴

^{1,2,3,4} Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

aulia.fasha@staff.unsika.ac.id

Abstract

The behavior of people who depend on the Citarum River Watershed (DAS Citarum) in disposing of waste has a direct impact on the damage and pollution experienced by the Citarum River. Therefore, the Citarum Harum program by the government is expected to change the Citarum River Watershed (DAS Citarum) community more importantly in terms of waste management. The purpose of this study is to determine the factors that influence the behavioral intention of the Citarum watershed community to realize the Citarum Harum. This research was conducted by surveying through questionnaires to 170 respondents. After collecting data, the data then processed using Partial Least Square (PLS) method with SmartPLS 3.0 software. The results of this study indicate that the Perceived Behavioral Control (PBC), Incentive Measure (IM), and Personal Norm (PN) factors significantly influence the Behavioral Intention (BI) respectively amount 16.3%, 15.9%, and 19.1%. While the Knowledge Theory (ETK) and Environmental Practices Knowledge factors influence the Attitude Towards Behavior (ATT) to understand in actualize citarum harum program respectively amount 38.4% and 21.7%.

Keywords: *Behavioral Intention*, Citarum Harum, *Theory of Planned Behavior*

Abstrak

Perilaku masyarakat yang berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) sungai citarum dalam membuang sampah, memberikan pengaruh secara langsung terhadap kerusakan dan pencemaran yang dialami oleh sungai citarum. Maka dari itu, program citarum harum diharapkan mampu mengubah perilaku masyarakat DAS Citarum terutama dari segi pengelolaan sampah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi dan secara signifikan berpengaruh terhadap *behavioral intention* (niat perilaku) masyarakat DAS citarum untuk mewujudkan citarby theum harum. Penelitian ini dilakukan dengan survei melalui kuesioner kepada 170 responden. Setelah dilakukan pengumpulan data, kemudian data tersebut diolah menggunakan metode *Partial Least Square* (PLS) dengan *software* SmartPLS 3.0. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa faktor *Perceived Behavioral Control* (PBC), *Incentive Measure* (IM), dan *Personal Norms* (PN) secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* (BI) masing-masing sebesar 16,3%, 15,9%, dan 19,1%. Sedangkan faktor *Environment Theory Knowledge* (ETK) dan *Environment Practice Knowledge* memberikan pengaruh terhadap *Attitude Toward the Behavior* (ATT) untuk berpartisipasi dalam mewujudkan citarum harum masing-masing sebesar 38,4% dan 21,7%.

Kata Kunci: *Behavioral Intention*, Citarum Harum, *Theory of Planned Behavior*

1. PENDAHULUAN

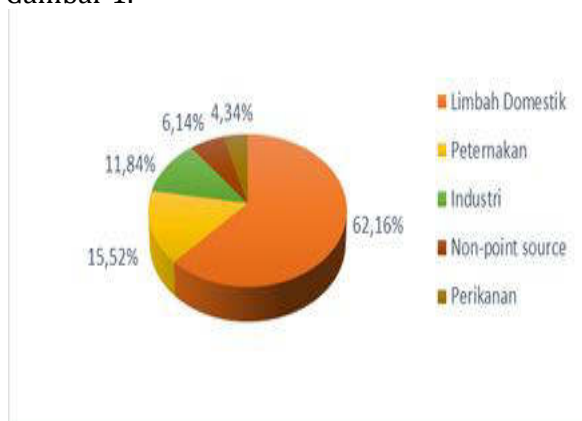
Beberapa tahun terakhir permasalahan limbah sudah menjadi persoalan krusial di sejumlah negara termasuk Indonesia. Berbagai aktivitas manusia yang berasal dari kegiatan rumah tangga, industri, peternakan, pertanian, perikanan pada dasarnya akan menghasilkan limbah. Berkaitan dengan pembuangan limbah apabila dibuang langsung ke lingkungan akan menjadi penyebab utama

terjadinya pencemaran terhadap lingkungan (Pavita, Widiatmono, & Liliyana, 2014).

Masalah pencemaran lingkungan yang sampai saat ini belum teratasi yaitu pencemaran Sungai Citarum. Ramai menjadi perbincangan di berbagai media bahwa Sungai Citarum menjadi salah satu sungai paling tercemari di dunia (Van Ginkel, Ozerol, & Lutfiandi, 2015). Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum sebagai salah satu sungai terbesar

dan terpanjang di Jawa Barat dan secara geografis melewati beberapa kabupaten yaitu Bandung Barat, Cianjur, Purwakarta, dan Karawang sekaligus rumah bagi 3 bendungan besar yaitu Jatiluhur, Cirata, dan, Saguling (BBWS, 2014). Kerusakan dan pencemaran yang dialami Sungai Citarum sudah sangat kritis. Berdasarkan pemantauan kualitas air dari Kemenko Maritim pada tahun 2017, menunjukkan beban pencemaran pada kualitas air eksisting Sungai Citarum saat ini berada dalam katagori tercemar berat (Syafila & Marselina, 2018).

Kementerian Lingkungan Hidup menjabarkan bahwa sumber pencemaran Sungai Citarum yang diukur dengan indikator Biochemical Oxygen Demand (BOD) berasal dari limbah domestik (air limbah rumah tangga dan sampah), industri (gabungan sumber pencemar institusi yaitu industri, rumah sakit, hotel, dan UMKM), perikanan, peternakan, dan non-point source (pertanian, hutan dan lahan terbangun di perkotaan) (Kementrian LH, 2018). Presentase sumber pencemar di DAS Citarum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Presentase penyebab pencemaran DAS Citarum

(Sumber: Syafila & Marselina, 2018)

Pada Gambar 1, diketahui limbah domestik memiliki prosentase terbesar dan menjadi sumber pencemar paling banyak di DAS Citarum. Limbah domestik tersebut berasal dari kegiatan masyarakat (mandi, cuci, kakus (MCK), sisa-sisa makanan dan sayuran, sampah plastik) di sekitar DAS Citarum. Hal ini berarti semakin tinggi kepadatan penduduknya semakin besar beban pencemar domestik yang ditimbulkan (Syafila & Marselina, 2018). Selain itu, UKM juga berperan menyumbangkan limbah seperti Keramba Jaring Apung (KJA) yang terdapat di perairan Waduk Jatiluhur menjadi penyebab penurunan kualitas air sebesar 7,87% antara

tahun 2014 dan 2019 (Prinajati, 2019). Pencemaran di Waduk Jatiluhur didominasi oleh limbah bahan organik dari populasi keramba jaring apung yang sudah melebihi batas misal dari sisa pakan ikan (Anas, Jubaedah, & Sudino, 2017).

Desa Cikaobandung termasuk dalam wilayah Dansektor 14 dan terletak dekat dengan Waduk Jatiluhur. Berdasarkan letak geografis, Desa Cikaobandung dilintasi oleh aliran Sungai Citarum dan terhubung dengan perairan Waduk Jatiluhur. Desa Cikaobandung merupakan desa yang berlokasi tepat di aliran sungai citarum dan keluaran waduk jatiluhur. Hal ini membuat desa Cikaobandung dialiri oleh sungai yang tercemar dari berbagai sumber yaitu limbah industri, KJA Waduk Jatiluhur, dan terutama limbah domestik. Oleh karena itu responden pada penelitian ini adalah warga desa yang tinggal di desa Cikaobandung.

Pencemaran Citarum juga disebabkan oleh paradigma masyarakat yang menganggap sungai merupakan tempat sampah raksasa dan destinasi akhir semua jenis kotoran (Zakia, et al., 2019). Dampak pencemaran lingkungan di sekitar DAS Citarum juga akan berdampak pada kesehatan masyarakat sekitar. Penggunaan air citarum yang masih tercemar dapat menyebabkan berbagai penyakit, contohnya diare, penyakit kulit, saluran pernapasan dan lainnya (Erianti & Djelantik, 2019)

Berbagai permasalahan yang telah dipaparkan membutuhkan upaya penanganan yang tepat dimana menurut Perpres Nomor 15 Tahun 2018 pasal 13 (b) diperlukan adanya pemulihan ekosistem melalui inovasi inovasi perbaikan berkelanjutan. Guna merencanakan dan merekayasa upaya tersebut dibutuhkan data -data mengenai perilaku serta kesadaran masyarakat terhadap lingkungan.

Perilaku masyarakat terhadap lingkungan memegang peranan penting dalam penanganan pencemaran dan terlaksananya program Citarum Harum karena aktor utamanya adalah masyarakat DAS Citarum yang terlibat secara langsung, khususnya mengenai pengelolaan sampah (Erianti & Djelantik, 2019). Selain itu perilaku juga menunjukkan kepedulian dan komitmen masyarakat sebagai bentuk partisipasi terhadap program Citarum Harum.

Berdasarkan pemaparan tersebut, model *Theory of Planned Behavior* (TPB) yang dibangun oleh Ajzen (1985) merupakan

pengembangan dari model TRA (*Theory of Reasoned Action*), menjadi model penelitian yang banyak digunakan untuk menjelaskan dan memprediksi niat dan perilaku seseorang dalam berbagai konteks permasalahan khususnya mengenai penelitian yang berkaitan dengan lingkungan (Han, 2015).

Model TPB yang dikembangkan oleh Hu berfokus kepada *behavioral intention* seseorang untuk berpartisipasi dalam program peduli lingkungan yang selaras dengan konteks penelitian ini (Hu, Zhang, Wang, Yu, & Chu, 2019). Banyak penelitian menemukan bahwa kerangka model TPB dapat diperdalam dan diperluas penjabarannya (Hu dkk, 2018).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis faktor – faktor yang memengaruhi *behavioral intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

1.1 Model Penelitian dan Hipotesis

Hu menggunakan *Theory of Planned Behavior* untuk mengembangkan model teoritis yang lebih prediktif dari model asli sesuai dengan tujuan penelitian (Hu dkk, 2019). Pada penelitian ini model dikembangkan berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai yaitu mengetahui faktor *Theory of Planned Behavior* yang berpengaruh terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

Pada model yang dibentuk oleh Hu (Hu dkk, 2018, 2019) variabel terdiri dari *Attitude Toward The Behavior* (ATT), *Subjective Norms* (SN), *Perceived Behavioral Control* (PBC), *Incentive Measures* (IM), *Environmental Theory Knowledge* (ETK), *Environmental Practice Knowledge* (EPK), *Government Companion* (GC), *Personal Norms* (PN), dan *Past Behavior* (PB). Definisi dari masing-masing variabel adalah:

a. *Attitude Toward The Behavior* (ATT)

Attitude Toward The Behavior merupakan variabel yang menunjukkan suatu kecenderungan sikap seseorang dalam menghadapi hal-hal yang disukai atau tidak disukai pada sebuah objek individu, institusi, atau peristiwa (Ajzen, 2011). Menurut Ajzen (1991) dalam Hu dkk (2018) *attitude toward the behavior* ditentukan oleh keyakinan seseorang mengenai konsekuensi atau evaluasi hasil

yang akan ditimbulkan dari melakukan suatu perilaku (*behavioral beliefs*).

b. *Subjective Norms* (SN),

Menurut Ajzen (1991) dalam Hu dkk (2018) *subjective norms* atau norma subjektif didefinisikan sebagai suatu tingkatan persepsi seorang individu bahwa kebanyakan orang yang penting baginya berpikir individu tersebut seharusnya atau tidak seharusnya melakukan perilaku yang ingin ditunjukkan.

c. *Perceived Behavioral Control* (PBC),

(Ajzen, From intentions to action: a theory of planned behavior, 1985) dalam Hu dkk, (2019) mengartikan sebagai suatu tingkat kepercayaan seorang individu terhadap kemudahan atau kesulitan dalam melakukan sesuatu. Seseorang akan melakukan suatu perilaku ketika mereka memiliki persepsi bahwa perilaku tersebut mudah untuk ditunjukkan atau dilakukan karena adanya hal-hal/faktor yang mendukung atau memfasilitasi perilaku tersebut.

d. *Incentive Measures* (IM)

Incentive measures merupakan salah satu faktor ekonomi atau non ekonomi yang akan memengaruhi seseorang dalam berperilaku dan akan membuat perilaku peduli lingkungan lebih menarik dan menyenangkan untuk dilakukan (Hu, dkk., 2018). Karena faktor ekonomi (kompensasi, uang, dll) merupakan faktor yang sangat penting dan secara positif dapat mengubah perilaku seseorang ketika berhadapan dengan sebuah hal baru, seperti sebuah program khususnya mengenai program peduli lingkungan (Hu, dkk., 2019, 2018). Dan juga faktor non ekonomi seperti pemberian sebuah penghargaan juga mempengaruhi individu atau seseorang dalam menghadapi sebuah pilihan untuk mengikuti atau tidak sebuah program atau sesuatu yang baru bagi mereka (Hu, dkk., 2019).

e. *Environmental Theory Knowledge* (ETK)

Environmental Theory Knowledge adalah cakupan pengetahuan secara umum mengenai fakta, konsep dan hubungan antara lingkungan alam dan ekosistem yang ada didalamnya (Fryxell & Lo, 2003). Menurut Hu, dkk. (2019) *Environmental*

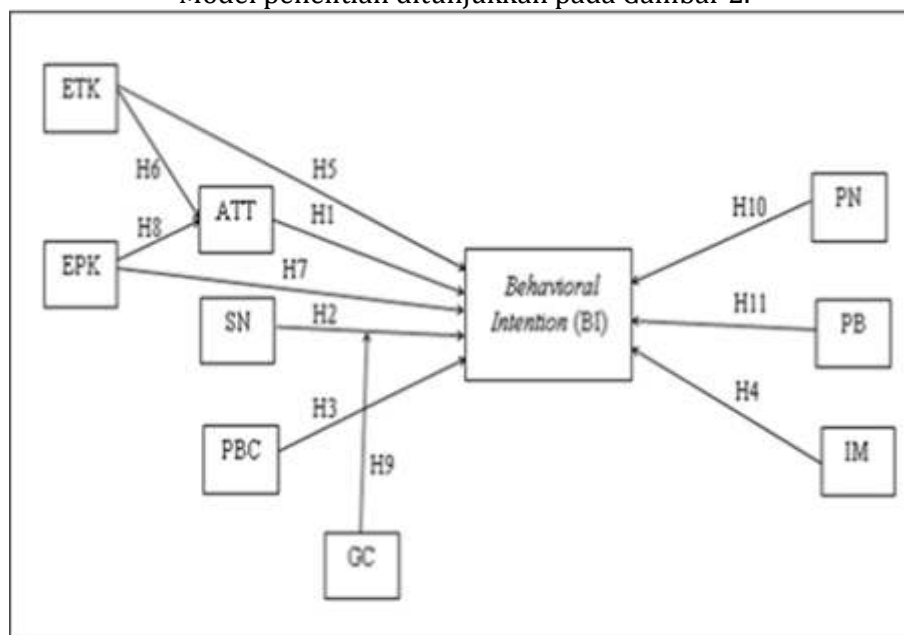
Theory Knowledge adalah pengetahuan teoritis mengenai lingkungan beserta dampak lingkungan terhadap kehidupan sosial dan alam itu sendiri.

- f. *Environmental Practice Knowledge* (EPK), *Enviromental Practical Knowledge* menurut Hu, dkk., (2019) adalah kemampuan mempraktikkan suatu program.
- g. *Government Companion* (GC) Definisi *Government Companion* diadaptasi dari *Travel Companion* yang menurut Hu, dkk., (2019) didefinisikan sebagai rekan berpergian atau dapat dikatakan sebagai subjek lain yang berfungsi sebagai faktor moderasi yang turut memengaruhi *subjective norm* seseorang dalam berperilaku atau melakukan sesuatu.
- h. *Personal Norms* (PN) Schwartz dan Howard (1981) mendefinisikan *personal norms* sebagai

moral obligation (kewajiban moral) untuk melakukan atau tidak melakukan sesuatu, menurut Hu, dkk. (2019) *personal norms* adalah dorongan internal dari dalam diri yang dapat mempengaruhi perilaku individu sehingga mampu menyadari kondisi spesifik guna menghindari konsekuensi merugikan nantinya (Hu, dkk., 2019)

- i. *Past Behavior* (PB) (Schwartz & Howard, 1981) *Past Behavior* adalah perilaku di masa lalu (Hu, dkk., 2019). Azjen (2011) dan Hu, dkk. (2019) menemukan bahwa *past behavior* merupakan prediktor yang baik untuk menentukan *behavioral intention* karena *past behavior* merupakan kunci utama yang berperan meningkatkan dan menguatkan hasil *Theory Planned Behavior*.

Model penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Penelitian
(Sumber: Hu dkk, 2019)

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan model penelitian pada Gambar 2 adalah sebagai berikut:

- a. Hipotesis 1: *Attitude Toward The Behavior* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- b. Hipotesis 2: *Subjective Norms* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk

berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

- c. Hipotesis 3: *Perceived Behavioral Control* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- d. Hipotesis 4: *Incentive Measures* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

- e. Hipotesis 5: *Environmental Theory Knowledge* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- f. Hipotesis 6: *Environmental Theory Knowledge* memiliki pengaruh positif secara langsung terhadap *attitude toward behavior* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- g. Hipotesis 7: *Environmental Practice Knowledge* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- h. Hipotesis 8: *Environmental Practice Knowledge* memiliki pengaruh positif secara langsung terhadap *attitude toward behavior* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- i. Hipotesis 9: *Government Companion* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- j. Hipotesis 10: *Personal Norms* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.
- Hipotesis 11: *Past Behavior* secara signifikan berpengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Sampel Penelitian

Populasi yang digunakan untuk penelitian ini adalah masyarakat yang tinggal disekitar DAS Citarum dan berdekatan dengan KJA Waduk Jatiluhur. Hal ini terkait dengan tujuan penelitian yaitu bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi *behavioral intention* masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum. Berdasarkan tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan teknik pengambilan sampel secara purposif (*purposive sampling*). Menurut Sugiyono, *purposive sampling* adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Pengambilan sampel penelitian dengan menggunakan

metode tersebut sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

Lokasi pengambilan sampel terletak di RW 02 Desa Cikaobandung, Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta. Penentuan sampel menggunakan rumus *slovin* dengan taraf kesalahan sebesar 5%. Jumlah populasi masyarakat RW 02 Desa Cikaobandung, Jatiluhur, Purwakarta yaitu 285 orang maka dapat diketahui jumlah sampel yang akan diteliti adalah sebanyak 170 orang.

2.2 Instrumen Penelitian

Pada penelitian ini, kuisisioner terdiri atas dua bagian. Bagian pertama berisi informasi data diri responden (*basic information of demographics*) dan bagian kedua berisi pernyataan mengenai persepsi masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum dari sepuluh variabel sebelumnya yaitu ETK, EPK, GC, ATT, SN, PBC, PB, PN, IM, dan BI. Pengukuran item pernyataan pada kuisisioner menggunakan skala *likert* yang berisi lima tingkat preferensi jawaban mulai dari 1=sangat tidak setuju hingga 5=sangat setuju (Ghozali, 2016).

2.3 Pengumpulan Data

Survei pertama dilakukan dengan menyebarkan kuesioner pendahuluan (*pilot project*) kepada 30 sampel untuk selanjutnya dilakukan uji validitas dan reliabilitas. Hasil uji validitas dan reliabilitas terhadap 30 data *pilot project* adalah valid dan reliabel, maka survei dilakukan kembali kepada 140 responden lainnya.

Hingga pada batas akhir waktu penyebaran terkumpul 170 kuesioner yang disebarkan secara langsung kepada masyarakat desa. Berdasarkan hasil 170 kuesioner yang terkumpul terdapat 170 kuesioner yang dapat diolah karena tidak terdapat kekurangan kelengkapan jawaban dalam pengisian kuesioner.

2.4 Metode Analisis Data

Variabel yang ada pada model akan diuji secara kuantitatif dan divalidasi. Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan uji kuantitatif menggunakan metode *Partial Least Square* (PLS) dengan bantuan *software* SmartPLS 3.0. Tahap pengolahan dengan metode SEM-PLS terbagi menjadi 2 tahap yaitu evaluasi

model pengukuran dan evaluasi model struktural.

Evaluasi model pengukuran (*outer model*) digunakan untuk menilai validitas dan reliabilitas suatu konstruk. Uji validitas dibagi menjadi 2 bagian yaitu validitas konvergen dan validitas diskriminan. Tahapan selanjutnya adalah dengan melakukan evaluasi model struktural (*inner model*). Uji *inner model* dilihat berdasarkan nilai *r-square*, *model fit*, *predictive relevance* (Q^2), dan koefisien jalur untuk mengetahui hasil hipotesis dari penelitian.

Data demografi pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 5 karakteristik diantaranya jenis kelamin (laki-laki, perempuan), usia (< 14 tahun, 15-24 tahun, 25-44 tahun, 45-65 tahun, dan > 65 tahun), pendidikan terakhir (SD, SMP, SMA/K, sedang berkuliah, Sarjana, dan tidak sekolah) penghasilan bulanan (< 500.000, 500.000- 2.000.000, 2.000.000-3.500.000, 3.500.000-5.000.000, dan > 5.000.000) dan sumber informasi mengenai program Citarum Harum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Model Pengukuran

Evaluasi model pengukuran atau biasa disebut sebagai *outer model* merupakan suatu uji untuk menilai hubungan dari setiap indikator terhadap variabel laten (Ghozali, 2014). Evaluasi model pengukuran dilihat dengan nilai validitas dan reliabilitas pada setiap variabel. *Partial Least Square* (PLS) dalam melakukan pengujian validitasnya

dibedakan menjadi 2 yaitu validitas konvergen dan diskriminan.

Validitas konvergen diukur dengan nilai *loading* dan nilai AVE. Suatu indikator dinyatakan valid jika nilai *loading* yang dihasilkan lebih dari 0,7 atau berada pada nilai 0,5 – 0,6 (Ghozali, 2014).

Terdapat 30 indikator yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ETK1, ETK2, ETK3, EPK1, EPK2, EPK3, GC1, GC2, GC3, ATT1, ATT2, ATT3, SN1, SN2, SN3, PBC1, PBC2, PBC3, PB1, PB2, PB3, PN1, PN2, PN3, IM1, IM2, IM3, BI1, BI2, dan BI3. Berdasarkan hasil keluaran *software* SmartPLS 3.0, indikator IM1, PBC1, PN3, dan SN1 dinyatakan tidak valid karena nilai *loading* berada di bawah 0,7 ataupun tidak berada pada nilai 0,5 dan 0,6 sehingga indikator-indikator yang dinyatakan tidak valid tersebut dikeluarkan dari konstruk.

Average Variance Extracted (AVE) merupakan salah satu jenis pengukuran validitas konvergen dalam menilai sejauh mana konstruk laten dapat menjelaskan varian indikatornya (Hair dkk, 2017). Nilai AVE yang direkomendasikan harus di atas 0,5 (Hair dkk, 2019). Berdasarkan nilai AVE pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa seluruh konstruk berada di atas nilai 0,5 artinya validitas konvergen telah terpenuhi. Reliabilitas suatu konstruk pada metode PLS, diukur dengan melihat nilai reliabilitas komposit. Suatu konstruk dapat dikatakan reliabel jika memiliki nilai *composite reliability* (CR) di atas 0,7 (Hair dkk, 2019). Berdasarkan Tabel 1, nilai *composite reliability* seluruh variabel laten lebih besar dari 0,7 artinya seluruh variabel telah reliabel.

Tabel 1. Nilai AVE dan *Composite Reliability*

Variabel Laten	AVE	Composite Reliability (CR)
<i>Attitude Toward The Behavior</i> (ATT)	0,731	0,891
<i>Behavioral Intention</i> (BI)	0,698	0,873
<i>Environmental Practice Knowledge</i> (EPK)	0,648	0,847
<i>Environmental Theory Knowledge</i> (ETK)	0,639	0,842
<i>Government Companion</i> (GC)	0,656	0,851
<i>Government Companion</i> (GC) * <i>Subjective Norms</i> (SN)	0,503	0,855
<i>Incentive Measures</i> (IM)	0,822	0,902
<i>Past Behavior</i> (PB)	0,632	0,837
<i>Perceived Behavioral Control</i> (PBC)	0,886	0,940
<i>Personal Norms</i> (PN)	0,726	0,842
<i>Subjective Norms</i> (SN)	0,759	0,860

(Sumber: Pengolahan Data, 2020)

Tabel 2. Validitas Diskriminan Heterotrait-Monotrait (HTMT)

Variabel Laten	ATT	BI	EPK	ETK	GC	GC * SN	IM	PB	PBC	PN	SN
ATT											
BI	0,479										
EPK	0,313	0,198									
ETK	0,464	0,291	0,098								
GC	0,578	0,515	0,203	0,429							

Variabel Laten	ATT	BI	EPK	ETK	GC	GC * SN	IM	PB	PBC	PN	SN
GC * SN	0,113	0,178	0,111	0,077	0,144						
IM	0,162	0,229	0,096	0,115	0,053	0,11					
PB	0,074	0,166	0,148	0,159	0,159	0,158	0,257				
PBC	0,101	0,235	0,133	0,102	0,075	0,133	0,235	0,242			
PN	0,103	0,278	0,16	0,115	0,218	0,082	0,363	0,265	0,09		
SN	0,167	0,097	0,112	0,166	0,152	0,127	0,141	0,105	0,074	0,069	

(Sumber: Pengolahan SmartPLS 3.0)

Validitas diskriminan diukur dengan menggunakan nilai Heterotrait-Monotrait (HTMT). Suatu model dikatakan tidak memiliki masalah validitas diskriminan, jika nilai HTMT berada di bawah 0,9 (Henseler, Ringle, & Sarstedt, 2015). Berdasarkan hasil pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa model ini memiliki validitas diskriminan yang baik karena nilainya berada di bawah 0,9. Hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh variabel telah memenuhi uji model pengukuran validitas konvergen, validitas diskriminan, dan reliabilitas.

3.2 Evaluasi Model Struktural

Evaluasi model struktural menggambarkan hubungan antar variabel laten yang dibedakan menjadi variabel eksogenus dan variabel endogenus (Ghozali, 2014). Model struktural diukur dengan melihat nilai *model fit* (SRMR), nilai *r-square* (r^2), *predictive relevance* (Q^2), dan koefisien jalur (Hair dkk, 2017).

Model fit mengukur seberapa baik suatu model struktural yang dihipotesiskan cocok dengan data empiris (Hair dkk, 2017). Suatu model dikatakan memiliki kecocokan

yang baik jika nilai SRMR berada di bawah 0,08 (Hair dkk, 2017). Nilai SRMR yang dihasilkan oleh model dalam penelitian ini adalah 0,076 dimana nilai tersebut kurang dari 0,08, artinya model memiliki kecocokan yang baik.

Nilai *r-square* (r^2) yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variabel ATT memiliki nilai 0,204 artinya variabel ETK dan EPK dapat menerangkan variabel ATT sebesar 20,4%. Pada variabel dependen BI nilai *r-square* yang dihasilkan adalah sebesar 0,337, artinya variabel EPK, ETK, ATT, SN, PBC, GC, PN, IM, dan BC dapat menerangkan variabel BI sebesar 33,7% dimana sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar penelitian.

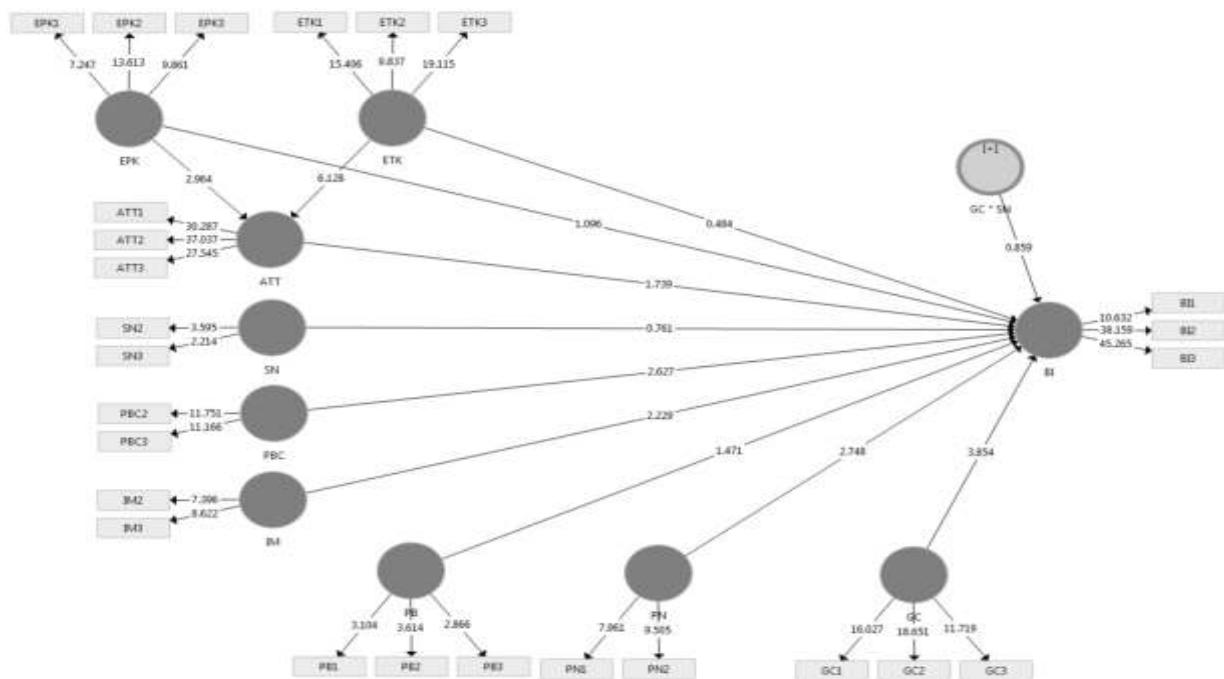
Predictive relevance (Q^2) yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa variabel ATT dan BI memiliki *predictive relevance* (Q^2) yang baik karena nilainya berada di atas 0 (Ghozali, 2014).

Selanjutnya, evaluasi model pengukuran dapat diukur dengan nilai koefisien jalur. Hasil koefisien jalur melalui proses *bootstrapping* dari software SmartPLS 3.0 dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Nilai *r-square* dan *predictive relevance*

Variabel	<i>r-square</i> (r^2)	<i>Predictive Relevance</i> (Q^2)
<i>Attitude Toward The Behavior</i> (ATT)	0,204	0,142
<i>Behavioral Intention</i> (BI)	0,337	0,203
<i>Environmental Practice Knowledge</i> (EPK)	-	-
<i>Environmental Theory Knowledge</i> (ETK)	-	-
<i>Government Companion</i> (GC)	-	-
<i>Government Companion</i> (GC) * <i>Subjective Norms</i> (SN)	-	-
<i>Incentive Measures</i> (IM)	-	-
<i>Past Behavior</i> (PB)	-	-
<i>Perceived Behavioral Control</i> (PBC)	-	-
<i>Personal Norms</i> (PN)	-	-
<i>Subjective Norms</i> (SN)	-	-

(Sumber: Pengolahan Data, 2020)



Gambar 3. Koefisien Jalur
(Sumber: Pengolahan SmartPLS 3.0, 2020)

3.3 Analisis Hasil Hipotesis Penelitian

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian hipotesis berdasarkan perhitungan PLS. Penilaian hipotesis ini dilihat berdasarkan nilai t-value dan p-value. Suatu hipotesis dapat diterima

jika t-values > 1,96 dan p-values < 0,05 pada tingkat signifikansi 5% (Hair dkk, 2017).

Tabel 4 memperlihatkan hasil uji hipotesis yang diajukan pada penelitian ini. Dari 11 hipotesis yang diajukan, terdapat 5 hipotesis penelitian yang diterima.

Tabel 4. Hasil Uji Hipotesis

Hipotesis	Hubungan	Original Sample (O)	T Values	P Values	Keputusan
H1	ATT → BI	0,155	1,739	0,083	Ditolak
H2	SN → BI	-0,066	0,761	0,447	Ditolak
H3	PBC → BI	0,163	2,627	0,009	Diterima
H4	IM → BI	0,159	2,229	0,026	Diterima
H5	ETK → BI	0,038	0,484	0,628	Ditolak
H6	ETK → ATT	0,384	6,128	0,000	Diterima
H7	EPK → BI	0,079	1,096	0,274	Ditolak
H8	EPK → ATT	0,217	2,964	0,003	Diterima
H9	GC * SN → BI	0,098	0,859	0,391	Ditolak
H10	PN → BI	-0,191	2,748	0,006	Diterima
H11	PB → BI	0,117	1,471	0,142	Ditolak

(Sumber: Pengolahan Data, 2020)

H1, H2, dan H3 merupakan faktor-faktor yang memengaruhi niat dan perilaku masyarakat dalam membuang sampah berdasarkan *theory of planned behavior* (TPB). Tabel 4 menunjukkan bahwa hanya H3 yang diterima ($t = 2,672 > 1,96$ dan $p = 0,009 < 0,005$) artinya bahwa *Perceived Behavioral Control* (PBC) secara signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum sebesar 16,3%. Sedangkan *Attitude Toward the Behavior* ($t = 1,739 < 1,96$ dan $p = 0,083 > 0,05$) dan *Subjective Norms* ($t = 0,761 < 1,96$ dan $p =$

$0,477 > 0,05$) tidak memiliki pengaruh terhadap *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

Incentive Measure (IM) merupakan faktor ekonomi yang memengaruhi perilaku seseorang. Tabel 4 menunjukkan bahwa *Incentive Measure* (IM) secara signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum ($t = 2,229 > 1,96$ dan $p = 0,026 < 0,05$) sebesar 15,9%. Hal tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh (Line, Hanks, & Miao,

2017) yang menyatakan bahwa faktor ekonomi memiliki pengaruh yang dapat memengaruhi kebiasaan manusia yang berkaitan dengan lingkungan.

Environmental Theory Knowledge (ETK) memiliki pengaruh terhadap niat dan perilaku seseorang serta berpengaruh juga terhadap sikap seseorang terhadap lingkungan. Tabel 4 menunjukkan bahwa hanya H6 yang diterima dimana variabel *Environmental Theory Knowledge* (ETK) signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Attitude Toward the Behavior* (ATT) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum ($t = 6,128 > 1,96$ dan $p = 0,000 < 0,05$) sebesar 38,4% sedangkan H5 tidak diterima ($t = 0,484 < 1,96$ dan $p = 0,628 > 0,05$). Hal tersebut selaras dengan penelitian yang dilakukan Yadaf & Pathak (2016) yang menyatakan bahwa *Environmental Theory Knowledge* (ETK) memiliki pengaruh positif terhadap *Attitude Toward Behavior* (ATT).

Environmental Practice Knowledge (EPK) merupakan sikap positif dalam partisipasi masyarakat terhadap lingkungan. Tabel 4 menunjukkan bahwa EPK dapat berpengaruh secara langsung terhadap *Behavioral Intention* (H7) atau berpengaruh secara langsung terhadap *Attitude Toward Behavior* (H8). Berdasarkan hasil yang didapat pada Tabel 4, hipotesis 8 (H8) dapat diterima artinya *Env* (Line, Hanks, & Miao, 2017) *ironmental Practice Knowledge* (EPK) secara signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Attitude Toward the Behavior* (ATT) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum ($t = 2,964 > 1,96$ dan $p = 0,003 < 0,05$) sebesar 21,7%. Sedangkan, H7 ditolak ($t = 1,096 < 1,96$ dan $p = 0,274 > 0,05$) artinya *Environmental Practice Knowledge* (EPK) tidak memberikan pengaruh terhadap *Behavioral Intention* (BI).

Tabel 4 menunjukkan bahwa H9 ditolak, artinya *Government Companion* (GC) tidak signifikan memberikan pengaruh positif langsung terhadap *Subjective Norms* (SN) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum ($t = 0,859 < 1,96$ dan $p = 0,391 > 0,05$). Hal tersebut berarti bahwa regulasi ataupun himbauan dari pemerintah tidak memengaruhi perilaku masyarakat dalam membuang sampah ke sungai citarum.

Personal Norms (PN) merupakan norma sosial yang menjadi penentu seseorang dalam berperilaku. Berdasarkan uji hipotesis

yang telah dilakukan, H10 dapat diterima ($t = 2,748 > 1,96$ dan $p = 0,006 < 0,05$) sebesar 19,1%. Hal tersebut dapat diartikan bahwa *Personal Norms* (PN) secara signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

Berdasarkan hasil uji hipotesis yang disajikan pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa H11 ditolak ($t = 1,471 < 1,96$ dan $p = 0,142 > 0,05$). Dapat diartikan bahwa *Past Behavior* (PB) tidak signifikan memberikan pengaruh positif terhadap *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

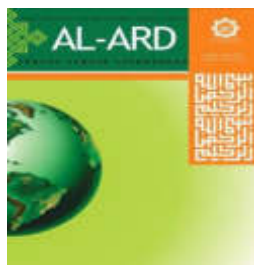
4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang secara signifikan memengaruhi *Behavioral Intention* (BI) masyarakat untuk mewujudkan citarum harum adalah *Perceived Behavioral Control* (PBC), *Incentive Measure* (IM), dan *Personal Norms* (PN). Sedangkan faktor *Environmental Theory Knowledge* (ETK) dan *Environmental Practice Knowledge* (EPK) berpengaruh secara langsung terhadap *Attitude Toward Behavior* (ATT) masyarakat untuk berpartisipasi dalam program Citarum Harum.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, I. (1985). From intentions to action: a theory of planned behavior. In *Action Control* (pp. 11-39).
- Ajzen, I. (1991). The theory planned behavior: Organizational Behavior and Human Decission Process.
- Ajzen, I. (2011). The theory of planned behavior: reactions and reflections. In *Pyschology and Health* (pp. 1113-1127).
- Anas, P., Jubaedah, I., & Sudino, D. (2017). Kualitas Air dan Beban Limbah Karamba Jaring Apung di Waduk Jatiluhur Jawa Barat. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, 35-47.
- BBWS, C. (2014). *Menjadikan (Nama) Citarum Kembali Harum*. bbwscitarum.com.
- Erianti, D., & Djelantik, S. (2019). Program Revitalisasi Sungai Citarum: Sebuah Analisis Strength, Weakness,

- Advocates, Adversaries (SWAA). *Jurnal Ilmu Administrasi*, 81-96.
- Fryxell, G., & Lo, C. (2003). The Influence of Environmental Knowledge and Values of Managerial Behaviors on Behalf of The Environment: an Empirical Examination of Managers in China. *Journal Business Ethics*, 45-69.
- Ghozali, I. (2014). *Structural Equation Modeling Metode Alternatif Dengan Partial Least Square (2 ed)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Hair, J. F., Hult, G. T., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. United States of America: SAGE Publications, Inc.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 2-24.
- Han, H. (2015). Travelers' pro-environmental behavior in a green lodging context: Converging value-belief-norm theory and the theory of planned behavior. *Journal of Tourism Management*, 164-177.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 115-135.
- Hu, H., Zhang, J., Wang, C., Yu, P., & Chu, G. (2019). What influences tourists' intention to participate in the Zero Litter Initiative in mountainous tourism areas: A case study of Huangshan National Park, China. *Journal of Science of the Total Environment*, 1127-1137.
- Hu, H., Zhang, J., Yang, J., Yu, P., & Chu, G. (2018). Factors influencing tourists' litter management behavior in mountainous tourism areas in China. *Waste Management*, 273-286.
- Line, N. D., Hanks, L., & Miao, L. (2017). Image Matters: Incentivizing Green Tourism Behavior. *Journal of Travel Research*, 1-14.
- Pavita, K. D., Widiatmono, B. R., & Liliyana, D. (2014). Studi Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Akibat Buangan Limbah Domestik (Studi Kasus Kali Surabaya - Kecamatan Wonokromo). *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 21-27.
- Prinajati, P. D. (2019). Kualitas Air Waduk Jatiluhur Di Purwakarta Terhadap Pengaruh Keramba Jaring Apung. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 79-86.
- Schwartz, S., & Howard, J. (1981). A Normative Decision-Making Model of Altruism. *Altruism and Helping Behavior: Social, Personality and Developmental Perspective*, 189-211.
- Syafila, M., & Marselina, M. (2018). Strategi Pengelolaan Terpadu Untuk Penyelesaian Permasalahan Sungai Citarum: Perspektif Pemanfaatan Limbah Cair dari Segi Kualitas dan Kuantitas. In *Strategi Pengelolaan Terpadu Penyelesaian Permasalahan Daerah Aliran Sungai Citarum* (pp. 30-45). Bandung: Forum Guru Besar ITB.
- Van Ginkel, C. H., Ozerol, G., & Lutfiandi. (2015). Water quality monitoring in the Upper Citarum River Basin: rethinking the role of stakeholders. *5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment"*.
- Zakia, Agustina, D., Dewi, M. P., Ismowati, M., Vikaliana, R., & Saputra, M. (2019). Mewujudkan Sistem Pengelolaan Sampah Melalui Program Citarum Harum. *Jurnal Komunitas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, II, No. 1, Januari 2019, 38-43.



Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Manggarai dengan Sistem Zonasi di Desa Bangka Kenda

Teguh Taruna Utama

UIN Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia

Utama.teguh87@uinsby.ac.id

Abstract

Water resources in Manggarai Regency are mostly supplied from springs. One of the villages in Manggarai Regency that uses springs is Bangka Kenda Village. Bangka Kenda Village requires drinking water of 10.41 Liters/second. This need for water is the result of drinking water projections in Manggarai Regency in 2037. Pressure values obtained from the results of manual calculations range from 5.63 meters to 93.82 meters. While the simulation results using the EPANET program, the pressure value is at 5.69 meters up to 93.84. The value of the manual calculation pressure with EPANET is not much different so that the pipe diameter selection is appropriate according to plan. The selected pipe is HDPE. The selected pipe diameter is 1.5 "; 2 "; 3 "; 4 and 5 ", respectively. The pipe has a water pressure resistance of 12.5 bar.

Keywords: Drinking water, distribution, EPANET.

Abstrak

Sumber air di Kabupaten Manggarai sebagian besar disuplai dari mata air. Salah satu Desa di Kabupaten Manggarai yang memanfaatkan mata air adalah Desa Bangka Kenda. Desa Bangka Kenda membutuhkan air minum sebesar 10,41 Liter/detik. Kebutuhan air ini merupakan hasil proyeksi air minum di Kabupaten Manggarai Tahun 2037. Nilai tekanan yang diperoleh dari hasil perhitungan manual berkisar antara 5,63 meter sampai dengan 93,82 meter. Sedangkan hasil simulasi menggunakan program EPANET, nilai tekanan berada pada 5,69 meter sampai dengan 93,84. Nilai-nilai tekanan perhitungan manual dengan EPANET tidak jauh berbeda sehingga pemilihan diameter pipa sudah tepat sesuai perencanaan. Pipa terpilih berjenis HDPE. Diameter pipa terpilih 1,5"; 2"; 3"; 4 dan 5". Pipa memiliki ketahanan tekanan air sebesar 12,5 bar.

Kata Kunci: Air minum, distribusi, EPANET

1. PENDAHULUAN

Air merupakan bagian dari kehidupan. Air tersedia di bumi dalam jumlah yang cukup melimpah. Ketersediaan air minum bagi penduduk dapat dipenuhi dengan cara mencari sumber air atau disediakan oleh pengelola air minum. Penyedia air minum secara kelembagaan dapat dikelola oleh pemerintah, LSM maupun swasta (Suhono 2016).

Distribusi air minum menjadi penting ketika air minum yang disediakan merupakan sumber pokok bagi masyarakat. Pendistribusian air minum dapat dilakukan dengan sistem perpipaan dari sumber (Zolapara et al, 2015). Sumber-sumber air yang dikelola di suatu daerah dapat didistribusikan sesuai kebutuhan. Distribusi dapat menggunakan tipe gravitasi, tipe

pemompaan dan tipe gabungan (Karnadi 2010).

Kabupaten Manggarai merupakan kabupaten yang terletak di Nusa Tenggara Timur. Kabupaten ini memiliki 12 Kecamatan. Kecamatan Ruteng merupakan pusat Kota dari Kabupaten Manggarai. Secara keseluruhan, Kabupaten Manggarai memiliki luasan 2.094 km² (Zamimiluny 2020).

Kebutuhan air minum di Kabupaten Manggarai dipenuhi dengan penyediaan air minum perpipaan dan non-perpipaan. Air minum yang disediakan melalui perpipaan. Sumber air diambilkan dari beberapa mata air yang tersebar di Kabupaten Manggarai. Penyediaan air minum ini sudah dikelola secara profesional oleh PDAM Tirta Komodo (Tim Konsultan Barn Cita Laksana 2016)

Kecamatan Langke Rembong dan Kecamatan Wae Rii' merupakan dua kecamatan yang ada di Kabupaten Manggarai. Dua kecamatan ini telah terlayani oleh sistem Perpipaan air minum dari PDAM Tirta Komodo. Kabupaten Manggarai. Sistem SPAM disuplai dari Mata Air yang di sekitar kecamatan tersebut. Dua kecamatan ini terletak di daerah pegunungan dengan elevasi rata-rata 500 – 1000 dari permukaan laut.

Sumber Mata Air Wae Rii memiliki elevasi 1,100 mdpl. Sumber mata air ini telah dilengkapi dengan bangunan penangkap air. Bangunan penangkap air ini menampung sebagian air dari mata air, sebagian lagi masuk ke saluran irigasi dan sisanya digelontorkan ke sungai Wae Rii'. Debit efektif terukur pada tahun 2016 adalah sebesar 150 Liter per detik. Dari 150 liter per detik, Desa Carep, Satar Tacik dan Mbaumuku dialirkan air sebesar 30 Liter per detik. Kemudian, PDAM Tirta Komodo ingin mengembangkan pelayanan air minum menuju Desa Bangka Kenda, Golo Wua, Golo Watu, dan Poco (Utama et al, 2018).

Desa Bangka Kenda merupakan salah satu desa yang ada di Kabupaten Manggarai. Desa Bangka Kenda memiliki penduduk 2,612 jiwa pada tahun 2017 (Koten et al, 2018). Jumlah penduduk ini diproyeksikan naik pada tahun 2022, 2027, 2032 dan 2036 berturut-turut sebesar, 3,160 jiwa, 3,501 jiwa, 3,879 jiwa dan 4,211 jiwa. Berdasarkan RISPAM Kabupaten Manggarai tahun 2016, Kecamatan Ruteng merupakan daerah sasaran pengembangan air minum di Kabupaten Manggarai (Tim Konsultan Barn Cita Laksana 2016). Berdasarkan hasil proyeksi tersebut kebutuhan air minum di Desa Bangka Kenda pada tahun 2020, 2025, 2030 dan 2035 berturut-turut sebesar 7,46 Lps, 8,23 Lps, 9,04 Lps, 9,97 Lps dan 10,41 Lps (Utama et al, 2018).

Oleh karena itu, perencanaan detail sistem penyediaan air minum dengan sumber air dari Mata Air Wae Decer diperlukan untuk meningkatkan layanan air minum di Kabupaten Manggarai. Desa-desa yang menjadi sasaran pelayanan air minum akan didesain penyaluran berbasis area. Satu desa akan diproyeksikan kebutuhan air berdasarkan jumlah penduduknya dan jumlah air menyesuaikan dengan sistem DMA (Alvisi and Franchini 2014).

2. METODE PERENCANAAN

A. Kondisi Eksisting Broncapturing MA. Wae Decer

Mata Air Wae Decer berlokasi di Kelurahan Carep. Kelurahan ini masuk dalam Kecamatan Langke Rembong. Mata Air mempunyai elevasi awal 1,120 meter dari permukaan laut, Debit andal Mata Air Wae Decer sebesar 150 Liter per detik. Koordinat mata air ini berada di di 0,80° 36' 16,934 LS dan 120° 28' 54,566 BT, Sumber Mata Air Wae Decer telah dibangun sebuah broncapturing. Broncapturing ini di sini memiliki fungsi menangkap sebagian air yang dikeluarkan dari Mata Air Wae Decer (Tim Konsultan Barn Cita Laksana 2016).

B. Pengukuran elevasi dan jarak

Pengukuran elevasi dan jarak menggunakan metode pengukuran theodolite. Pengukuran ini dimaksudkan untuk memperoleh jarak dan elevasi relatif antara mata air dengan pipa distribusi. Pipa distribusi akan dipasang dari sumber hingga menuju desa yang dituju, Langkah yang pertama kali dilakukan adalah persiapan lapangan. Persiapan di lapangan berupa penetapan basecamp dan titik BM0 dan CP0. Titik BM merupakan *Bench Mark* dan CP merupakan *Control Point*. Titik-titik ini merupakan patok-patok pengukuran yang akan membantu dalam penentuan jarak dan elevasi (Brinker et al, 2000).

Kerangka dasar pemetaan untuk pengukuran dari mata air menuju titik pembagi didasarkan pada alur sungai dan saluran irigasi. Hal ini disebabkan oleh trase pipa akan melewati saluran irigasi terlebih dahulu baru kemudian saat mendekati jalan raya terdekat menuju desa, pipa akan dibenamkan di pinggir jalan raya. Pengukuran polygon dengan pembacaan sudut dilakukan berurutan (seri). Urutannya adalah lengkap biasa dan luar biasa (B-LB-LB-B) (Utama et al, 2018).

Pengukuran waterpass dilakukan dengan membaca benang *double stand diafragma* yaitu Benang Atas, Benang Tengah dan Benang Bawah. Pengukuran untuk profil melintang, memanjang dan situasi detail lainnya, semua akan dilakukan bersamaan.

Analisa data hasil pengukuran dilakukan dengan mengecek hasil pencatatan kedudukan biasa dan luar biasa. Hasil dicek kembali sesuai hasil perhitungan mendatar dengan tabel data berupa pengurangan dua arah jurusan (kanan dan kiri) (Brinker et al, 2000).

Analisa data waterpass juga dilakukan dengan menghitung jarak rambu ke alat, menghitung jumlah jarak antar BM, dan mengecek perbedaan tinggi stand. Pengukuran profil melintang dan memanjang dilakukan dengan interval jarak 50 meter pada bagian yang lurus dan setiap 25 meter pada bagian yang berbelok. Panabelan beda tinggi antara titik detail dilakukan di *basecamp*. Pencocokan hasil penabelan dengan sketsa gambar di lapangan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan pembacaan benang diafragma (Syaifullah 2014).

Pengolahan data polygon waterpass akan menghasilkan sketsa gambar tapak. Referensi koordinat terikat pada BM/CP dibantu dengan pengamatan koordinat GPS dan sistem koordinat UTM. Perhitungan data waterpass untuk menentukan elevasi. Referensi dari elevasi terikat dengan patok BM dan CP hasil pengukuran di lapangan. Perhitungan tinggi titik secara mendetail dilaksanakan di kantor dengan cara manual (Syaifullah 2014).

Peta digambar dalam kertas kalkir format A1, Untuk peta situasi di mata air, peta digambar dalam skala 1:1000. Potongan gambar dalam skala 1:1000 untuk horizontal dan skala 1:200 untuk vertikal, Peta situasi digambar dengan cara mendigitasi tampak di lapangan (Utama et al, 2018).

C. Perhitungan dimensi perpipaan

Dimensi perpipaan jaringan distribusi sangat erat kaitannya dengan jumlah air yang dialirkan dalam pipa. Dalam penyaluran air minum untuk Desa Bangka Kenda, sistem penyaluran direncanakan dalam bentuk zonasi. Zonasi ini dipilih selain untuk mempermudah perhitungan sistem, sistem SPAM di Bangka Kenda akan memiliki reservoir distribusi sendiri. Reservoir distribusi akan menerima air dari jaringan pipa transmisi Mata Air Wae Decer. Kalkulasi dimensi perpipaan jaringan distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (1)$$

Setelah memperoleh dimensi pipa hasil perhitungan, maka langkah selanjutnya adalah mencari diameter pipa yang ada dipasaran, diameter pipa dipilih yang mendekati hasil perhitungan. Laju alir dalam pipa distribusi berkisar antara 0,6 – 1,2 meter/detik (Karnadi 2010). Perhitungan *headloss* mencakup *headloss* mayor dan *headloss* minor. *Headloss*

mayor disebabkan oleh gesekan antara aliran air dalam pipa dengan dinding pipa. Koefisien kekasaran pipa bergantung pada jenis bahan pipanya. Sedangkan, *headloss* minor merupakan kehilangan tekanan akibat aksesoris yang ada dalam perpipaan semisal *gate valve*, *check valve*, belokan, *reducer* ukuran pipa dan lain sebagainya (Mays 2000). Cara menghitung *headloss* mayor dan minor adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot S^{0,54} \quad (2)$$

$$\Delta h = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Keterangan:

- Q = debit aliran dalam pipa (Lps)
- C = koefisien kekasaran pipa menurut Hazen-Wiliams (non dimensi)
- D = diameter pipa distribusi (mm)
- S = *headloss* mayor (meter)
- Δh = *headloss* minor (meter)
- K = koefisien *headloss* aksesoris (non dimensi)
- v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m²/s)

Tabel 1 Koefisien kekasaran pipa

Bahan Pipa Distribusi	Nilai C
Kuningan	130 - 140
Besi Cor	
Dilapisi timbal	130
Dilapisi semen	130 - 150
Beton	130 - 140
Plastik	140 - 150
Besi Galvanis	120

Sumber: (Lin and Lee 2007)

Tabel 2 Koefisien *headloss* aksesoris

Jenis Aksesoris Pipa	Nilai K
Belokan ^[1]	
Sudut 22,5°	0,11
Sudut 45°	0,19
Sudut 60°	0,25
Sudut 90°	0,33
Check Valve ^[1]	2,0 - 2,5
Gate Valve ^[1]	0,12
Tee ^[2]	1,8
Reducer ^[2]	0,04 - 0,08

Sumber: 1. (SUEZ 2007); 2. (Mays 2000)

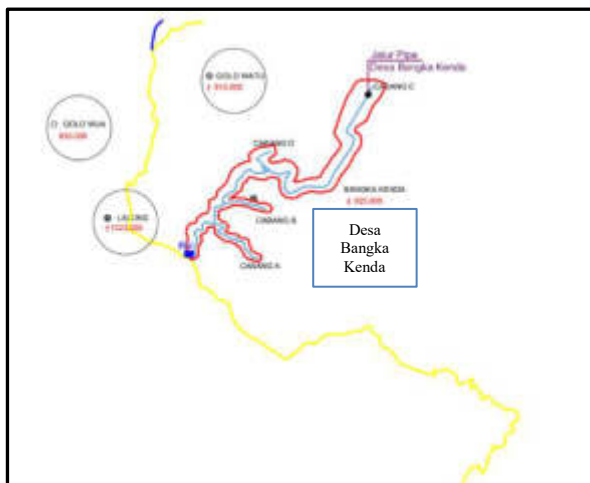
D. Permodelan EPANET V2.0

Permodelan EPANET V2.0 dilakukan untuk memvalidasi hasil perhitungan manual

jaringan distribusi dengan model komputerisasi. Permodelan EPANET V2.0 merupakan software yang dikeluarkan oleh US-EPA (Rossman 2000). Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa dimensi pipa distribusi terpilih merupakan dimensi optimal. Dimensi pipa optimal akan mengurangi potensi kesalahan distribusi terutama pada laju alir dalam pipa dan kebocoran teknis. Laju aliran yang tidak sesuai standar dan kebocoran teknis berupa kesalahan pencatatan volume air dapat terjadi jika penentuan dimensi ini salah sejak dari awal perencanaan (Utama et al, 2019). Toleransi kesalahan antara perhitungan manual dengan permodelan EPANET V2,0 direncanakan tidak lebih dari 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan distribusi air minum Desa Bangka Kenda dimulai dari reservoir distribusi yang ditempatkan dekat dengan jalan masuk desa,



Gambar 1. Rencana jaringan Bangka Kenda
(Sumber: Utama et al, 2018)

Proyeksi jumlah air yang disalurkan mengikuti hasil proyeksi dari perencanaan detail desain SPAM Mata Air Wae Decer. Kebutuhan air hasil analisis diambil mulai dari tahun 2020 hingga tahun 2037. Periode tahun ini sesuai dengan hasil proyeksi yang ada di dokumen Rencana Induk SPAM Kabupaten Manggarai 2016. Berikut ini adalah hasil proyeksi kebutuhan air hingga tahun 2037.

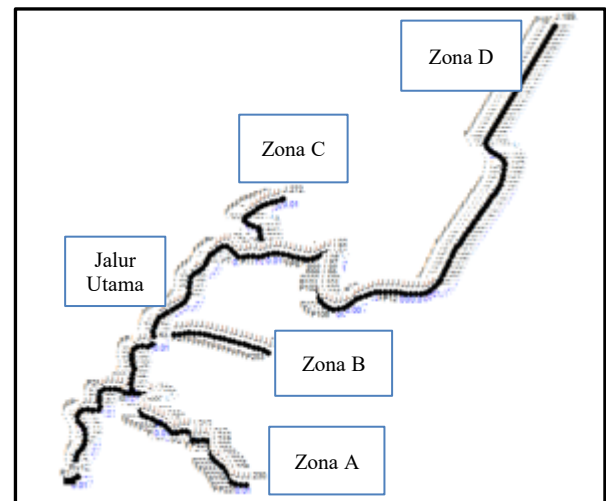
Tabel 3 Proyeksi kebutuhan air minum

Desa	Tahun Proyeksi				
	2020	2025	2030	2035	2037
Bangka Kenda	7,46 Lps	8,23 Lps	9,04 Lps	9,97 Lps	10,41 Lps

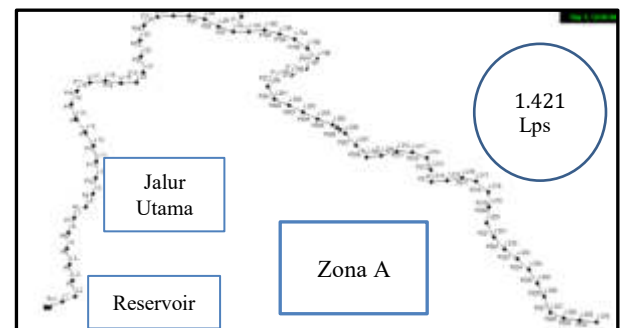
Sumber: (Utama et al, 2018)

Berdasarkan hasil perhitungan dalam jaringan distribusi, tekanan yang diperoleh bervariasi mulai dari reservoir hingga masing-masing ujung jaringan distribusi. Hasil tekanan ini merupakan perhitungan antara selisih beda potensial antar elevasi titik jaringan dikurangi dengan kehilangan tinggi tekanan akibat gesekan dengan pipa dan aksesoris pipa (Mays 2000).

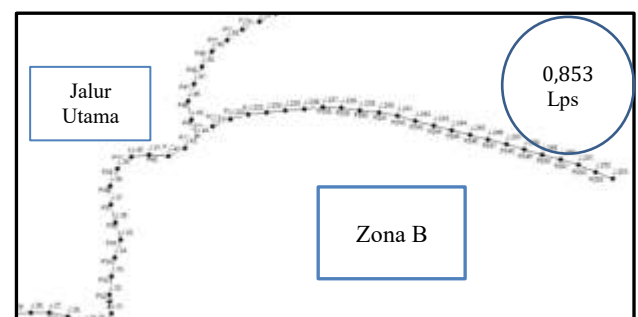
Berikut ini hasil penggambaran jaringan distribusi di Desa Bangka Kenda,



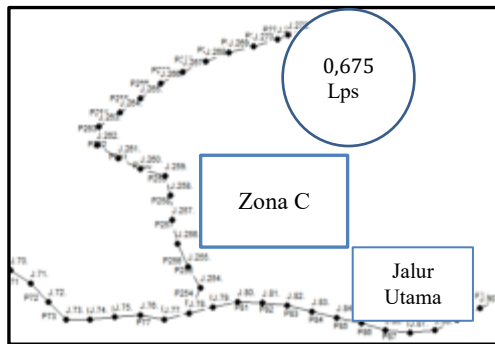
Gambar 2. Rencana jaringan Bangka Kenda
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)



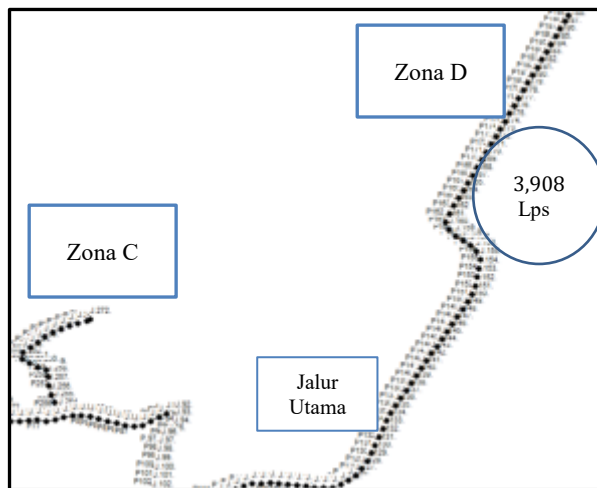
Gambar 3. Rencana jaringan Bangka Kenda Cabang A
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)



Gambar 4. Rencana jaringan Bangka Kenda Cabang B
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)



Gambar 5. Rencana jaringan Bangka Kenda Cabang C

Gambar 6. Rencana jaringan Bangka Kenda Cabang D
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)

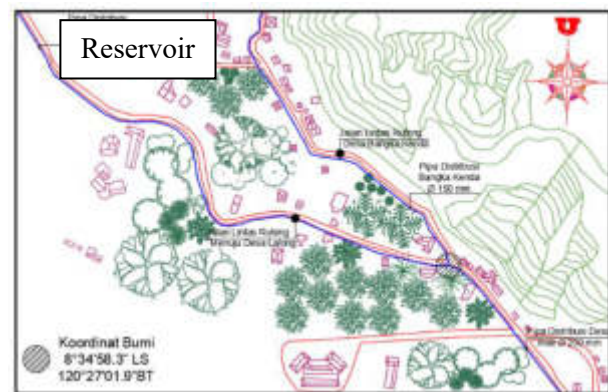
Air dialirkan menuju masing-masing zona distribusi. Pembagian ini bertujuan untuk meratakan aliran air distribusi ke masing-masing zona distribusi. Sistem klaster masing-masing zona memiliki jumlah penduduk yang berbeda-beda. Tentunya, penduduk akan tinggal di rumah yang mendekat dengan jalan utama. Hal ini sesuai dengan alur penelitian yang dilakukan oleh Di Nardo et al, 2015, Dengan pembagian berbentuk zona, pembagian jaringan distribusi dapat dibentuk menjadi sistem *District Meter Area*. Sistem *District Meter Area* yang disingkat DMA, merupakan sistem jaringan distribusi yang membagi aliran air ke masing-masing zona dan dilengkapi dengan meter induk zona distribusi. Sistem DMA akan mengurangi potensi kebocoran jaringan distribusi akibat kesalahan pencatatan jumlah air dan kebocoran teknis lainnya (Utama et al, 2019). Berikut ini merupakan tabel pembagian kebutuhan air minum masing-masing zona distribusi yaitu:

Tabel 4 Pembagian kebutuhan air minum

Desa	Kebutuhan air minum masing-masing				
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Jalur Utama
Bangka Kenda	1,421 Lps	0,853 Lps	0,675 Lps	3,908 Lps	3,553 Lps
Total	10,41 Lps				

Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Pada zona distribusi jalur utama, jalur pipa ini merupakan pipa utama distribusi dari reservoir sebelum alirannya terbagi ke masing-masing zona. Pada jalur utama, penduduk Desa Bangka Kenda juga tinggal di sana dan mendirikan rumah-rumah sehingga pada jalur utama juga diberikan kebutuhan air minum.

Gambar 7. Rencana reservoir distribusi
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)

Reservoir distribusi diletakkan pada jalur masuk dari jalan desa Bangka Kenda, Reservoir berkapasitas 250 m³, Dimensi reservoir berukuran panjang 10 meter, lebar 10 meter dan tinggi muka air 2,5 meter, dengan *freeboard* 0,5 meter. Reservoir dibangun di atas tanah tanpa menara. Elevasi awal reservoir adalah 1.039,548 meter. Berikut ini adalah ikhtisar hasil perhitungan jaringan distribusi Desa Bangka Kenda yaitu:

Tabel 5 Hasil analisis distribusi

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pressure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.1.	24,35	10,410	5"	5,63	5,69	-1,06
J.2.	22,62	10,366	5"	12,26	12,31	-0,42
J.3.	25,00	10,322	5"	17,40	17,47	-0,42
J.4.	25,00	10,277	5"	20,17	20,23	-0,29
J.5.	25,00	10,233	5"	18,85	18,91	-0,31
J.6.	24,90	10,189	5"	20,15	20,21	-0,30
J.7.	25,00	10,145	5"	22,11	22,17	-0,26
J.8.	24,87	10,101	5"	25,90	25,96	-0,22

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	NBersen Junction (%)	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.9.	23,57	10,057	5"	29,29	29,35	J.540	25,00	6,181	4"	46,98	46,96	0,04
J.10.	24,88	10,012	5"	32,83	32,89	J.539	25,00	6,145	4"	45,61	45,58	0,07
J.11.	24,87	9,968	5"	37,96	38,01	J.564	24,76	6,110	4"	46,08	46,06	0,05
J.12.	24,72	9,924	5"	39,16	39,22	J.575	24,55	6,074	4"	47,65	47,62	0,06
J.13.	25,00	9,880	5"	37,49	37,54	J.584	25,00	6,039	4"	48,99	48,97	0,04
J.14.	24,83	9,836	5"	33,23	33,29	J.597	24,92	6,003	4"	48,08	48,05	0,05
J.15.	24,42	9,792	5"	32,41	32,47	J.608	25,00	5,968	4"	44,70	44,67	0,06
J.16.	21,63	9,747	5"	35,84	35,90	J.616	23,60	5,932	4"	42,26	42,24	0,05
J.17.	24,30	9,703	5"	39,94	40,00	J.625	24,88	5,896	4"	40,10	40,08	0,05
J.18.	24,98	9,659	5"	43,17	43,22	J.632	24,57	5,861	4"	39,99	39,96	0,08
J.19.	25,00	9,615	5"	48,81	48,86	J.640	24,72	5,825	4"	39,11	39,08	0,07
J.20.	24,64	9,571	5"	52,73	52,78	J.650	25,00	5,790	4"	41,45	41,43	0,06
J.21.	18,33	9,527	5"	54,87	54,93	J.661	24,75	5,754	4"	42,99	42,97	0,06
J.22.	25,00	9,482	5"	55,52	55,57	J.679	24,75	5,719	4"	43,30	43,27	0,06
J.23.	24,78	9,438	5"	56,35	56,39	J.688	25,00	5,683	4"	40,36	40,33	0,07
J.24.	24,16	9,394	5"	61,60	61,65	J.698	25,00	5,648	4"	32,46	32,43	0,09
J.25.	24,81	9,350	5"	65,60	65,66	J.709	22,13	5,612	4"	30,79	30,76	0,09
Sumber: Analisis Perhitungan 2020						J.71.	24,54	5,577	4"	32,11	32,08	0,09
Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)						J.72.	25,00	5,541	4"	34,31	34,28	0,09

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.26.	25,00	9,306	5"	67,22	67,27	-0,07
J.27.	24,78	9,262	5"	67,86	67,91	-0,07
J.28.	24,95	9,217	5"	67,48	67,53	-0,08
J.29.	25,00	9,173	5"	73,00	73,05	-0,07
J.30.	25,00	9,129	5"	77,88	77,92	-0,05
J.31.	27,23	7,744	4"	79,74	79,88	-0,17
J.32.	25,00	7,708	4"	45,00	45,00	-0,01
J.33.	25,00	7,673	4"	16,04	16,04	0,03
J.34.	24,85	7,637	4"	22,48	22,48	0,01
J.35.	25,00	7,602	4"	28,56	28,55	0,03
J.36.	24,11	7,566	4"	28,65	28,65	0,00
J.37.	24,54	7,531	4"	28,22	28,21	0,02
J.38.	25,00	7,495	4"	29,91	29,91	0,00
J.39.	24,56	7,460	4"	30,30	30,30	0,00
J.40.	24,26	7,424	4"	28,57	28,57	-0,01
J.41.	24,03	7,389	4"	30,28	30,28	-0,01
J.42.	25,00	7,353	4"	32,76	32,76	0,01
J.43.	24,84	7,318	4"	35,68	35,68	0,01
J.44.	25,00	7,282	4"	38,16	38,16	0,01
J.45.	24,79	6,500	4"	39,92	39,96	-0,09
J.46.	24,67	6,465	4"	42,96	42,94	0,04
J.47.	24,54	6,429	4"	45,23	45,21	0,04
J.48.	25,00	6,394	4"	44,47	44,45	0,04
J.49.	24,32	6,358	4"	44,66	44,64	0,05
J.50.	25,00	6,323	4"	46,69	46,67	0,05
J.51.	24,87	6,287	4"	49,10	49,07	0,06
J.52.	25,00	6,252	4"	48,54	48,52	0,05
J.53.	24,93	6,216	4"	47,74	47,72	0,05

Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.73.	25,00	5,470	4"	35,34	35,31	0,09
J.74.	24,04	5,435	4"	37,24	37,21	0,07
J.75.	25,00	5,399	4"	38,16	38,12	0,10
J.76.	24,88	5,364	4"	39,88	39,85	0,08
J.77.	25,00	5,328	4"	43,25	43,22	0,06
J.78.	24,95	5,470	4"	46,98	46,95	0,07
J.79.	25,00	3,907	3"	50,46	50,48	-0,04
J.80.	24,91	3,871	3"	52,84	52,81	0,06
J.81.	25,00	3,836	3"	53,30	53,27	0,05
J.82.	24,85	3,800	3"	52,26	52,24	0,05
J.83.	25,00	3,765	3"	50,44	50,41	0,06
J.84.	25,00	3,729	3"	49,72	49,69	0,06
J.85.	25,00	3,694	3"	50,82	50,79	0,05
J.86.	25,00	3,658	3"	52,00	51,97	0,06
J.87.	24,88	3,623	3"	53,71	53,68	0,06
J.88.	24,50	3,587	3"	55,36	55,33	0,06
J.89.	25,00	3,552	3"	56,31	56,28	0,05
J.90.	25,00	3,516	3"	55,78	55,75	0,06
J.91.	25,00	3,481	3"	55,41	55,37	0,07
J.92.	24,28	3,445	3"	56,43	56,40	0,05
J.93.	20,46	3,409	3"	58,87	58,84	0,06
J.94.	25,00	3,374	3"	62,55	62,51	0,06
J.95.	24,81	3,338	3"	65,55	65,51	0,06
J.96.	23,95	3,303	3"	66,79	66,76	0,05
J.97.	24,13	3,267	3"	69,90	69,86	0,05
J.98.	25,00	3,232	3"	70,66	70,62	0,06

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.99.	25,00	3,196	3"	72,81	72,77	143.00525,00	25,00	1,633	2"	71,35	71,36	-0,01
J.100.	25,00	3,161	3"	74,83	74,79	144.00525,00	25,00	1,597	2"	74,09	74,10	-0,01
J.101.	25,00	3,125	3"	76,12	76,08	145.00525,00	25,00	1,562	2"	75,12	75,13	-0,01
J.102.	24,34	3,090	3"	77,06	77,02	146.00525,00	25,00	1,526	2"	75,40	75,41	-0,01
J.103.	25,00	3,054	3"	80,09	80,05	147.00525,00	25,00	1,491	2"	76,05	76,05	0,00
J.104.	24,36	3,019	3"	81,60	81,57	148.00425,00	25,00	1,455	2"	75,58	75,58	-0,01
J.105.	25,00	2,983	3"	85,16	85,12	149.00525,00	25,00	1,420	2"	74,23	74,23	0,00
J.106.	24,53	2,948	3"	86,98	86,94	150.00424,94	25,00	1,384	2"	73,96	73,96	0,00
J.107.	24,43	2,912	3"	86,56	86,52	151.00424,91	25,00	1,349	2"	72,86	72,87	-0,01
J.108.	25,00	2,877	3"	87,31	87,27	152.00424,98	25,00	1,313	2"	72,64	72,64	0,00
J.109.	24,75	2,841	3"	87,55	87,51	153.00525,00	25,00	1,278	2"	70,73	70,74	-0,01
J.110.	25,00	2,805	3"	87,73	87,69	154.00524,76	25,00	1,242	2"	70,71	70,71	0,00
J.111.	25,00	2,770	3"	50,00	50,00	155.00025,00	25,00	1,207	2"	70,65	70,65	0,00
J.112.	24,84	2,734	3"	51,54	51,54	156.00023,95	25,00	1,171	2"	70,86	70,86	0,00
J.113.	25,00	2,699	3"	52,07	52,07	157.00025,00	25,00	1,136	2"	69,86	69,86	0,01
J.114.	25,00	2,663	2"	52,90	52,95	158.-0,1025,00	25,00	1,100	2"	69,61	69,61	0,00
J.115.	24,74	2,628	2"	54,64	54,69	159.-0,083,91	25,00	1,065	2"	69,87	69,87	0,00
J.116.	25,00	2,592	2"	54,76	54,82	160.-0,1025,00	25,00	1,029	2"	71,41	71,41	0,00
J.117.	25,00	2,557	2"	51,96	52,01	161.-0,1024,43	25,00	0,993	2"	73,90	73,90	0,00
J.118.	24,91	2,521	2"	51,89	51,93	162.-0,0825,00	25,00	0,958	2"	74,35	74,35	0,00
J.119.	25,00	2,486	2"	51,75	51,80	163.-0,1025,00	25,00	0,922	2"	73,31	73,31	0,00

Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.120.	25,00	2,450	2"	52,37	52,42	-0,09
J.121.	24,98	2,415	2"	52,08	52,12	-0,07
J.122.	25,00	2,379	2"	53,27	53,31	-0,08
J.123.	25,00	2,344	2"	54,30	54,33	-0,06
J.124.	24,26	2,308	2"	54,76	54,80	-0,08
J.125.	25,00	2,273	2"	56,17	56,21	-0,07
J.126.	24,75	2,237	2"	58,80	58,84	-0,07
J.127.	25,00	2,201	2"	57,39	57,43	-0,07
J.128.	24,94	2,166	2"	57,11	57,14	-0,05
J.129.	25,00	2,130	2"	60,46	60,50	-0,06
J.130.	25,00	2,095	2"	63,17	63,20	-0,05
J.131.	25,00	2,059	2"	64,52	64,55	-0,05
J.132.	25,00	2,024	2"	65,59	65,61	-0,03
J.133.	25,00	1,988	2"	66,68	66,71	-0,04
J.134.	25,00	1,953	2"	69,12	69,15	-0,04
J.135.	24,99	1,917	2"	69,83	69,85	-0,03
J.136.	25,00	1,882	2"	69,69	69,70	-0,02
J.137.	25,00	1,846	2"	67,58	67,60	-0,02
J.138.	25,00	1,811	2"	68,34	68,36	-0,02
J.139.	25,00	1,775	2"	69,37	69,38	-0,02
J.140.	25,00	1,740	2"	67,66	67,68	-0,02
J.141.	25,00	1,704	2"	66,95	66,96	-0,02
J.142.	25,00	1,669	2"	67,98	67,99	-0,01

J.164.	25,00	0,887	2"	71,00	70,99	0,01
J.165.	25,00	0,851	2"	72,08	72,07	0,01
J.166.	25,00	0,816	2"	73,69	73,68	0,01

Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.167.	25,00	0,816	2"	73,69	73,68	0,01
J.168.	25,00	0,780	2"	74,96	74,95	0,01
J.169.	25,00	0,745	2"	74,57	74,55	0,02
J.170.	25,00	0,709	2"	72,91	72,90	0,01
J.171.	25,00	0,674	2"	71,68	71,67	0,01
J.172.	25,00	0,638	2"	69,74	69,73	0,02
J.173.	25,00	0,603	2"	71,49	71,47	0,02
J.174.	25,00	0,567	2"	72,37	72,35	0,02
J.175.	25,00	0,532	2"	72,46	72,44	0,02
J.176.	25,00	0,496	2"	73,87	73,86	0,02
J.177.	25,00	0,461	2"	73,82	73,81	0,02
J.178.	25,00	0,425	2"	72,84	72,82	0,02
J.179.	25,00	0,389	2"	70,13	70,11	0,02
J.180.	25,00	0,354	2"	70,46	70,44	0,02
J.181.	25,00	0,318	2"	71,38	71,37	0,02
J.182.	25,00	0,283	2"	73,81	73,80	0,02
J.183.	25,00	0,247	2"	75,86	75,84	0,03
J.184.	25,00	0,212	2"	77,84	77,83	0,02
J.185.	25,00	0,176	2"	77,74	77,73	0,02

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.186.	25,00	0,141	2"	78,41	78,39	0,02	26,08	0,853	1,5"	39,84	39,80	0,10
J.187.	25,00	0,105	2"	79,57	79,56	0,02	25,00	0,817	1,5"	39,68	39,64	0,11
J.188.	25,00	0,070	2"	80,85	80,83	0,02	24,79	0,782	1,5"	39,91	39,89	0,06
J.189.	17,78	0,034	2"	81,41	81,39	0,02	25,00	0,746	1,5"	38,27	38,22	0,13
J.191.	25,02	1,421	1,5"	81,83	81,88	0,07	25,00	0,711	1,5"	38,42	38,38	0,12
J.192.	24,49	1,386	1,5"	84,94	84,99	0,06	25,00	0,675	1,5"	39,43	39,38	0,12
J.193.	25,00	1,350	1,5"	84,15	84,26	0,13	25,00	0,640	1,5"	41,24	41,19	0,11
J.194.	24,72	1,315	1,5"	82,67	82,72	0,06	24,85	0,604	1,5"	41,67	41,62	0,12
J.195.	25,00	1,279	1,5"	84,21	84,26	0,06	25,00	0,568	1,5"	42,36	42,31	0,11
J.196.	22,54	1,244	1,5"	84,70	84,74	0,05	25,00	0,533	1,5"	45,95	45,90	0,11
J.197.	23,44	1,208	1,5"	83,74	83,78	0,04	24,95	0,497	1,5"	48,77	48,71	0,11
J.198.	24,79	1,172	1,5"	83,23	83,26	0,04	25,00	0,462	1,5"	50,85	50,80	0,11
J.199.	24,99	1,137	1,5"	82,43	82,47	0,05	25,00	0,426	1,5"	53,29	53,24	0,10
J.200.	18,19	1,101	1,5"	84,73	84,77	0,05	25,00	0,391	1,5"	53,63	53,57	0,11
J.201.	22,10	1,066	1,5"	90,30	90,33	0,04	25,00	0,355	1,5"	54,93	54,87	0,10
J.202.	25,00	1,030	1,5"	91,34	91,37	0,03	25,00	0,320	1,5"	56,52	56,46	0,10
J.203.	25,00	0,995	1,5"	92,68	92,71	0,03	25,00	0,284	1,5"	57,75	57,69	0,10
J.204.	24,99	0,959	1,5"	91,75	91,78	0,03	25,00	0,249	1,5"	58,99	58,94	0,09
J.205.	25,00	0,924	1,5"	93,82	93,84	0,02	25,00	0,213	1,5"	59,18	59,12	0,10
J.206.	25,00	0,888	1,5"	50,00	50,00	0,00	25,00	0,178	1,5"	64,95	64,89	0,09
J.207.	25,00	0,853	1,5"	57,28	57,28	0,00	24,95	0,142	1,5"	68,43	68,37	0,08
J.208.	25,00	0,817	1,5"	60,20	60,20	0,00	25,00	0,107	1,5"	70,45	70,39	0,09
J.209.	23,23	0,782	1,5"	64,66	64,66	0,00	25,43	0,071	1,5"	72,09	72,03	0,08
J.210.	24,97	0,746	1,5"	69,99	69,99	0,01	27,50	0,675	1,5"	48,12	48,08	0,09
J.211.	25,00	0,711	1,5"	70,56	70,56	0,00	25,00	0,640	1,5"	49,95	49,90	0,10
J.212.	24,28	0,675	1,5"	73,58	73,57	0,01	25,00	0,604	1,5"	47,16	47,12	0,09
J.213.	19,42	0,640	1,5"	72,50	72,49	0,01	25,00	0,568	1,5"	48,52	48,46	0,11
J.214.	19,13	0,604	1,5"	69,13	69,12	0,01	24,69	0,533	1,5"	52,16	52,10	0,11

Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.215.	24,40	0,568	1,5"	71,27	71,26	0,01
J.216.	25,00	0,533	1,5"	75,02	75,01	0,01
J.217.	22,42	0,497	1,5"	74,63	74,62	0,01
J.218.	25,00	0,462	1,5"	72,04	72,03	0,02
J.219.	23,07	0,426	1,5"	69,87	69,85	0,02
J.220.	25,00	0,391	1,5"	66,71	66,69	0,03
J.221.	24,87	0,355	1,5"	66,02	66,01	0,02
J.222.	24,46	0,320	1,5"	65,83	65,82	0,02
J.223.	24,96	0,284	1,5"	66,12	66,10	0,02
J.224.	24,77	0,249	1,5"	68,15	68,13	0,03
J.225.	25,00	0,213	1,5"	73,54	73,52	0,02
J.226.	24,91	0,178	1,5"	77,80	77,78	0,03
J.227.	25,00	0,142	1,5"	76,29	76,28	0,02
J.228.	23,17	0,107	1,5"	74,82	74,80	0,03
J.229.	25,00	0,071	1,5"	74,09	74,07	0,02
J.230.	26,41	0,036	1,5"	74,85	74,83	0,03

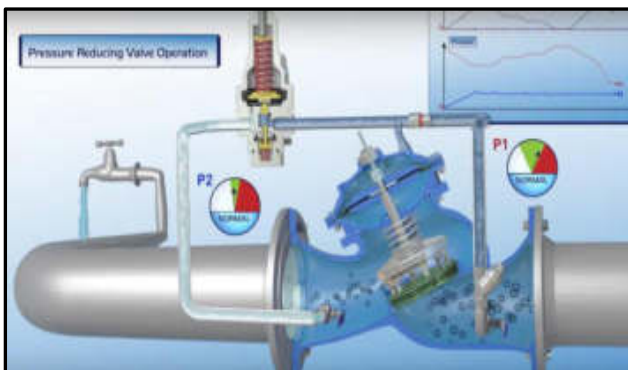
Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Tabel 5 Hasil analisis distribusi (lanjutan)

No. Junction	Pjg Pipa (m)	Debit dibawa (Lps)	Ø Pipa (Inch)	Pres sure (m)	EPANET V.2.0 (m)	Persen Galat (%)
J.262.	25,00	0,391	1,5"	42,78	42,73	0,13
J.263.	18,55	0,355	1,5"	41,64	41,58	0,14
J.264.	25,00	0,320	1,5"	43,58	43,52	0,13
J.265.	25,00	0,284	1,5"	43,97	43,91	0,13
J.266.	24,97	0,249	1,5"	44,42	44,36	0,13
J.267.	24,76	0,213	1,5"	47,59	47,53	0,13
J.268.	25,00	0,178	1,5"	51,67	51,61	0,12
J.269.	24,96	0,142	1,5"	52,69	52,63	0,12
J.270.	25,00	0,107	1,5"	54,13	54,07	0,11
J.271.	24,97	0,071	1,5"	60,33	60,27	0,11
J.272.	11,40	0,036	1,5"	60,30	60,23	0,11

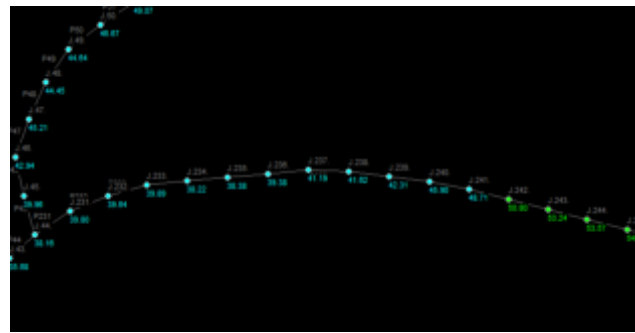
Sumber: Analisis Perhitungan 2020

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 5, sistem distribusi di Desa Bangka Kenda sudah memenuhi kriteria dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007. Tekanan minimum jaringan distribusi adalah 1 bar atau 10 meter (Kirmanto 2007). Sedangkan tekanan maksimumnya bergantung pada jenis ketahanan pipa yang dipasang di lapangan. Jenis pipa yang digunakan adalah HDPE dengan nilai *Pressure Nominal* sebesar 10 Bar atau 100 meter. Ada beberapa katup PRV (*pressure reducing valve*) yang dipasang di jaringan distribusi Bangka Kenda. Valve-valve tersebut berturut-turut ada di J.31. ke J.32. (Pipa Nomer 32), J.110. ke J.111. (Pipa Nomer 111) dan J.205. ke J.206. (Pipa nomer 206). Fungsi valve-valve tersebut adalah mengurangi tekanan aktual jaringan distribusi. Hal ini disebabkan oleh ketahanan pipa hanya mencapai 100 meter. Oleh karena itu, valve dibutuhkan untuk menurunkan tekanan pada jaringan jika saat perhitungan manual dan simulasi EPANET, tekanan sudah melebihi 100 meter. Berikut ini prinsip kerja valve tersebut.

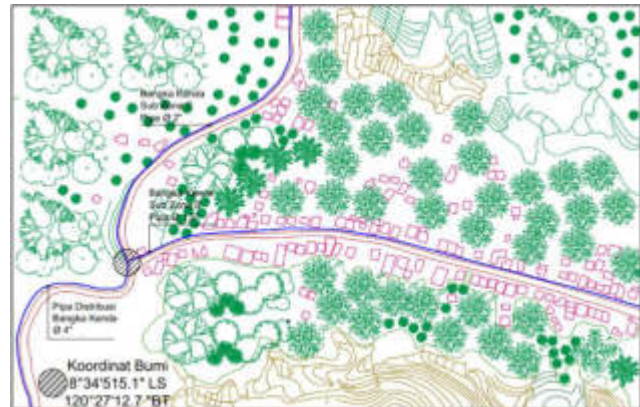


Gambar 8. Prinsip kerja *pressure reducing valve*
(Sumber: (Bermad Water Technologies 2015))

Prinsip kerja *pressure reducing valve* adalah mengambil sebagian tekanan dari sumber air kemudian dialirkan sebagian ke atas. Air yang sudah ke atas dibalikkan kembali ke jalur air sehingga tabrakan antar tekanan akan mengurangi *pressure* dalam pipa.



Gambar 9. Hasil permodelan EPANET V2.0
(Sumber: Analisis perhitungan, 2020)



Gambar 10. Hasil pemetaan jaringan distribusi
(Sumber: (Utama et al. 2018))

Hasil analisis jaringan menunjukkan bahwa persentase kesalahan kurang dari $\pm 5\%$ dengan tingkat kepercayaan 95% (Berthouex and Brown 2002). Nilai galat ini dapat mendukung pemilihan diameter pipa yang tepat dalam perencanaan SPAM di Desa Bangka Kenda. Nilai-nilai tekanan ini dipengaruhi oleh gesekan air dengan material pipa, jenis aksesoris pipa dan valve PRV. Gesekan air dengan material pipa merupakan kehilangan tinggi tekanan mayor. Perhitungan perpipaian ini menggunakan rumus Hazen-Williams. Hasil analisis ini juga sejalan dengan perencanaan SPAM di Surat City, India (Lungariya et al. 2016). Hasil analisis jaringan distribusi air minum menggunakan permodelan EPANET menghasilkan nilai *pressure* yang memuaskan (Jumanalmath and Shivapur 2017).

Penggunaan software EPANET di dunia jaringan air minum adalah suatu kemajuan dalam teknologi penyediaan air minum (Nallanathel et al. 2018). Pada umumnya, penggunaan software EPANET memerlukan software pendukung seperti ArcGIS, AutoCAD dan EPACAD (Desai and Pathan 2018). ArcGIS menterjemahkan data koordinat dan validasi titik-titik pengukuran theodolite di lapangan. Sedangkan, AutoCAD akan mewujudkan hasil pengukuran berupa peta rencana wilayah

jaringan distribusi. Terakhir, EPACAD akan menterjemahkan gambar CAD ke koordinat di EPANET untuk diisi dengan data input di lapangan. Data-data input berupa elevasi, jarak antar junction, base demand dan diameter pipa. Penentuan input data akan menentukan hasil simulasi permodelan EPANET. Hasil simulasi permodelan EPANET dapat diuji silang dengan perhitungan manual. Keunggulan dari software EPANET ini adalah saat jaringan distribusi digabung dalam bentuk loop. Ketika jaringan berupa loop (kotak-kotak mirip sarang laba-laba), hasil perhitungan tekanan akan sulit dianalisis dengan perhitungan manual. Perhitungan manual dengan metode Hardy-Cross akan mulai kompleks jika sistem distribusi melibatkan banyak titik (Mays 2000).

4. KESIMPULAN

Perencanaan jaringan distribusi di Desa Bangka Kenda menghasilkan nilai tekanan air berkisar antara 5,76 meter sampai dengan 93,82 meter. Nilai-nilai ini masih masuk dalam rentang tekanan yang dipersyaratkan oleh BPP-SPAM. Tekanan minimum untuk diterima oleh pelanggan minimum sebesar 0,7 bar sesuai syarat BPP-SPAM. Tekanan maksimum air adalah sebesar 10 bar. Tekanan maksimum masih di bawah tekanan yang dipersyaratkan oleh produsen pipa HDPE dengan nominal PN12 (12,5 bar). Jaringan distribusi dapat berfungsi optimal dalam mengalirkan air dari sumber menuju ke pelanggan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alvisi, S., and M. Franchini. 2014. "A Procedure for the Design of District Metered Areas in Water Distribution Systems." *Procedia Engineering* 70:41–50.
- Bermad Water Technologies. 2015. *720 ES Pressure Reducing Valve - Operation*. Retrieved March 26, 2020 (<https://www.youtube.com/watch?v=r6qSkzx1imM>).
- Berthouex, Paul Mac, and Linfield C. Brown. 2002. *Statistics for Environmental Engineers Second Edition*. 2nd ed. Florida: Lewis Publisher.
- Brinker, Russel C., Paul R. Wolf, and Djoko Walijatun. 2000. *Dasar-dasar Pengukuran Tanah (Surveying)*. 7th ed. Jakarta: Erlangga.
- Desai, Yesha, and Hina Pathan. 2018. "Hydraulic Parameter Analysis of WDN- A Case Study of Sayajipura Village." *International Journal of Science Technology & Engineering* 4(10):8.
- Di Nardo, Armando, Michele Di Natale, Carlo Giudicianni, Dino Musmarra, Giovanni Francesco Santonastaso, and Antonietta Simone. 2015. "Water Distribution System Clustering and Partitioning Based on Social Network Algorithms." *Procedia Engineering* 119:196–205.
- Jumanalmath, Shivaprasad G., and Anand V. Shivapur. 2017. "Analysis of 24×7 Water Distribution Network of Gabbur Zone in Hubballi City, Karnataka State, India Using EPANET Software." *International Research Journal of Engineering and Technology* 04(02):8.
- Karnadi, Rachmat. 2010. *Pedoman Pengenalan SPAM*. 2nd ed. Jakarta: Badan Pendukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.
- Kirmanto, Djoko. 2007. "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum."
- Koten, Marselinus Christoforus, Tome Ximenes Nahak, and Meutia Auliya Rahmah. 2018. *Kecamatan Wae Ri'i Dalam Angka 2018*. Manggarai: Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai.
- Lin, Shundar, and C. C. Lee. 2007. *Water and Wastewater Calculations Manual*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Lungariya, Payal, Namrata Katharotiya, Darshan Mehta, and Sahita Waikhom. 2016. "Analysis of Continuous Water Distribution in Surat City Using EPANET: A Case Study." *Global Research and Development Journal for Engineering* (001):7.
- Mays, Larry W. 2000. *Water Distribution System Handbook*. 1st ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Nallanathel, Manoj, B. Ramesh, and A. P. Santhosh. 2018. "Water Distribution Network Design Using EPANET A Case Study." *International Journal of Pure and Applied Mathematics* 119(17):8.
- Rossman, Lewis A. 2000. *EPANET 2 Users Manual*. Vol. 2. 2nd ed. Cincinnati:

- United States Environmental Protection Agency.
- SUEZ, Degremont. 2007. *Water Treatment Handbook - Ondeo Degremont II*. Vol. 2. 7th ed. Paris: Lavoisier.
- Suhono, Andreas. 2016. *Pedoman Umum Program PAMSIMAS*. 1st ed. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR.
- Syaifulah, Arief. 2014. *Modul MKB-2/3 SKS/ Modul 1-IX Ilmu Ukur Tanah*. 02 ed. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional.
- Tim Konsultan Barn Cita Laksana. 2016. *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Manggarai*. Jakarta: PT. Barn Cita Laksana.
- Utama, Teguh Taruna, Rachmad Ardhianto, and Wasino. 2019. *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kota Tarakan 2019*. Tarakan: CV. Artha Gemilang.
- Utama, Teguh Taruna, Rahmad Junaidi, Dyah Rr Nugraheni Setyowati, and Moh. Rizki Haqiqi As'at. 2018. *Detailed Engineering Desain Sistem Penyediaan Air Minum Mata Air Wae Decer*. Kupang: CV. Konindo.
- Zamimiluny, Akhmad. 2020. *Kabupaten Manggarai dalam Angka 2020 Penyediaan Data untuk Perencanaan Pembangunan*. Manggarai: Badan Pusat Statistik Kabupaten Manggarai.
- Zolapara, Bhagvat, Neha Joshipura, and Jaydeep Patel. 2015. "Case Study on Designing Water Supply Distribution Network Using Epanet for Zone-I of Village Kherali." *Indian Journal of Research* 4(7):4.



Analisa Dampak Pembuangan Limbah Pengolahan Tepung Ikan Terhadap Kualitas Air Sungai dan Ekosistem Mangrove di Sungai Kalimireng, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik

Miftakhul Khoiri¹, Mauludiyah², Noverma³

^{1,2,3}Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia

Mauludiyah17@gmail.com

Abstract

The existence of a fish meal processing industry operating on the banks of the Kalimireng River, Manyar Subdistrict, Gresik Regency is possible to cause environmental problems due to the risk of contamination of fish meal processing wastewater. This study aims to analyze the quality of the Kalimireng River around the fish meal processing wastewater disposal site by reviewing the physical and chemical parameters including temperature, TSS, TDS, DO, BOD, COD, and pH and calculate the water pollution index value. This study also analyzed the effect of disposal of fish meal processing wastewater on the mangrove ecosystem in the watershed by testing the levels of nitrogen and phosphorus contained in the sediment. The technique of sampling river water in this study was carried out by purposive sampling method. The water quality data collection point consists of three stations, (1) 50 meters before the outlet, (2) at the outlet, and (3) 50 meters after the outlet. Whereas sediment sampling is carried out in a representative sampling method. The results showed that the pollution index status in the Kalimireng River was categorized as slightly polluted with a water pollution index value of 0.05 - 8. Sediment samples taken at stations near waste disposal sites had higher nitrogen and phosphorus content than sediment samples taken at the station near the estuary. The results of observations also show that mangroves in stations near the estuary have better density and % of coverage than mangroves in stations near waste disposal.

Keywords: fish meal wastewater, water quality, pollution index, mangrove ecosystem, Kalimireng River.

Abstrak

Keberadaan industri pengolahan tepung ikan yang beroperasi di bantaran Sungai Kalimireng, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik dimungkinkan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan akibat resiko pencemaran limbah cair pengolahan tepung ikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas Sungai Kalimireng di sekitar tempat pembuangan limbah cair tepung ikan dengan meninjau parameter fisika dan kimia diantaranya suhu, TSS, TDS, DO, BOD, COD, dan pH serta menghitung nilai indeks pencemaran. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh pembuangan limbah tepung ikan terhadap ekosistem mangrove di daerah aliran sungai dengan melakukan pengujian kadar nitrogen dan fosfor yang terkandung dalam sedimen. Teknik pengambilan sampel air sungai dalam penelitian ini dilakukan dengan *purposive sampling method*. Titik pengambilan data kualitas air terdiri dari tiga stasiun, yaitu (1) 50 meter sebelum outlet, (2) tepat pada outlet limbah, dan (3) 50 meter setelah outlet limbah. Sedangkan pengambilan sampel sedimen dilakukan secara representatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa status indeks pencemaran yang ada di Sungai Kalimireng dikategorikan sebagai pencemaran ringan dengan nilai indeks pencemaran kualitas air 0,05 – 8. Sampel sedimen yang diambil di stasiun dekat lokasi pembuangan limbah memiliki kandungan nitrogen dan fosfor lebih tinggi dibanding dengan sampel sedimen yang diambil di stasiun dekat muara. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa mangrove di stasiun dekat muara memiliki kerapatan dan %utupan yang lebih baik dibanding mangrove di stasiun dekat pembuangan limbah.

Kata Kunci: limbah cair tepung ikan, kualitas air, indeks pencemaran, ekosistem mangrove, Sungai Kalimireng.

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan komponen yang penting bagi kelangsungan makhluk hidup terutama

manusia. Keberadaan sungai memiliki peran yang cukup vital sebagai ekosistem penyokong keberlangsungan hidup biota di sekitarnya, termasuk tumbuhan dan hewan

yang ada di dalamnya maupun sekitarnya seperti mangrove yang hidup di daerah aliran sungai. Sungai dikatakan tercemar jika kualitas airnya tidak sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air ini didasarkan pada baku mutu kualitas air sesuai kelas sungai berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Pembuangan limbah industri ke sungai menjadi salah satu penyebab buruknya kondisi lingkungan di sekitar Sungai Kalimireng Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, dan juga daerah aliran sungai yang banyak ditumbuhi mangrove. Hal ini terlihat dari kondisi sungai serta daerah aliran sungai di wilayah tersebut yang keruh dan berbau. Pabrik tepung ikan yang berlokasi di sekitar bantaran Sungai Kalimireng dalam proses produksinya menghasilkan limbah berupa air bekas memasak kepala ikan, yang memungkinkan mengandung serat-serat ikan yang tertinggal dan minyak ikan yang terikut didalamnya. Pembuangan limbah tersebut dilakukan secara langsung ke daerah aliran Sungai Kalimireng tanpa diolah terlebih dahulu.

Air buangan industri tersebut berpotensi sebagai bahan pencemar yang dapat mengakibatkan turunnya kualitas air di wilayah tersebut. Menurut Effendi (2003) dalam Irwanto (2011), kualitas air dinyatakan dengan beberapa parameter fisika seperti suhu, kekeruhan, warna, bau, dan TDS serta parameter kimia seperti pH, COD, BOD, zat organik dan kesadahan. Dengan demikian perlu dilakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kualitas air Sungai Kalimireng di sekitar lokasi pembuangan limbah cair tepung ikan. Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kondisi ekosistem mangrove di sekitar pembuangan limbah cair tepung ikan.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel kualitas air dilakukan dengan metode purposive sampling. Titik pengambilan sampel kualitas air terdiri dari tiga stasiun, yaitu 50 meter sebelum outlet (Stasiun 1), tepat pada outlet limbah (Stasiun 2), dan 50 meter setelah outlet limbah (Stasiun 3). Pada masing-masing stasiun dilakukan tiga kali pengulangan pengambilan data.

Selanjutnya dilakukan pengukuran parameter fisik perairan meliputi suhu, padatan tersuspensi (*total suspended solids*/TSS), dan padatan terlarut (*total dissolved solids*/TDS) serta parameter kimia perairan meliputi pH, oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO), *biological oxygen demand* (BOD), dan *chemical oxygen demand* (COD).

Analisis data kualitas air dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik komparatif yaitu dengan cara membandingkan kualitas air hasil pengukuran dengan kriteria baku mutu air dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tanggal tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Selain itu, dalam penelitian ini juga ditentukan status mutu air Sungai Kalimireng dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air (Tabel 1). Metode ini menghubungkan tingkat pencemaran suatu perairan yang dipakai untuk peruntukan tertentu dengan nilai parameter-parameter tertentu.

Tabel 1. Indeks Pencemaran

Nilai IP	Mutu Perairan
0 – 1,0	Kondisi baik
1,1 – 5,0	Cemar Ringan
5,0 - 10,0	Cemar sedang
>10,0	Cemar berat

(Sumber: Kep-MENLH N0.115 tahun 2003)

Pengambilan sampel sedimen mangrove dilakukan secara representatif pada dua stasiun, yaitu dekat outlet pembuangan limbah cair (Stasiun A) dan dekat muara (Stasiun B). Selanjutnya dilakukan analisa kandungan nitrogen (N) dan fosfor (P) pada sampel sedimen tersebut, dengan menggunakan dua acuan metode, yaitu USEPA SW 846 METHOD 3050 B-2000 SNI 06 6989.30-2005 digunakan untuk uji nitrogen dan USEPA SW 846 METHOD 3050 B-2600 APHA 4500 P-E, Ed.22, 2012 digunakan untuk uji fosfor.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengamatan vegetasi mangrove di lokasi pengambilan sampel sedimen. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kerapatan, dominansi, persentase tutupan, dan indeks nilai penting vegetasi mangrove di lokasi penelitian.

Analisis kerapatan mangrove dihitung sebagai perbandingan dari jumlah individu dengan luas seluruh plot penelitian, kemudian dikonversi menjadi per satuan hektar dengan dikalikan dengan 10.000. Sedangkan dominansi merupakan perbandingan antara jumlah individu dalam suatu spesies dengan jumlah total individu dalam seluruh spesies.

Persentase tutupan mangrove dihitung dengan menggunakan metode *hemispherical photography*. Metode ini menggunakan kamera dengan lensa *fish eye* dengan sudut pandang 180° pada satu titik pengambilan foto (Jenning et al., 1999; Korhonen et al., 2008 dalam Wayan dan Pramudji, 2014). Konsep dari analisis ini adalah pemisahan pixel langit dan tutupan vegetasi, sehingga persentase jumlah pixel tutupan vegetasi mangrove dapat dihitung dalam analisis gambar biner (Ishida 2004, Chianucci et al., 2014 dalam Wayan dan Pramudji, 2014). Selanjutnya, nilai penting adalah perkiraan pengaruh atau pentingnya suatu spesies tanaman dalam suatu komunitas. Nilai penting adalah penjumlahan dari kerapatan relatif, frekuensi relatif, dan penutupan relatif.

Nilai kerapatan dalam satuan individu/ha dan persentase tutupan dalam satuan persen (%) selanjutnya digunakan untuk menggambarkan status kondisi vegetasi mangrove. Kondisi ini dikategorikan menjadi tiga, yaitu jarang, sedang dan padat berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar baku kerusakan hutan mangrove

Kriteria		%Tutupan	Kerapatan*
Baik	Padat	> 75%	> 1500
	Sedang	50% - 75%	1000 - 1500
Rusak	Jarang	< 50%	< 1000

* dalam individu/hektar

(Sumber: Kep-MENLH No. 201 tahun 2004)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Sungai Kalimireng

Berdasarkan kelasnya Sungai Kalimireng masuk dalam kelas III, yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Hasil pengukuran parameter kualitas air pada

setiap stasiun di lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter kualitas air Sungai Kalimireng

	Satuan	Stasiun			Baku Mutu
		1	2	3	
Suhu	°C	32.2	32.2	32.1	-
TSS	mg/L	24.82	24.78	25.43	400
TDS	mg/L	2437	2407	2437	1000
pH	-	8.5	9	8	6-9
DO	mg/L	5.60	4.5	4.46	3
BOD	mg/L	2.01	1.89	0.84	6
COD	mg/L	103.5	100.1	82.1	50

(Sumber: olah data, 2018)

a. Suhu

Nybakken (1988) dalam Wijayanti (2007) menjelaskan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, suhu rata-rata permukaan perairan Sungai Kalimireng di sekitar pabrik tepung ikan adalah 32°C. Hal ini menunjukkan tingkat persebaran suhu yang sama di setiap stasiun. Suhu yang relatif tinggi di perairan ini selain dikarenakan air mendapatkan panas dari suhu udara (radiasi matahari), juga dimungkinkan dari bahan-bahan pencemar yang dapat meningkatkan suhu.

b. Padatan Tersuspensi (TSS)

Berdasarkan hasil pengukuran selama pengamatan dilakukan, nilai TSS pada lokasi penelitian berkisar antara 24,78 – 25,43 mg/L. Kandungan TSS di Sungai Kalimireng ini masih berada di bawah baku mutu kadar TSS untuk kualitas air kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 sebesar 400 mg/L. Kondisi ini kemungkinan dikarenakan pengambilan sampel air dilakukan saat daerah aliran sungai mengalami surut yang menyebabkan buangan limbah tepung ikan banyak terbawa arus ke arah muara.

c. Padatan Terlarut (TDS)

Nilai TDS perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan dari tanah, dan pengaruh antropogenik yang dapat berasal dari limbah domestik dan industri. Berdasarkan hasil pengukuran kualitas air selama pengamatan yang dilakukan, nilai TDS di lokasi penelitian berkisar antara 2347 – 2437 mg/L, sedangkan baku mutu kadar TDS

untuk kualitas air kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 adalah sebesar 1000 mg/L. Dengan demikian kandungan TDS di Sungai Kalimireng ini tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

d. pH

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, baku mutu untuk pH kualitas air kelas III adalah sebesar 6 – 9. Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata pH perairan di lokasi penelitian masih berada pada rentang baku mutu yang ditetapkan. Nilai pH perairan pada Stasiun 1, 2, dan 3 masing-masing adalah 8,5, 9 dan 8. Nilai pH yang lebih tinggi pada Stasiun 2 dapat disebabkan karena stasiun tersebut merupakan outlet limbah tepung ikan.

e. Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut merupakan parameter penting untuk mengetahui kualitas suatu perairan. Tanpa oksigen terlarut maka tidak akan ada kehidupan di perairan (Fatimah, 2006). Kadar oksigen terlarut rendah akan menimbulkan bau tidak sedap akibat terjadi degradasi anaerobik yang mungkin terjadi (Suriwiria, 1996 dalam Fatimah, 2006).

Berdasarkan hasil pengukuran selama pengamatan dilakukan, konsentrasi DO berkisar antara 4,46 – 5,60 mg/L. Nilai ini masih memenuhi baku mutu kualitas air kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.

f. Chemical Oxygen Demand (COD)

Nilai COD merupakan ukuran pencemaran oleh zat – zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses biologis sehingga menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam perairan. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, COD di perairan Sungai Kalimireng berkisar antara 82,1 – 103,5 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan COD di Sungai Kalimireng tidak memenuhi baku mutu kualitas air kelas III berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 sebesar 50 mg/L.

g. Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD menyatakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air. Semakin besar konsentrasi BOD mengindikasikan bahwa perairan

tersebut telah tercemar karena semakin banyak zat organik yang mencemari perairan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, baku mutu kadar BOD untuk kualitas air kelas III adalah sebesar 6 mg/L.

Hasil pemeriksaan di laboratorium menunjukkan jumlah BOD pada Stasiun 1, 2, dan 3 masing-masing adalah sejumlah 2,01 mg/L, 1,89 mg/L, dan 0,84 mg/L. Kandungan BOD di sungai Kalimireng ini masih memenuhi baku mutu kualitas air kelas III.

Status Mutu Air Sungai Kalimireng

Kondisi Sungai Kalimireng ditinjau dari parameter TSS bernilai 0,05 yang berarti memenuhi baku mutu, TDS bernilai 8 yang berarti tercemar sedang, dan pH bernilai 2 yang berarti tercemar ringan. Sedangkan parameter DO bernilai 0,2 yang berarti memenuhi baku mutu, BOD bernilai 0,3 yang berarti memenuhi baku mutu, dan COD bernilai 6 yang berarti tercemar sedang.

Terlihat dari enam parameter yang diukur terdapat satu parameter dengan status tercemar ringan yaitu parameter pH, dua parameter dengan status tercemar sedang yaitu TDS dan COD, serta tiga parameter yang memenuhi baku mutu perairan yaitu TSS, DO, BOD. Hasil perhitungan nilai Indeks Pencemaran perairan Sungai Kalimireng selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai indeks pencemaran (IP) perairan Sungai Kalimireng

Par	IP	Kategori	Status Mutu Air
TSS	0.05	0 - 1.0	Good
TDS	8	5.0 - 10	cemar sedang
pH	2	1.0 - 5	cemar ringan
DO	0.2	0 - 1.0	Good
BOD	0.3	0 - 1.0	Good
COD	6	5.0 - 10	cemar sedang

(Sumber: olah data, 2018)

Kandungan Unsur Hara di Sedimen Mangrove Sungai Kalimireng

Hasil pengukuran kandungan nitrogen (N) dan fosfor (P) di sedimen mangrove Sungai Kalimireng ditunjukkan pada Tabel 5. Kandungan nitrogen pada sedimen mangrove di Stasiun A dan B masing-masing adalah 0,766 mg/g dan 0,359 mg/g. Sedangkan Kandungan fosfor pada sedimen mangrove di Stasiun A dan B masing-masing adalah 0,131 mg/g dan 0,0769 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa sampel sedimen yang diambil di

Stasiun A memiliki kandungan nitrogen dan fosfor yang lebih tinggi dibanding dengan sampel sedimen yang diambil di Stasiun B.

Tabel 5. Kandungan unsur hara nitrogen (N) dan fosfor (P) di sedimen mangrove Sungai Kalimireng

Stasiun	N (mg/g)	P (mg/g)
A	0,766	0,131
B	0,359	0,0769

(Sumber; olah data, 2018)

Struktur Komunitas Mangrove

Hasil analisis vegetasi mangrove di lokasi penelitian secara umum ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Kerapatan, Dominasi, Persentase tutupan, INP

St	Jenis	Kerapatan	Dominansi	%tutupan	INP
A	<i>A.marina</i>	700	100	68,3%	300
B	<i>A.marina</i>	1566,69	100	79%	300

(Sumber; olah data, 2018)

a. Keanekaragaman

Hasil pengamatan pada dua stasiun menunjukkan bahwa secara umum vegetasi mangrove yang ada di kawasan Sungai Kalimireng termasuk dalam kategori kurang beragam. Pada kawasan tersebut hanya ditemukan spesies *Avicennia marina*. Spesies ini biasa disebut masyarakat setempat dengan *api-api* atau *bogem*. Sebagai bagian dari komunitas hutan mangrove, pohon *api-api* biasanya tumbuh di tepi atau dekat laut. Mangrove jenis ini ditemukan pula tumbuh di rawa-rawa air tawar, tepi pantai berlumpur daerah mangrove, hingga di substrat yang berkadar garam sangat tinggi (Anonim, 2011). Hal ini disebabkan karena jenis tanaman *A. marina* toleran terhadap salinitas sangat tinggi, memiliki kemampuan menempati dan tumbuh pada berbagai habitat pasang-surut.

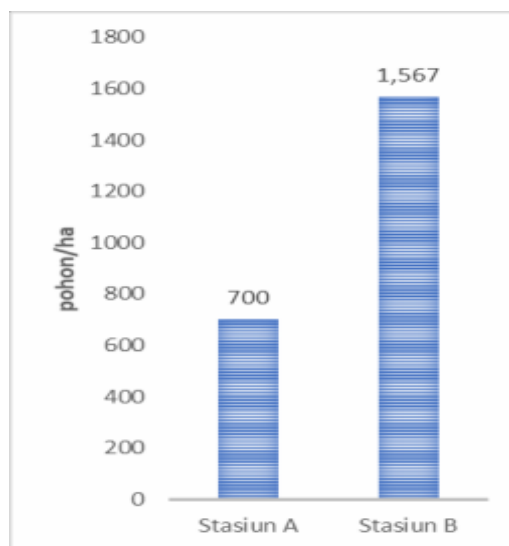
Dari beberapa hasil penelitian diketahui bahwa *A. marina* dapat tumbuh pada substrat yang berpasir kasar, halus maupun lumpur yang dalam (Kusmana et al., 2003 dalam Halidah dan Kama, 2013). Jenis *A. marina* tumbuh pada ketinggian 0-50 m dari permukaan laut, memiliki tekstur ringan dan tumbuh pada tapak yang berlumpur dalam, tepi sungai, daerah kering dengan temperatur berkisar 29- 30°C. Kondisi ini serupa dengan parameter lingkungan pada kedua stasiun. Vegetasi mangrove yang ada di kawasan sungai Kalimireng ini hanya tumbuh pada daerah intertidal. Kondisi seperti ini sesuai

dengan pernyataan Bengen (2003) bahwa pada umumnya mangrove tumbuh pada daerah intertidal.

b. Kerapatan

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa kerapatan mangrove di kedua stasiun memiliki perbedaan yang cukup signifikan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kerapatan mangrove di Stasiun A, lokasi dekat dengan pembuangan limbah cair tepung ikan, adalah 700 pohon/ha sedangkan kerapatan mangrove di Stasiun B, lokasi dekat dengan muara, adalah 1566,68 pohon/ha.

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2004, maka kondisi kerapatan vegetasi mangrove di Stasiun A tergolong dalam kondisi yang jarang dan rusak (<1000 pohon/ha). Sedangkan kondisi vegetasi mangrove di stasiun B tergolong dalam kondisi yang padat dan baik (>1500 pohon/ha).



Gambar 1. Kerapatan mangrove di lokasi penelitian (Sumber; olah data, 2018)

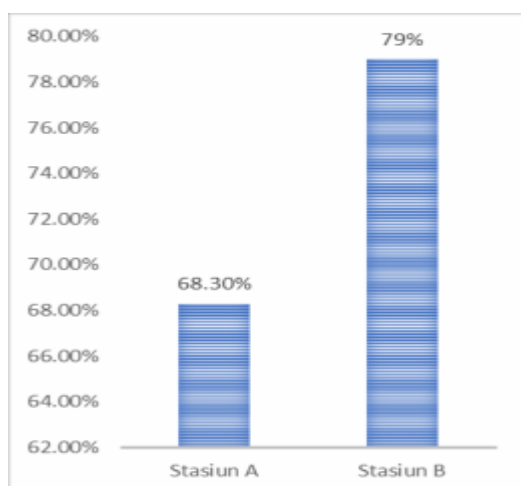
c. Dominansi

Dominansi memberikan gambaran tentang penguasaan jenis dalam plot. Pada stasiun A dan B didominasi penuh dengan mangrove jenis *Avicennia marina*. Hal ini disebabkan jenis *Avicennia marina* mampu berkompetisi dengan baik untuk memperoleh unsur hara dari jenis mangrove lain. Selain itu jenis *Avicennia marina* tumbuh pada kondisi lingkungan yang mendukung keberhasilan hidup jenis *Avicennia marina*. Apabila ukuran batang semakin besar maka akan memperluas dominansinya.

Menurut Harahab (2010) bahwa jenis yang memiliki nilai dominansi yang relatif rendah berarti mencerminkan ketidakmampuannya menoleransi kondisi lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa jenis mangrove *Avicennia marina* di lokasi penelitian toleran dan mampu bertahan terhadap karakter limbah yang dihasilkan dari pabrik tepung ikan.

d. % Tutupan

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, persentase penutupan mangrove di stasiun A dan B memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Persentase tutupan mangrove di Stasiun A adalah 68,3%, sedangkan persentase tutupan mangrove pada stasiun B adalah 79%. Tingkat persentase tutupan mangrove di kedua stasiun ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Persentase tutupan mangrove di lokasi penelitian (Sumber; olah data, 2018)

Diskusi

Menurut Murtidjo (2001) dalam Ginanjar (2016) tepung ikan mengandung mineral kalsium dan fosfor serta vitamin B kompleks khususnya vitamin B12. Hal ini menyebabkan fosfor dalam sedimen mangrove di Stasiun A, yang dekat dengan pembuangan limbah cair tepung ikan, lebih tinggi dibanding dengan sedimen di Stasiun B, yang berada di dekat muara.

Demikian juga dengan kandungan nitrogen pada sedimen mangrove di Stasiun A yang lebih tinggi dibanding dengan Stasiun B. Kondisi ini juga diduga dikarenakan lokasi Stasiun A yang berdekatan dengan pembuangan limbah cair tepung ikan sehingga bahan-bahan organik sisa

pengolahan tepung ikan banyak mengendap pada sedimen mangrove di Stasiun A. Menurut Ibrahim (2005) dalam Ginanjar (2005), dalam beban cemaran organik yang tinggi terkandung pula senyawa nitrogen yang tinggi yang merupakan protein larut air setelah mengalami *leaching* selama pencucian, *defrost* dan proses pemasakan.

Kondisi vegetasi mangrove di Stasiun A kurang baik apabila dibandingkan dengan mangrove di stasiun B. Hal ini terlihat dari kerapatannya yang jarang (<1000 pohon/ha) sementara mangrove Stasiun B dalam kondisi padat dan baik (>1500 pohon/ha). Demikian juga dengan tutupan mangrove pada Stasiun A (68,3%) yang lebih rendah dibandingkan dengan tutupan mangrove pada stasiun B (79%).

Hal ini dapat disebabkan unsur fosfor dan nitrogen yang berlebih di Stasiun A yang berdekatan dengan lokasi pembuangan limbah cair tepung ikan. Kelebihan unsur fosfor bagi tanaman dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena terjadinya ikatan N-P yang menyulitkan tanaman menyerap unsur nitrogen. Selanjutnya menurut Liferdi (2009), kadar fosfor yang tinggi dalam sedimen dapat menghambat pertumbuhan tanaman, kerusakan pada daun dan akar bahkan kematian pada tumbuhan.

Hal ini juga didukung dengan morfologi mangrove jenis *A. marina* yang memiliki akar napas, yakni akar percabangan yang tumbuh dengan jarak teratur secara vertikal dari akar horizontal yang terbenam di dalam tanah, sehingga dapat memerangkap sisa-sisa pembuangan limbah tepung ikan yang dihasilkan dari proses pencucian dan pemasakan.

4. KESIMPULAN

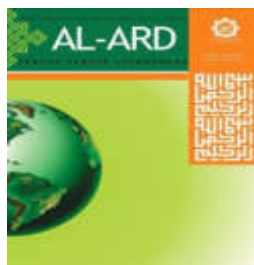
Parameter kualitas air Sungai Kalimireng yang memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 untuk kualitas air kelas III adalah pH, TSS, DO, dan BOD. Sementara parameter TDS dan COD tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh masukan limbah cair pengolahan tepung ikan. Status indeks pencemaran Sungai Kalimireng dikategorikan sebagai pencemaran ringan dengan nilai indeks pencemaran kualitas air 0,05 – 8. Dari nilai indeks pencemaran tersebut maka diperlukan pengendalian pencemaran

perairan Sungai Kalimireng, terutama untuk meminimalisir jumlah TDS dan COD, agar dapat dimanfaatkan sesuai peruntukannya dan menjaga agar kualitas air sungai Kalimireng tetap sesuai dengan mutu air sasaran yaitu kriteria mutu air kelas III menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.

Dari tinjauan ekosistem mangrove, kandungan nitrogen dan fosfor di sedimen mangrove pada stasiun dekat pembuangan limbah tepung ikan lebih tinggi dibanding sedimen pada stasiun dekat muara. Kondisi ini disebabkan oleh bahan-bahan organik yang berasal dari pembuangan limbah tepung ikan. Hal tersebut berdampak pada kerapatan dan %tutupan mangrove pada stasiun dekat muara lebih baik daripada mangrove di stasiun dekat pembuangan limbah tepung ikan. Stasiun dekat muara memiliki nilai kerapatan sejumlah 1566,67 pohon/ha dan % tutupan 79%, yang berarti dalam kondisi baik padat. Sedangkan mangrove pada stasiun dekat pembuangan limbah cair memiliki nilai kerapatan sejumlah 700 pohon/ha yang berarti rusak jarang dan %tutupan 68.3% yang berarti sedang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. *Keluarga bakau yang banyak manfaat*. Koran Jakarta Nasional. Diakses tanggal 5 Januari 2011. <http://www.bataviase.co.id>.
- Bengen, Dietrich. 2003. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Bogor: PKSL-IPB.
- Effendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air (Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fatimah. 2006. Pengaruh pengolahan limbah tekstil PT. APAC INTI CORPORA (AIC) terhadap kualitas air Sungai Bade Bawen. *Skripsi*, UNNES Semarang.
- Ginanjar. 2016. Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Tepung Ikan dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Bioaktivator dan Variasi Lama Fermentasi. *Skripsi*, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Halidah dan H. Kama. 2013. Penyebaran alami *Avicennia marina* (Forsk) Vierh dan *Sonneratia Alba* (Smith) pada substrat pasir di Desa Tiwoho, Sulawesi Utara. *Indonesia Rehabilitation Forest Journal*, 1 (1) 51-58.
- Harahab, N. 2010. *Penilaian Ekonomi Ekosistem Hutan Mangrove dan Aplikasinya dalam Perencanaan Wilayah Pesisir*. Yogyakarta: Graha ilmu.
- Irwanto, Robert. 2011. Pengaruh Pembuangan Limbah Cair Industri Tahu terhadap Kualitas Air Sumur di Kelurahan Krobokan Kota Semarang. *Skripsi*, Universitas Negeri Semarang.
- Liferdi, L. 2009. Efek pemberian fosfor terhadap pertumbuhan dan status hara bibit manggis. *Jurnal Ilmiah Balai Penelitian Buah Tropika*, Bogor.
- Wayan, I. dan Pramudji. 2014. *Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Wijayanti, Henni M. 2007. Kajian Kualitas Perairan di Pantai Kota Bandar Lampung Berdasarkan Komunitas Makrobenthos. *Tesis*, Program Pascasarjana UNDIP Semarang.



Analisis Timbulan Sampah Pasar Tradisional (Studi Kasus: Pasar Ujungberung, Kota Bandung)

Mochammad Chaerul¹, Titara Puspita Dewi²

^{1,2}Institut Teknologi Bandung, Indonesia

m.chaerul@ftsl.itb.ac.id

Abstrak

Pasar Ujungberung merupakan salah satu pasar tradisional di Kota Bandung yang aktivitas jual-belinya masih ramai dan berdampak pada kebutuhan pengelolaan sampah yang lebih baik. Agar dapat dilakukan pengelolaan sampah yang baik maka dibutuhkan data timbulan yang lebih presisi. Paper ini bertujuan untuk mengetahui timbulan sampah tersebut melalui pelaksanaan prosedur sampling sesuai dengan SNI selama 8 hari berturut-turut. Jumlah keseluruhan kios yang aktif digunakan untuk jual-beli adalah 565 kios dengan jumlah responden untuk sampling dan kuesioner sebanyak 85 kios. Rerata timbulan sampah tertinggi dan terendah masing-masing berasal dari kios makanan jadi (3,16 kg/hari) dan kios hasil bumi (0,02 kg/hari). Berdasarkan unit yang mungkin berpengaruh pada timbulan sampahnya, maka secara rerata timbulan sampah perhari di Pasar Ujungberung adalah 0,464 kg/kios, 0,109 kg/m² kios, 0,240 kg/karyawan, 0,047 kg/jam operasional. Walaupun komposisi jenis sampah yang dihasilkan dari setiap kios berbeda, plastik, organik dan kertas merupakan tiga jenis sampah yang diprediksi dominan dihasilkan dari Pasar Ujungberung. Berdasarkan observasi langsung dan wawancara diketahui bahwa sebagian besar pedagang membuang sampahnya dengan menggunakan kresek plastik ke lokasi penampungan sampah terdekat. Data timbulan sampah yang diperoleh dari studi ini dapat digunakan untuk memprediksi timbulan sampah di pasar tradisional lain sehingga perencanaan pengelolaan sampah dapat dilakukan dengan lebih baik.

Kata Kunci: Timbulan sampah, komposisi, pasar tradisional, sampling

Abstract

Ujungberung market is one of traditional market in Bandung city having high business transaction and generates a significant solid waste to be managed properly. In order to establish a proper solid waste management, the reliable data on waste generation is crucially required. The paper aims to find the waste generation through performing waste sampling procedure based on Indonesian Standard for 8 days consecutively. There were total 566 stalls available in the market and 85 stalls were selected as respondents for sampling and questionnaire. The results showed that the highest and lowest average of waste quantity were generated by food stall (3.16 kg/day) and tuber stall (0.02 kg/day), respectively. Based on units that may affect the waste quantity, the average daily waste generations are follows: 0,464 kg/stall, 0,109 kg/m² area of stall, 0,240 kg/employee, 0,047 kg/hour of stall operational. Although the waste composition generated from each stall may vary, the most dominant type of waste predicted to be generated in the market totally were plastic, organic, and paper, respectively. According to the field observation and the questionnaire, most of seller dispose of their waste using plastic bag to the nearest waste storage. The data of waste generation resulted from the study could be used to predict the generation for other traditional market for establishing a better planning of the waste management system.

Keywords: waste generation, composition, traditional market, sampling

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Berdasarkan sumbernya, sampah dapat diklasifikasikan menjadi sampah dari pemukiman, komersial, institusi,

konstruksi dan pembongkaran bangunan, fasilitas umum, instalasi pengolahan limbah, industri, dan pertanian (Tchobanoglous, 1993). Pengelolaan limbah padat merupakan permasalahan di seluruh dunia dan menjadi semakin rumit seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi yang berdampak pada perubahan gaya hidup (Singh et al, 2011).

Terdapat berbagai macam upaya daur ulang sampah untuk mengurangi potensi dampak negatif dan menghasilkan suatu produk yang lebih bernilai ekonomis (Pribadi, 2015, Ubaidillah et al., 2018, Sari, 2017, Nengse, 2017, Chaerul, 2019).

Pasar tradisional merupakan pasar yang dibangun dan dikelola oleh pemerintah, koperasi, atau swadaya masyarakat dengan tempat usaha skala kecil dengan proses jual beli melalui tawar-menawar. Pasar Ujungberung Bandung merupakan salah satu pasar tradisional tertua di Kota Bandung yang berlokasi di Jalan Jenderal Abdul Haris Nasution, Bandung. Jumlah kios di Pasar Ujungberung Bandung mencapai 691 kios dengan 565 kios aktif dan sisanya gudang.

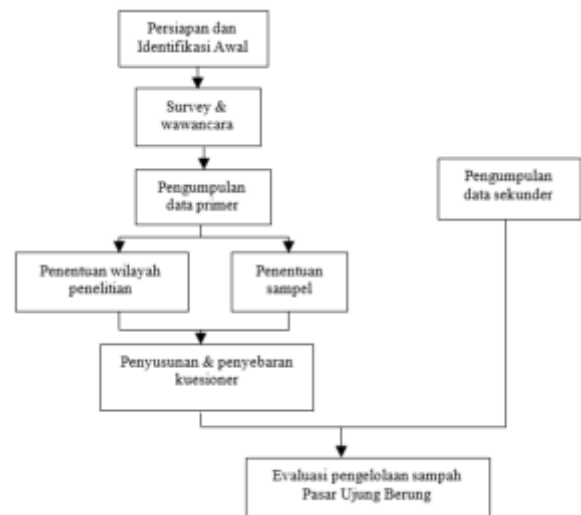
Beberapa instrumen telah diusulkan untuk pengelolaan limbah padat rumah tangga. Agar instrumen tersebut dapat berjalan dengan lancar dan sukses maka sangat penting untuk menyelidiki faktor-faktor sosial yang mempengaruhi perilaku masyarakat selama penerapannya (Jones et al, 2010) dalam hal ini adalah perilaku para pedagang di pasar Ujungberung. Dengan adanya pengelolaan sampah pasar yang baik dapat mengurangi jumlah sampah yang diangkut ke TPA. Berbagai studi menunjukkan bahwa 90% dari pengelolaan limbah padat dengan sistem open dumping dan landfill yang tidak diperhitungkan dengan baik dapat menimbulkan masalah kesehatan masyarakat dan lingkungan (Sharholly et al, 2008). Mengingat berbagai macam dampak negatif yang bisa ditimbulkan, baik ke lingkungan maupun kesehatan masyarakat, maka diperlukan suatu sistem pengelolaan sampah pasar yang lebih baik (Aye & Widjaya, 2006, Matsui et al., 2015, Sukresno et al., 2019, Hartono et al., 2015).

Studi ini bertujuan untuk mengetahui timbulan sampah secara detail yang dihasilkan dari setiap jenis pedagang yang ada di Pasar Tradisional Ujungberung, Kota Bandung melalui prosedur sampling berdasarkan SNI sehingga didapat data yang lebih akurat. Dengan tersedianya data timbulan yang lebih dapat dipercaya, penyusunan rencana perbaikan sistem pengelolaan sampahnya pun diharapkan akan lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi kegiatan persiapan dan identifikasi awal, survei lapangan, sampling dan kuesioner,

serta wawancara terhadap berbagai pihak yang terkait dengan pengelolaan persampahan di Pasar Ujungberung Bandung. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data sekunder untuk bahan evaluasi terhadap data primer hasil sampling dan kuesioner. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tahap Persiapan dan Identifikasi Awal

Tahapan ini meliputi studi dan analisis data awal yang diperoleh dari PD Pasar berupa data pedagang di Pasar Ujungberung Bandung. Analisis tersebut dilakukan sebagai dasar dan perencanaan untuk kegiatan sampling.

Populasi dan Sampel

Untuk menentukan jumlah responden pada saat sampling digunakan persamaan slovin yang dapat dilihat pada persamaan (1) di bawah ini.

$$n = \frac{N}{Ne^2 + 1} \quad (1)$$

dimana:

n= Jumlah sampel / responden

N= Jumlah populasi.

e = Persen kelonggaran ketidaktelitian karena kesalahan pengambilan sampel yang masih dapat ditolerir (10 %).

Diketahui bahwa jumlah kios yang aktif digunakan untuk kegiatan jual-beli adalah sebanyak 565 kios, sehingga jumlah sampel/responden adalah:

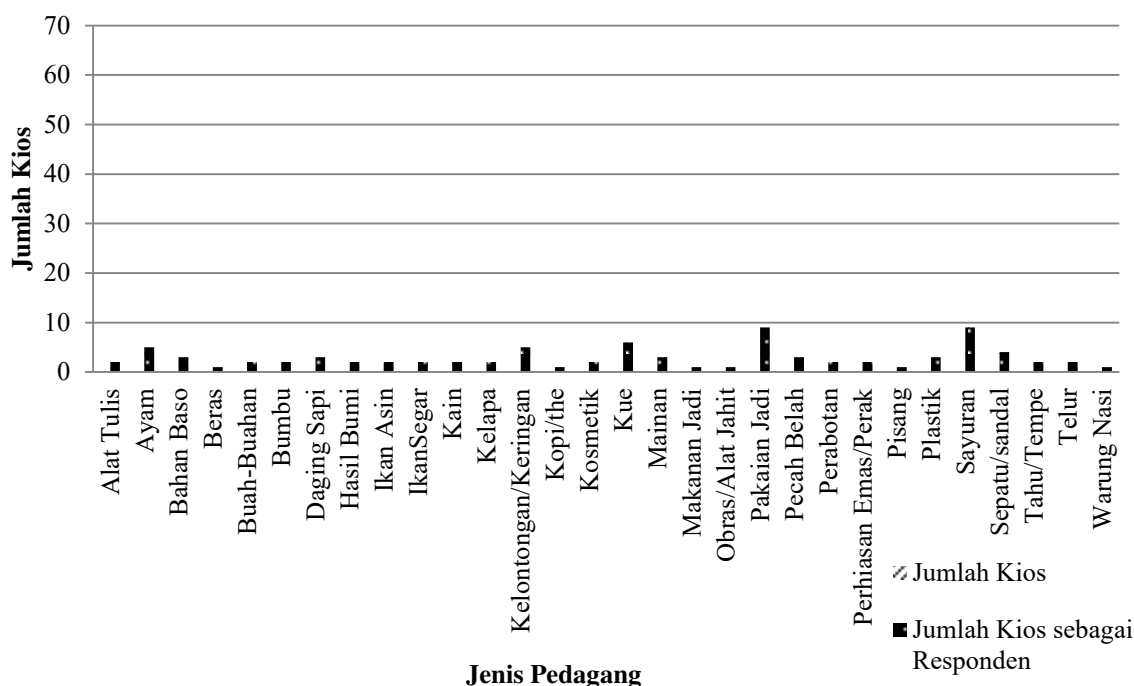
$$n = \frac{565}{565 \cdot 0,1^2 + 1} = 84,96 \text{ kios} = 85 \text{ kios}$$

Dari data PD Pasar Bermartabat Kota Bandung, diketahui keseluruhan jumlah kios beserta jenis barang yang dijual. Selanjutnya dihitung persentase setiap jenis barang yang dijual terhadap keseluruhan jumlah kios yang ada. Persentase tersebut kemudian digunakan

untuk menentukan jumlah sampel per tiap jenis barang yang dijual.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh jumlah sampel yang bervariasi untuk tiap jenis barang yang dijual. Variasi tersebut

bergantung pada persentase jumlah tiap jenis barang yang dijual terhadap keseluruhan kios yang ada. Hasil tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2 Jumlah Kios di Pasar Ujungberung

Pengumpulan Data Primer

Setelah menetapkan jumlah responden maka selanjutnya dilakukan prosedur pengumpulan data primer. Pengumpulan data primer dilakukan dengan kegiatan observasi, sampling, dan kuesioner. Kegiatan observasi meliputi kegiatan survey dan wawancara. Survey dilakukan untuk mengetahui gambaran umum pengelolaan persampahan yang ada sedangkan wawancara dilakukan terhadap petugas kebersihan dan pedagang di Pasar Ujungberung.

Setelah melakukan observasi dilakukan sampling timbulan menggunakan prosedur sampling yang merujuk pada Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan (SNI 19-3964-1995) yaitu selama 8 hari berturut-turut terhadap 85 responden yang mewakili seluruh jenis pedagang di Pasar Ujungberung Bandung. Sampling dilakukan dengan melakukan pengumpulan sampah dari tiap kios untuk selanjutnya sampah tersebut ditimbang, diukur volumenya, dan dipilah berdasarkan komposisinya. Proses pengangkutan sampah dari kios dilakukan secara manual yaitu diangkut/diambil langsung ke setiap kios setelah sampah

dikumpulkan selama 24 jam. Peralatan yang digunakan selama sampling adalah timbangan, *sampling box*, sarung tangan, masker, dan kantong plastik.

Selanjutnya dilakukan penyebaran kuesioner terhadap 85 responden untuk memperoleh berbagai informasi pendukung yang diperlukan dalam proses pengolahan data dan analisis seperti data luas kios, jumlah pekerja/karyawan, jam operasional, serta untuk mengetahui tingkat kepuasan para pedagang terhadap pelayanan kebersihan dari petugas PD Kebersihan Kota Bandung.

Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan sebagai bahan evaluasi terhadap data primer yang diperoleh. Data sekunder yang diperoleh berupa data sarana dan prasarana pendukung pasar dan luas areal pasar di wilayah Kota Bandung. Data sarana dan prasarana diperlukan untuk membantu evaluasi mengenai sistem pewadahan, pengumpulan, penyimpanan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangan sampah di Pasar Ujungberung Bandung. Sedangkan data luas areal pasar di wilayah Kota Bandung diperlukan untuk

memperkirakan keseluruhan timbulan sampah di Kota Bandung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sampling Timbulan Sampah

Dari hasil sampling diperoleh timbulan sampah dalam satuan kg/hari dan volume sampah dalam satuan m³. Data tersebut kemudian diolah dengan data dari PD Pasar Bermartabat Kota Bandung dan hasil kuesioner berupa jumlah populasi, luas kios, jumlah karyawan, dan jam operasional kios sehingga diperoleh data timbulan dalam kg/m²/hari, kg/karyawan/hari, dan kg/jam operasional/hari. Selain itu juga diperoleh data densitas sampah untuk setiap jenis kios.

Dari hasil pengolahan data diperoleh rata-rata timbulan maksimum 0,74 kg/m²/hari pada kios ikan segar, 1,45 kg/karyawan/hari pada kios buah-buahan, dan 0,45 kg/jam operasional/hari pada kios makanan jadi. Sedangkan rata-rata timbulan minimum yang diperoleh adalah 0,004 kg/m²/hari pada kios beras, 0,02 kg/karyawan/hari pada kios hasil bumi (umbi-umbian), dan 0,001 kg/jam operasional/hari pada kios hasil bumi (umbi-umbian). Sementara untuk nilai rata-rata densitas maksimum adalah 394,31 kg/m³ pada kios buah-buahan dan rata-rata densitas minimum adalah 4,32 kg/m³ pada kios plastik. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut ini.

Tabel 1 Timbulan Sampah Rata-rata Selama Sampling

No	Jenis Pedagang	Populasi	Respon-	Satuan Timbulan (per hari)				Densitas (kg/m ³)
				kg/jenis pedagang	kg/m ²	kg/karyawan	kg/jam operasional	
1	Alat Tulis	12	2	0,130	0,006	0,065	0,010	21,590
2	Ayam	31	5	0,357	0,167	0,219	0,039	52,002
3	Bahan Baso	17	3	0,152	0,025	0,106	0,013	14,811
4	Beras	7	1	0,152	0,004	0,026	0,004	17,786
5	Buah-Buahan	13	2	1,448	0,241	1,448	0,107	394,311
6	Bumbu	16	2	0,230	0,307	0,140	0,030	134,667
7	Daging Sapi	21	3	0,155	0,013	0,039	0,011	20,481
8	Hasil Bumi	13	2	0,018	0,024	0,018	0,001	6,886
9	Ikan Asin	16	2	0,073	0,089	0,067	0,006	17,734
10	Ikan Segar	13	2	0,554	0,739	0,277	0,043	58,000
11	Kain	13	2	0,334	0,045	0,146	0,028	9,763
12	Kelapa	11	2	1,040	0,132	0,520	0,079	289,169
13	Kelontong	30	5	0,047	0,008	0,034	0,004	4,431
14	Kopi/teh	9	1	0,143	0,024	0,072	0,011	57,156
15	Kosmetik	16	2	0,369	0,036	0,109	0,043	172,747
16	Kue	41	6	0,134	0,022	0,097	0,013	17,920
17	Mainan	17	3	0,027	0,027	0,020	0,002	7,897
18	Makanan Jadi	9	1	3,167	0,264	1,056	0,452	221,793
19	Obras/Alat Jahit	5	1	0,664	0,033	0,221	0,074	47,216
20	Pakaian Jadi	61	9	0,134	0,019	0,056	0,013	14,438
21	Pecah Belah	23	3	0,146	0,024	0,066	0,011	12,431
22	Perabotan	11	2	0,281	0,047	0,281	0,023	32,996
23	Perhiasan	16	2	0,851	0,040	0,195	0,085	82,553
24	Pisang	5	1	0,599	0,100	0,299	0,046	204,453
25	Plastik	17	3	0,029	0,005	0,023	0,002	4,324
26	Sayuran	58	9	1,228	0,581	0,882	0,111	142,771
27	Sepatu/sandal	25	4	0,216	0,034	0,164	0,019	25,043
28	Tahu/Tempe	11	2	0,110	0,018	0,055	0,009	16,396
29	Telur	16	2	0,170	0,023	0,170	0,013	52,697
30	Warung Nasi	4	1	0,962	0,160	0,321	0,096	151,398
Rata-Rata				0,464	0,109	0,240	0,047	76,862
Standar Deviasi				0,637	0,172	0,331	0,084	96,480

Dari Tabel di atas dapat diketahui rata-rata timbulan sampah per hari akan berbeda-beda tergantung pada satuan timbulan yang digunakan. Rata-rata timbulan sampah terbesar adalah 0,464 kg/jenis pedagang/hari. Dan nilai terkecil adalah 0,084 kg/jam

operasional per hari. Dari seluruh rata-rata timbulan dengan menggunakan berbagai jenis satuan timbulan, dapat dihitung jumlah timbulan sampah per hari selama sampling dilakukan. Hasil perhitungan timbulan dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2 Timbulan Sampah Selama Sampling

No	Populasi	Unit	Timbulan Rata-Rata	Satuan Timbulan	Prediksi Total Timbulan (kg/hari)
1	565	pedagang	0,464	kg/pedagang	262,160
2	3.955	m ²	0,109	kg/m ²	431,095
3	1.130	karyawan	0,240	kg/karyawan	271,200
4	978	jam	0,047	kg/jam operasional	45,966

Sebagai data sekunder diketahui bahwa nilai densitas sampah di TPS II Pasar Caringin Kota Bandung adalah sebesar 0,13 kg/l (Novita, 2002). Dengan menggunakan data densitas tersebut maka dapat diperoleh perkiraan volume sampah yang ditimbulkan selama sampling dilakukan, dengan terlebih dahulu mengkonversi densitas menjadi 130 kg/m³. Hasil perhitungan volume timbulan menunjukkan volume minimum 0,35 m³/hari dan volume maksimum 3,32 m³/hari. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut ini.

Tabel 3 Prediksi Volume Timbulan Sampah

No	Timbulan (kg/hari)	Densitas (kg/m ³)	Prediksi Total Timbulan (m ³ /hari)
1	262,16	130	2,02
2	431,10		3,32
3	271,20		2,09
4	45,97		0,35

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume sampah yang dihasilkan di Pasar Ujungberung jumlahnya hanya sekitar 0,35-3,32 m³/hari. Namun berdasarkan hasil observasi di lokasi TPS pasar, seringkali TPS yang berukuran 8 m³ terlihat *overload*. Berdasarkan hasil wawancara dengan Kepala Pasar Ujungberung, diperoleh informasi bahwa sebagian besar sampah di TPS berasal dari warga sekitar pasar dan para pedagang kaki lima maupun pertokoan di sekitar lokasi pasar. Selain itu di sayap kanan pasar terdapat terminal angkutan kota yang menyebabkan lokasi sekitar pasar semakin ramai dan berpotensi memberikan penambahan timbulan yang masuk ke TPS Pasar.

Berdasarkan hasil kuesioner, para pedagang yang menghasilkan sampah dengan jumlah sangat banyak seperti sampah sayuran seringkali membuang sampahnya di sekitar lokasi kios tanpa memasukkan ke dalam wadah sehingga tidak terdata dalam sampling yang dilakukan.

Sebenarnya TPS pasar yang didirikan sudah memiliki kapasitas yang mencukupi untuk melayani kebutuhan pasar Ujungberung. Namun, dikarenakan lokasi TPS yang strategis dan berdekatan dengan pemukiman maupun fasilitas umum yang lain, maka TPS tersebut tidak lagi berfungsi untuk melayani pasar saja melainkan menjadi TPS umum. Penanganan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi pelayanan di TPS adalah dengan memperbaiki sistem manajemen dan akses TPS. Selain itu dapat dilakukan pendataan terhadap pemukiman maupun pertokoan di sekitar lokasi pasar yang ikut membuang sampah ke TPS pasar sehingga dapat dilakukan perhitungan volume TPS yang dibutuhkan, tentunya dengan adanya penarikan biaya terhadap para pengguna jasa TPS.

Komposisi Sampah

Komposisi sampah di Pasar Ujungberung Bandung bervariasi bergantung dari jenis barang yang dijual. Pada hasil sampling dilakukan pengelompokan terhadap komposisi sampah yang ada menjadi 8 kelompok, yaitu sampah organik, kertas, plastik, B3, kain, kaca, kaleng, dan Styrofoam.

Sampah plastik maksimum sebesar 99,7% dihasilkan oleh kios kain, sampah kertas maksimum sebesar 79,86% dihasilkan oleh kios kopi/teh, sampah organik maksimum sebesar 100% dihasilkan oleh kios buah-

buahan, hasil bumi (umbi-umbian), kelapa, dan pisang, sampah styrofoam maksimum sebesar 1,76% dihasilkan oleh kios plastik, sampah kaleng maksimum sebesar 1,28% dihasilkan oleh kios pakaian jadi, sampah kaca maksimum sebesar 9,37% dihasilkan oleh kios

perhiasan, sampah kain maksimum sebesar 51,98% dihasilkan oleh kios obras/alat Jahit, dan sampah B3 maksimum sebesar 2,47% dihasilkan oleh kios daging sapi. Untuk lebih jelas dapat dilihat **Tabel 4** berikut ini.

Tabel 4 Komposisi Sampah di Pasar Ujungberung

No.	Jenis Pedagang	Komposisi Sampah (%)							
		Plastik	Kertas	Organik	Styrofoam	Kaleng	Kaca	Kain	B3
1	Alat Tulis	49,21	49,31	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Ayam	35,58	4,54	59,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Bahan Baso	97,21	8,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Beras	62,70	11,37	25,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Buah-Buahan	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Bumbu	72,78	0,00	14,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Daging Sapi	49,92	17,98	29,63	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47
8	Hasil Bumi	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Ikan Asin	69,58	23,55	6,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Ikan Segar	42,56	0,95	53,95	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00
11	Kain	99,77	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	Kelapa	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	Kelontong	96,12	3,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Kopi/Teh	20,14	79,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Kosmetik	20,28	47,39	19,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	Kue	61,77	20,86	17,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	Mainan	17,55	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	Makanan Jadi	10,66	0,00	89,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Obras/Alat Jahit	19,11	21,98	6,15	0,25	0,54	0,00	51,98	0,00
20	Pakaian Jadi	89,46	5,55	2,82	0,04	1,28	0,86	0,00	0,00
21	Pecah Belah	43,82	52,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	Perabotan	71,74	10,70	10,96	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
23	Perhiasan	40,82	36,58	13,21	0,02	0,00	9,37	0,00	0,00
24	Pisang	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Plastik	77,48	3,52	8,90	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
26	Sayuran	2,43	0,95	95,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	Sepatu/sandal	49,99	33,34	16,27	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00
28	Tahu/Tempe	24,39	5,64	48,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	Telur	26,82	12,29	60,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Warung Nasi	5,14	2,52	86,59	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00

Kios kain banyak menghasilkan sampah plastik yaitu berupa kantong plastik (keresek) yang digunakan sebagai pembungkus kain. Kain biasa dibeli dalam bentuk gulungan besar dengan pembungkus plastik yang sangat besar. Selain itu plastik yang dihasilkan juga berasal dari botol kemasan plastik dan plastik pembungkus makanan. Kios kopi/teh banyak menghasilkan sampah kertas yaitu berupa kertas dan karton pembungkus kopi/teh. Kios

ini juga memiliki jam operasional selama 13 jam dan merupakan tempat yang sering dikunjungi oleh para pedagang dari kios lain. Dengan aktifnya kegiatan jual-beli di kios ini maka jumlah kopi/teh yang digunakan setiap harinya cukup banyak yang berdampak pada besarnya jumlah sampah kertas di kios ini.

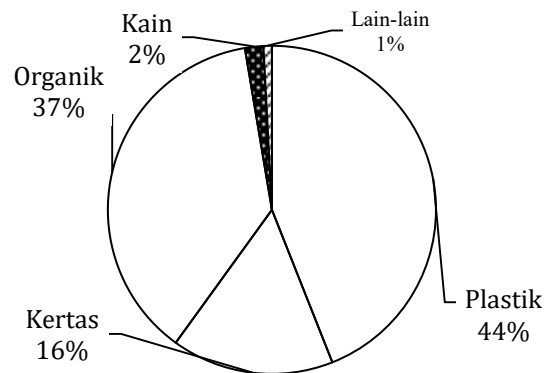
Kios buah-buahan, hasil bumi (umbi-umbian), kelapa, dan pisang sama-sama menghasilkan 100% sampah organik. Hal ini

terjadi karena seluruh barang yang dijual di kios-kios tersebut merupakan bahan organik. Kios-kios tersebut biasanya langsung membuang sampah di sekitar kios tanpa menggunakan wadah (plastik/karung) sehingga tidak ada sampah lain yang dihasilkan selain sampah organik. Sampah organik tersebut antara lain sisa buah yang membusuk dan tidak layak dikonsumsi, kulit singkong dan ubi, ampas dan kulit kelapa, dan sisa pisang yang membusuk.

Kios plastik paling banyak menghasilkan sampah styrofoam. Sampah styrofoam yang dihasilkan berupa wadah pembungkus makanan yang merupakan sisa aktivitas pedagang di dalam kios. Sampah kaleng paling banyak dihasilkan oleh kios pakaian jadi. Kios ini rata-rata memiliki karyawan yang masih muda sehingga lebih tertarik dengan minuman kaleng yang ada di pasaran. Dengan demikian komposisi kaleng minuman yang dihasilkan paling besar dibandingkan kios lainnya. Sampah kaca paling banyak dihasilkan oleh toko perhiasan. Toko perhiasan ini mayoritas karyawannya adalah wanita, dan sampah kaca yang dihasilkan merupakan botol minuman kewanitaan.

Sampah kain terbanyak dihasilkan oleh toko obras/alat jahit. Hal ini terjadi karena toko tersebut tidak hanya menjual peralatan menjahit namun juga melayani obras kain, dengan demikian banyak potongan kain perca yang dibuang. Lain halnya dengan toko kain yang seluruh kainnya untuk dijual sehingga tidak menghasilkan sampah berupa kain. Limbah B3 juga dihasilkan di pasar Ujungberung yaitu berupa baterai. Baterai dihasilkan dari toko daging sapi namun tidak ada hubungannya dengan jenis barang yang dijual. Baterai ini merupakan bekas jam dinding yang dipajang di kios daging sapi tersebut.

Secara umum dapat terlihat pada Tabel diatas bahwa sampah di pasar Ujungberung didominasi oleh sampah plastik, kertas, dan organik. Persentase rata-rata untuk ketiga jenis sampah tersebut secara berturut-turut adalah 42%, 15,22%, dan 35,61 %. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat persen komposisi dari kedelapan jenis sampah yang sudah dikelompokkan sebelumnya pada **Gambar 3** berikut ini.



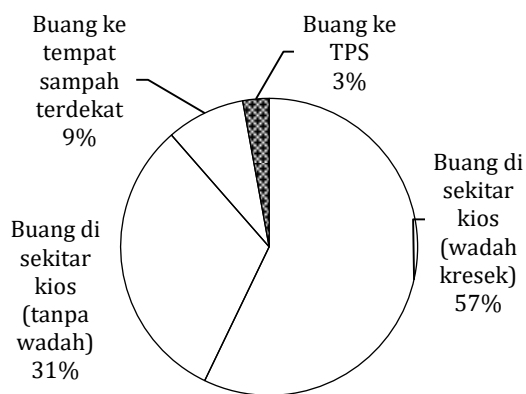
Gambar 3 Komposisi Sampah Pasar Ujungberung

Data komposisi sampah yang diperoleh sangat berguna dalam pemberian alternatif pengolahan sampah yang ada. Dengan jumlah sampah organik yang cukup tinggi yaitu sebesar 35,61 % maka dapat dilakukan pemanfaatan sampah organik tersebut untuk menjadi kompos. Apalagi sampah organik yang dihasilkan adalah sisa sayur dan buah-buahan yang memiliki kadar air dan kelembaban yang baik untuk proses pengomposan.

Untuk menangani sampah terbanyak yaitu plastik, dapat dilakukan pemilahan di lokasi TPS untuk memisahkan sampah plastik sesuai kelompoknya masing-masing. Sampah plastik yang berupa kemasan air minum dapat dimanfaatkan kembali untuk bahan baku pembuatan botol baru dengan cara menyerahkan botol ke agen pengumpulnya. Dengan demikian dapat sangat mengurangi beban TPS dan TPA juga dapat menghasilkan karena sampah kemasan plastik akan dibeli oleh agen pengumpul. Sampah plastik lainnya yang mendominasi komposisi di Pasar Ujungberung adalah penggunaan kantong keresek sebagai wadah utama dalam kegiatan jual-beli. Sebaiknya dilakukan penerapan peraturan baru yang melarang penggunaan plastik/keresek secara berlebihan. Keresek yang sudah ada dapat dimanfaatkan untuk menjadi produk bermanfaat seperti tas yang terbuat dari anyaman plastik dan keresek. Selain itu keresek masih dapat digunakan berulang-ulang sehingga sebaiknya keresek digunakan seoptimal mungkin sesuai prinsip 3R yang pertama yaitu *reduce* yang maksudnya adalah mengurangi sampah di sumber. Menurut hasil wawancara dengan pedagang pasar, sudah mulai ada wacana tentang penggunaan kantong kain untuk berbelanja di pasar, namun penerapannya masih sulit.

Penanganan Sampah

Berdasarkan hasil kuesioner terhadap 85 responden, diketahui bahwa 31% pedagang di Pasar Ujungberung tidak pernah menangani sampah yang mereka hasilkan. Mereka cenderung membuang sampah di sekitar kios/tempat mereka berjualan tanpa menggunakan wadah tertentu. Sedangkan 57% dari pedagang menangani sampahnya dengan cara memasukkannya ke dalam kantong plastik yang disediakan sendiri sehingga memudahkan pengumpulan oleh petugas kebersihan, namun hal ini pun tidak terlalu banyak membantu proses pengumpulan karena kantong plastik tersebut sering kali dibiarkan terbuka sehingga sampah yang ada mudah tumpah dan tercecer. Sisanya sebanyak 9% responden membuang sampahnya ketempat sampah terdekat di sekitar kios mereka dan 3% membuang sampahnya sendiri ke TPS. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4 Penanganan Sampah oleh Pedagang

Pihak PD Kebersihan dan PD Pasar pernah menyebarkan tong/drum di setiap blok pasar sebagai tempat pembuangan sampah agar menjadi lebih teratur dan memudahkan pengangkutan ke TPS oleh petugas. Namun tong/drum tersebut tidak pernah bertahan lama karena mudah hilang. Untuk dapat menghasilkan pelayanan kebersihan yang terbaik, seharusnya seluruh pihak yang terlibat baik penghasil sampah maupun pengangkut sampah saling bekerja sama. Sebaiknya setiap kios atau setiap blok kios disediakan wadah untuk menampung sampah dan apabila ingin membuang sampah ke TPS maupun ingin sampahnya diangkut oleh petugas, maka harus menggunakan wadah tersebut. Apabila sampah dibiarkan tercecer di sekitar kios dan ingin dibersihkan oleh petugas penyapu jalan maka harus dikenakan

pembayaran ekstra. Hal ini dilakukan agar para pedagang pasar dapat lebih peduli terhadap sampah yang mereka hasilkan.

Selain dari pihak para pedagang, perlu dilakukan evaluasi juga terhadap para petugas kebersihan. Berdasarkan hasil kuesioner, 70% dari responden beranggapan bahwa jadwal pengumpulan sampah oleh petugas sebaiknya ditambah. Pengumpulan yang hanya satu kali di pagi hari dirasa tidak cukup apalagi aktivitas jual-beli di pasar berlangsung sejak dini hari sampai malam. Para pedagang berharap agar pengumpulan sampah dilakukan 2 kali sehari pada pagi dan sore hari sehingga kondisi kios mereka lebih bersih dan nyaman. Ketidakpuasan pun terjadi apabila hari libur tiba, karena petugas kebersihan akan libur sementara aktivitas di pasar tak mungkin dihentikan, sehingga berdampak pada ketidaknyamanan baik bagi pembeli maupun pedagang setempat. Pengaturan shift yang baik akan sangat bermanfaat untuk menanggulangi permasalahan ini.

4. KESIMPULAN

Rata-rata timbulan sampah di pasar Ujungberung Bandung berkisar antara 0,004-0,74 kg/m²/hari; 0,02-1,45 kg/karyawan/hari; dan 0,001-0,45 kg/jam operasional/hari, Jumlah rata-rata timbulan maksimum adalah 0,74 kg/m²/hari pada kios ikan segar; 1,45 kg/karyawan/hari pada kios buah-buahan; dan 0,45 kg/jam operasional/hari pada kios makanan jadi. Sedangkan rata-rata timbulan minimum yang diperoleh adalah 0,004 kg/m²/hari pada kios beras, 0,02 kg/karyawan/hari kios hasil bumi (umbi-umbian), dan 0,001 kg/jam operasional/hari pada kios hasil bumi (umbi-umbian). Sementara untuk nilai rata-rata densitas maksimum adalah 394,31 kg/m³ pada kios buah-buahan dan rata-rata densitas minimum adalah 4,32 kg/m³ pada kios plastik. Variasi timbulan dapat dipengaruhi oleh jenis barang yang dijual di setiap kios, banyaknya aktivitas jual-beli, luas kios, jumlah pekerja di setiap kios, dan jam operasional kios.

Meskipun Pasar Ujungberung merupakan pasar tradisional, komposisi sampah terbesarnya bukan didominasi oleh sampah organik melainkan sampah plastik. Hal ini disebabkan oleh heterogenya Pasar Ujungberung sehingga terdapat 30 jenis barang dagangan mulai dari makanan pokok hingga perhiasan. Dengan demikian sampah berupa plastik dapat mendominasi karena

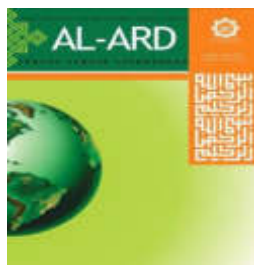
masih digunakan sebagai wadah atau kantong pembungkus.

Pada dasarnya sarana TPS Pasar Ujungberung sudah cukup untuk melayani kebutuhan tempat penampungan sampah sementara pasar, namun karena lokasi pasar yang strategis dan berdekatan dengan rumah penduduk, kawasan pertokoan, dan terminal, maka TPS tersebut bukan lagi menjadi TPS pasar, namun digunakan sebagai TPS umum. Dengan demikian kapasitas TPS tidak mencukupi untuk melayani kebutuhan itu semua.

Penanganan sampah di Pasar Ujungberung kurang mendapat peran dari pedagang/pemilik kios. Seringkali sampah dibiarkan di sekitar lokasi kios yang nantinya pun dapat menyulitkan petugas kebersihan dalam proses pengumpulan dan pengangkutan. Meskipun kebersihan Pasar Ujungberung telah dikelola oleh PD Kebersihan namun itu saja tidak cukup karena diperlukan kerja sama yang baik antara petugas kebersihan dan pedagang pasar selaku konsumen untuk menghasilkan pengelolaan sampah yang lebih baik lagi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aye, L., Widjaya, E.R. (2006). Environmental and Economic Analyses of Waste Disposal Option for Traditional Markets in Indonesia. *Waste Management*. 26:1180-1191.
- Chaerul, M. (2019). Performance of Bioplant for Municipal Solid Waste at Jatnangor Campus of Institut Teknologi Bandung. *E3S Web of Conference*. 148:1-4.
- Hartono, D.M., Kristanto, G.A., Amin, S. (2015). Potential Reduction of Solid Waste Generated from Traditional and Modern Markets. *International Journal of Technology*. 5:838-846.
- Matsui, M., Trang, D.T.T., Thanh, N.P. (2015). Estimation of Waste Generation and Recycling Potention from Tradional Market: A Case Study in Hue City, Vietnam. *Journal of Environmental Protection*. 6:308-320.
- Nengse, S. (2017). Pengaruh Penambahan Kompos pada Tanah untuk Mengurangi Genangan di Kelurahan Bulak, Kecamatan Kenjeran, Kota Surabaya. *Al Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. 2(2):46-52.
- Novita, Indriany. (2002). Studi Alternatif Pengelolaan Sampah di Pasar Caringin. Bandung. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Lingkungan, ITB.
- Pribadi, A. (2015). Pemanfaatan Limbah Kertas Koran sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar dalam Campuran Papercrete Serta Aplikasinya untuk Elemen Struktur Ringan dan Non Struktur Ramah Lingkungan. *Al Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. 1(1):1-10.
- Sari, G.L (2017). Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair. *Al Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. 3(1):6-13.
- Singh, Pratap Rajeev. Singh, Pooja. Araujo, Ademir S. F. Ibrahim, Hakimi. Sulaiman, Othman. (2011). Management of Urban Solid Waste: Vermicomposting A Sustainable Option. *Resources, Conversation, and Recycling*. 55(7):719-729.
- Sukresno, H., Hakim, A., Wike, Afandhi, A. (2019). Evaluation of Solid Waste Management Regulation in Minulyo Traditional Market, Pacitan Regency, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 10(5):806-814.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, Samuel A. (1993). Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. Singapore: McGrawHill Book Co.
- Ubaidillah, Z., Sumarjo, J., Widiyanto, E., Hanifi, R. (2018). Pemanfaatan Sampah Plastik dan Organik dalam Pembuatan *Paving Block* menggunakan Mesin Press. *Al Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(1):1-10.



Pengaruh Waktu Tinggal dan Media Tanam pada *Constructed Wetland* untuk Mengolah Air Limbah Industri Tahu

Muhammad Al Kholif¹, Pungut², Sugito³, Joko Sutrisno⁴, Winda Sulistyo Dewi⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas PGRI Adi Buana (UNIPA) Surabaya, Indonesia

alkholif87@unipasby.ac.id

Abstract

Tofu industry waste pollution is still a serious problem. The high burden of tofu industrial waste pollutants is still a major problem. Besides, the unavailability of the budget for processing and the limitations of a cheap and efficient treatment system are factors supporting the pollution of tofu waste in the environment. This study examines the efficiency of reducing BOD₅ and COD treated with constructed wetlands using water jasmine plants (*Enchinodorus palaeifolius*). The system used is the wetland subsurface with continuous flow. The media used include sand and biochar with a residence time of 12 hours 18 hours. Whereas pH, temperature, and flow rate are conditioned as control variables. The greatest efficiency of BOD₅ and COD occurs in reactors using biochar media and a residence time of 18 hours with an efficiency of BOD₅ of 50.52% and COD of 55.02%.

Keyword: *Constructed Wetland*, BOD, COD, Media, Hydraulic Retention Time

Abstrak

Pencemaran limbah industri tahu masih menjadi masalah yang serius. Tingginya beban pencemar limbah industri tahu masih menjadi masalah utama. Selain itu tidak tersedianya anggaran untuk pengolahan serta keterbatasan sistem pengolahan yang murah dan efisien menjadi faktor pendukung pencemaran limbah tahu pada lingkungan. Penelitian ini mengkaji efisiensi penurunan BOD₅ dan COD yang diolah dengan constructed wetland menggunakan tanaman melati air (*Enchinodorus palaeifolius*). Sistem yang digunakan adalah subsurface wetland dengan aliran continue. Media yang digunakan meliputi pasir dan biochar dengan waktu tinggal 12 jam 18 jam. Sedangkan pH, suhu, dan debit aliran dikondisikan sebagai variabel kontrol. Efisiensi BOD₅ dan COD terbesar terjadi pada reaktor yang menggunakan media biochar dan waktu tinggal 18 jam dengan efisiensi BOD₅ sebesar 50,52% dan COD sebesar 55,02%.

Kata Kunci: *Constructed Wetland*, BOD, COD, Media Tanam, Waktu Tinggal

1. PENDAHULUAN

Dunia industri dewasa ini telah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Selain berdampak positif dengan memberikan sumbangan besar terhadap perekonomian, industri juga memberikan dampak negatif seperti penurunan kualitas lingkungan. Salah satu industri yang sedang berkembang saat ini adalah industri tahu. Perkembangannya terlihat dari tingginya konsumsi tahu oleh masyarakat yang mencapai 0,157 kg pada tahun 2017 dan 0,158 kg per kapita dalam seminggu pada tahun 2018 (BPS, 2019).

Permasalahan yang sering muncul terkait industri tahu adalah masalah

pengolahan limbah, dimana limbah tahu memiliki kandungan pencemar seperti BOD sebesar 5000-10.000 mg/L dan COD 7000-12.000 mg/L serta tingkat kemasaman yang sangat rendah, yaitu 4-5 (Hikmah, 2016). Nilai tersebut tentunya sangat jauh dari standard baku mutu yang ditetapkan, sehingga sangat berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan. Selain itu sebagian besar industri tahu masih merupakan industri kecil skala rumah tangga, yang mana tidak tersedia anggaran yang cukup untuk mengolah limbah tahu yang dihasilkan. Keterbatasan sistem pengolahan air limbah yang murah dan efisien

juga menjadi kendala dalam mengolah limbah industri tahu.

Constructed wetland merupakan sistem pengolahan air limbah yang efisien, sederhana, murah, dan mudah dioperasikan karena prinsipnya meniru prinsip alamiah yang terjadi di lahan basah alami seperti rawa-rawa dan laguna (Gupta et al., 2016). Menurut (Y. Zhang, 2012), sistem ini didesain dengan memanfaatkan proses alamiah yang melibatkan tumbuhan, media, dan mikroorganisme yang saling berinteraksi dimana mikroorganisme nantinya akan menempel pada akar tanaman air sedangkan tanaman air menghasilkan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme sehingga tercipta kondisi aerobik yang mendukung penguraian tersebut.

Tanaman yang akan diterapkan dalam proses fitoremediasi adalah melati air (*Echinodorus palaefolius*). Hal itu dikarenakan pertumbuhannya yang mudah dan cepat sehingga nantinya saat digunakan pada sistem *constructed wetland* dapat beradaptasi dengan mudah. Selain tanaman, media tanam juga memiliki peran penting dalam proses *constructed wetland*. Media tanam merupakan tempat tumbuh tanaman sekaligus berinteraksi langsung dengan polutan melalui proses penyerapan. Berbagai media buatan telah diuji untuk meningkatkan kemampuan *constructed wetland*, namun untuk menemukan media filter yang sesuai dengan biaya rendah dalam sistem *constructed wetland* merupakan masalah penting. Salah satu media yang sedang diupayakan saat ini adalah biochar. Menurut (Gupta et al., 2016) biochar merupakan limbah biomassa pertanian yang multifungsi untuk aplikasi pertanian dan lingkungan serta memiliki kemampuan untuk memulihkan kontaminan organik dan anorganik. Selain itu biochar diketahui memiliki struktur yang sangat berpori, mengandung berbagai gugus fungsi dan terbukti efektif dalam adsorpsi logam berat (D. Q. Zhang et al., 2014).

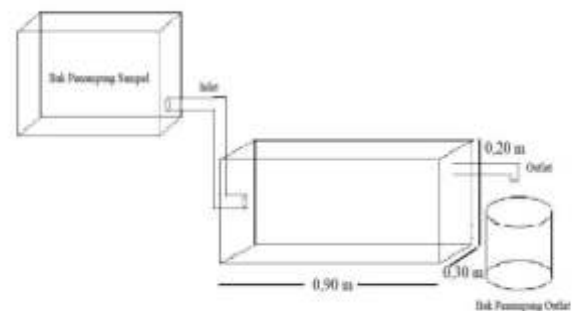
Penelitian yang dilakukan (Gupta et al., 2016) menggunakan media biochar tempurung kelapa dalam waktu tinggal 3 hari diketahui memiliki efisiensi penghilangan COD sebesar 91,3%. Sedangkan (Vijay et al., 2017) diketahui efisiensi penyisihan BOD dan COD yang menggunakan media campuran biochar dan tanah dengan waktu tinggal 24 jam masing-masing adalah 95% dan 86%.

Penelitian lain yang dilakukan (Pungut & Al Kholif, 2016), diketahui *constructed wetland* yang berbentuk parit dengan media tanam pasir kasar dan bertanaman keladi air, serta menggunakan waktu tinggal 24 jam.

Proses ini akan membandingkan efisiensi penggunaan pasir dan biochar sebagai media tanam dengan waktu tinggal 12 jam dan 18 jam serta menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) terhadap penurunan kadar COD dan BOD pada limbah cair industri tahu. Diketahui waktu tinggal 18 jam dengan media biochar mampu menyisihkan beban pencemar lebih tinggi yaitu BOD₅ sebesar 50,52% dan COD sebesar 55,02%.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen terapan untuk mengetahui kemampuan tanaman melati air dalam sistem *constructed wetland* pada media pasir dan biochar dalam menurunkan kandungan BOD dan COD air limbah industri tahu. Rancangan penelitian digambarkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Desain Sistem Pengolahan Air Limbah

Sistem *constructed wetland* yang digunakan adalah sistem *subsurface wetland* dengan aliran *continue* dan menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*). Waktu tinggal yang digunakan yaitu 12 jam dan 18 jam dengan debit aliran 0,0027 m³/jam baik pada *inlet* maupun *outlet*. Media tanam yang digunakan yaitu pasir yang mempunyai diameter 2-5 mm dan biochar. Biochar yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari pasar lokal. Ukuran partikel bervariasi dengan permukaan kasar dan heterogen. Hasil uji porositas didapatkan porositas media pasir adalah 0,48 sedangkan media biochar 0,60. Reaktor yang digunakan terbuat dari kaca dengan ketebalan 5 mm. Untuk memperoleh dimensi ukuran reaktor dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Volume air limbah yang masuk pada wetland

$$V = Q \times t_d \quad (1)$$

Sehingga:

a. Waktu Tinggal 12 Jam

$$V = 0,0027 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam} = 0,0324 \text{ m}^3$$

b. Waktu Tinggal 18 Jam

$$V = 0,0027 \text{ m}^3/\text{jam} \times 18 \text{ jam} = 0,0486 \text{ m}^3$$

Volume reaktor yang dibutuhkan diperoleh dengan memperhatikan hasil uji porositas media yang digunakan. Adapun volume reaktor yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$V_{\text{Reaktor}} = \frac{V_{\text{air yang masuk ke wetland}}}{\text{Porositas}_{\text{Media}}} \quad (2)$$

Sehingga:

a. Reaktor A: Media Pasir – Waktu Tinggal 12 Jam

$$V = \frac{0,0324 \text{ m}^3}{0,48} = 0,0675 \text{ m}^3$$

b. Reaktor B: Media Pasir – Waktu Tinggal 18 Jam

$$V = \frac{0,0486 \text{ m}^3}{0,48} = 0,10125 \text{ m}^3$$

c. Reaktor C: Media Biochar Sekam Padi – Waktu Tinggal 12 Jam

$$V = \frac{0,0324 \text{ m}^3}{0,60} = 0,054 \text{ m}^3$$

d. Reaktor D: Media Biochar Sekam Padi – Waktu Tinggal 18 Jam

$$V = \frac{0,0486 \text{ m}^3}{0,60} = 0,081 \text{ m}^3$$

Ukuran reaktor dibuat sesuai dengan hasil perhitungan volume reaktor yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini digunakan 4 buah reaktor. Panjang dan lebar setiap reaktor yang digunakan adalah sama, berturut-turut yaitu 0,90 m dan 0,30 m. Adapun tinggi reaktor sesuai perhitungan berikut:

$$t = \frac{V}{P \times l} \quad (3)$$

Sehingga:

a. Reaktor A: Media Pasir – Waktu Tinggal 12 Jam

$$t = \frac{0,0675 \text{ m}^3}{0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}} = 0,25 \text{ m}$$

b. Reaktor B: Media Pasir – Waktu Tinggal 18 Jam

$$t = \frac{0,10125 \text{ m}^3}{0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}} = 0,375 \text{ m}$$

c. Reaktor C: Media Biochar Sekam Padi – Waktu Tinggal 12 Jam

$$t = \frac{0,054 \text{ m}^3}{0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}} = 0,20 \text{ m}$$

d. Reaktor D: Media Biochar Sekam Padi – Waktu Tinggal 18 Jam

$$t = \frac{0,081 \text{ m}^3}{0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}} = 0,30 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka diperoleh ukuran masing-masing reaktor sebagai berikut:

$$\text{Reaktor A} = 0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Reaktor B} = 0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 0,375 \text{ m}$$

$$\text{Reaktor C} = 0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Reaktor D} = 0,90 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$$

Berikutnya tahap aklimatisasi tanaman, dilakukan dengan tujuan agar tanaman bisa beradaptasi dengan air limbah dan media tanam yang baru. Tanaman melati air diseleksi berdasarkan kriteria yaitu melati air yang berumur lebih kurang 2 bulan dengan kesamaan ukuran batang dan daun tanaman, selanjutnya dicuci dan dilakukan aklimatisasi. Aklimatisasi tanaman berlangsung selama $\pm$ 14 hari dengan kriteria 2 hari menggunakan air bersih, 4 hari menggunakan 25% air limbah, 4 hari menggunakan 50% air limbah, dan 4 hari menggunakan 100% air limbah. Tanda proses aklimatisasi telah berlangsung adalah dengan adanya perubahan morfologi pada daun, batang, dan akar. Adapun pH dan suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman melati air adalah pH 4,5–7 dengan rentang suhu antara 25–35 °C (Setiyanto et al., 2016).

Setelah semua proses telah dilakukan, selanjutnya dilakukan proses *Constructed Wetland*, air limbah tahu dilewatkan di dalam *Constructed Wetland* melalui bak penampung sampel dalam rentang suhu 25–35 °C dan pH 4,5–7. Laju aliran rata-rata yang digunakan adalah 0,0027 m³/jam untuk setiap unit reaktor. Sampel air hasil perlakuan dikumpulkan setiap 12 jam dan 18 jam dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Kemudian dibawa ke laboratorium yang telah ditentukan untuk dianalisa kadar BOD₅ dan COD. Efisiensi penurunan beban pencemar dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Penurunan (\%)} = \frac{C_o - C_i}{C_o} \times 100 \% \quad (4)$$

Dimana:

C_o = Konsentrasi BOD₅/COD Inlet

C_i = Konsentrasi BOD₅/COD Outlet

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Limbah Tahu

Sampel air limbah yang digunakan dalam penelitian merupakan limbah cair industri tahu yang diperoleh dari *home* industri yang berada di Desa Kemantren RT 06 RW 01 Kecamatan Tulangan, Sidoarjo. Kondisi fisik air limbah yaitu berwarna kuning keruh, berbau asam, dan terdapat gumpalan-gumpalan ampas tahu berukuran kecil. Untuk digunakan dalam penelitian ini, dilakukan pengolahan awal pada limbah cair industri tahu yaitu penyaringan sederhana. Dari data awal diperoleh kadar BOD sebesar 1899,9 mg/L dan kadar COD sebesar 4895,9 mg/L. Nilai pH pada semua reaktor rata-rata berkisar antara 6,4-6,6 dengan kadar suhu antara 25,5-27,1 °C pada *inlet* dan antara 25,7-26,9 °C pada *outlet*.

Aklimatisasi Tanaman

Proses aklimatisasi bertujuan agar tanaman dapat menyesuaikan diri dengan air limbah dan media tanam yang baru. Tanaman melati air diseleksi berdasarkan kriteria yaitu melati air yang berumur kurang lebih 2 bulan dengan kesamaan ukuran batang dan daun tanaman. Adapun tanaman melati air yang digunakan memiliki panjang batang kurang lebih 50 cm dengan panjang daun antara 20-27 cm. Masing-masing reaktor terdiri dari 3 buah tanaman melati air dengan jumlah batang untuk masing-masing tanaman antara 5-7 tangkai, sedangkan diameter masing-masing batang antara 0,5-1 cm.

Proses Aklimatisasi tanaman berlangsung selama 14 hari dengan kriteria 2 hari menggunakan air bersih, 4 hari menggunakan 25% air limbah, 4 hari menggunakan 50% air limbah, dan 4 hari menggunakan 100% air limbah. Proses aklimatisasi dikatakan selesai manakala ada pertumbuhan tunas baru atau adanya perubahan morfologi pada daun, batang, dan akar. Adapun pH dan suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman melati air adalah pH 4,5-7 dengan rentang suhu antara 25-35 °C (Setiyanto et al., 2016). Pengukuran pH dan suhu dilakukan setiap hari yaitu sebelum melewati reaktor untuk *inlet* dan setelah melewati reaktor untuk *outlet*.

Secara keseluruhan nampak nilai pH dan suhu selama proses aklimatisasi tanaman merupakan nilai pH dan suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman melati air. Seperti hal

nya hasil yang diperoleh oleh (Setiyanto et al., 2016), nilai pH dan suhu selama proses aklimatisasi tanaman adalah pH 6,2 dengan suhu antara 29° C, yang menandakan bahwa kondisi lingkungan berlangsung baik.

Pengukuran Variabel Kontrol

Pengukuran variabel kontrol dilakukan agar variabel kontrol tidak memberikan pengaruh terhadap pengolahan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu:

a. pH

Perubahan pH mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme karena sebagian besar mikroorganisme tidak dapat mentoleransi level pH di bawah 4,0 atau pH di atas 9,5 (Kaswinarni, 2007). Selain itu dalam sistem *constructed wetland* nilai pH yang diharapkan adalah netral atau mendekati netral, karena dengan nilai pH netral akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis tanaman dan aktivitas mikroorganisme dalam air limbah (Sari et al., 2015). Pengukuran pH pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pH meter dan dilakukan pada saat pengambilan sampel *inlet* maupun *outlet*.

Secara keseluruhan nampak nilai pH dari semua reaktor baik *inlet* maupun *outlet* adalah konstan, tidak ada perubahan nilai pH secara drastis. Nilai pH cenderung netral dengan rentang antara 6,3-6,6. Hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Ratnawati & Talarima, 2017) yang mana diperoleh nilai pH *influen* dan *effluen* adalah pH 7. Dengan nilai pH air limbah yang netral menandakan bahwa kondisi lingkungan dalam sistem *constructed wetland* berlangsung baik.

b. Suhu

Pengukuran suhu penting dilakukan pada air limbah, karena proses pengolahan secara biologi terjadi pada kondisi mesofilik dengan kisaran suhu yaitu antara 20-45 °C. Kondisi mesofilik merupakan kondisi suhu yang optimum untuk menguraikan bahan organik, sehingga perlu dipertahankan secara konstan (Kaswinarni, 2007). Suhu air limbah nantinya akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme maupun tanaman, sehingga akan mempengaruhi kinerja pengolahan air limbah yang masuk ke dalam reaktor *constructed wetland* yang akan digunakan (Astuti et al., 2017). Selain

itu untuk pertumbuhan tanaman melati air sendiri kondisi optimumnya yaitu 25–35 °C (Setiyanto et al., 2016). Pengukuran suhu pada penelitian ini dilakukan pada saat pengambilan sampel *inlet* maupun *outlet* dan diukur menggunakan *thermometer*.

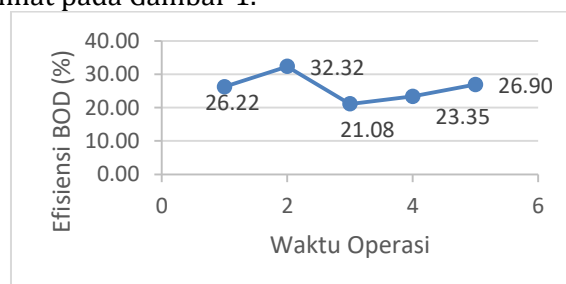
Secara keseluruhan nampak nilai suhu dari semua reaktor baik *inlet* maupun *outlet* adalah konstan, tidak ada perubahan nilai suhu secara drastis. Nilai suhu normal dengan rentang antara 25,6–27,1°C. Hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Ratnawati & Talarima, 2017) yang mana diperoleh nilai suhu pada influen dan effluen berkisar antara 27–29°C, yang menandakan bahwa kondisi lingkungan dalam sistem *constructed wetland* berlangsung baik.

c. Debit

Pengukuran debit dilakukan menggunakan *stopwatch* dan gelas ukur 50 mL. Debit air limbah pada penelitian ini yaitu 0,0027 m³/jam. Untuk mempermudah pengukuran maka debit air limbah dikonversi menjadi 45 mL/menit. Diketahui nilai debit baik *inlet* maupun *outlet* masing-masing reaktor menunjukkan nilai yang konstan dengan kisaran 43,5–45,5 mL/menit, sehingga pengaturan debit pada masing-masing reaktor sudah sesuai dengan perencanaan.

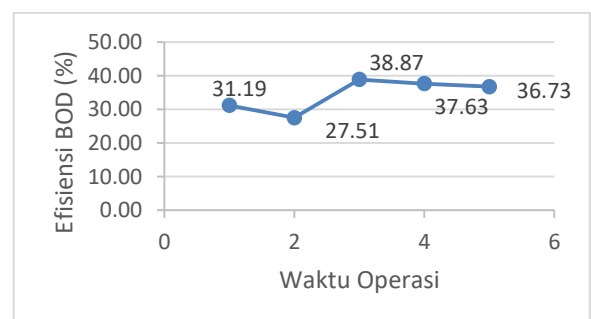
Analisa Kadar BOD₅ dan COD

Proses pengolahan dimulai dengan mengalirkan limbah cair industri tahu ke dalam reaktor secara *continue*. Pengambilan sampel *inlet* dan *outlet* dilakukan sesuai variasi variabel bebas yaitu 12 jam dan 18 jam baik pada media pasir maupun media biochar. Masing-masing variasi variabel bebas dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Selanjutnya sampel *inlet* dan *outlet* yang didapat di analisis kadar BOD₅ sesuai metode uji *titrimetri* (SNI 06-6989.72-2009). Adapun efisiensi kadar BOD₅ pada reaktor A dapat dilihat pada Gambar 1.



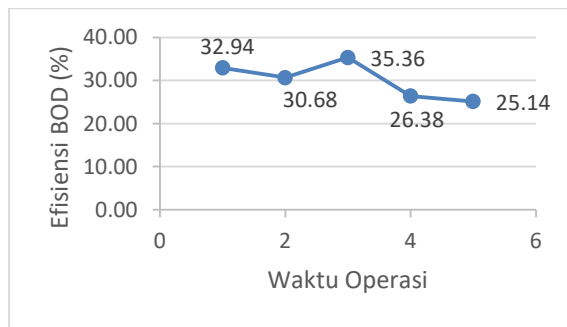
Gambar 1 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar BOD₅ pada Reaktor A

Gambar 1 menunjukkan adanya penurunan pada kadar BOD₅ tertinggi terjadi pada waktu operasi 12 jam ke-2 dengan efisiensi penyisihan sebesar 32,32%. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu operasi 12 jam ke-2, penyerapan tanaman bekerja pada kondisi yang optimum dalam menguraikan bahan organik yang ada pada air limbah (Sari et al., 2015). Penerapan *constructed wetland* dengan menggunakan aliran permukaan vertikal berkontribusi dalam menghilangkan polutan, namun semua itu tergantung pada distribusi kontaminan antara fase larut dan partikulat yang mengarah kepada penyimpanan logam dan Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) (Schmitt et al., 2015). Efisiensi kadar BOD₅ pada reaktor B disajikan di Gambar 2.



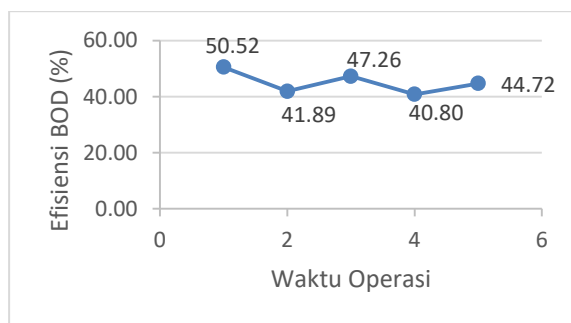
Gambar 2 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar BOD₅ pada Reaktor B

Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan kadar BOD₅ tertinggi terjadi pada waktu operasi 18 jam ke-3 dengan efisiensi penyisihan sebesar 38,87%. Jika dilihat pada Gambar 2 dan 3 diketahui waktu tinggal 18 jam mampu menurunkan kadar BOD₅ lebih tinggi dibandingkan waktu tinggal 12 jam. Penelitian yang dilakukan oleh (Sukmawati & Pungut, 2014) diketahui efisiensi penyisihan kadar BOD₅ pada air limbah domestik rumah sakit yang menggunakan media pasir dengan waktu tinggal 2 hari sebesar 59 %. Sedangkan *wetland* laut diakui sebagai beberapa sumber daya alam paling berharga di dunia, dan mereka mendukung keduanya sebagai kesejahteraan manusia dan ekonomi sosial (Barbier EB et al., 2011; Costanza et al., 2008; Walters et al., 2008). Berikutnya efisiensi kadar BOD₅ pada reaktor C dapat dilihat pada Gambar 3.



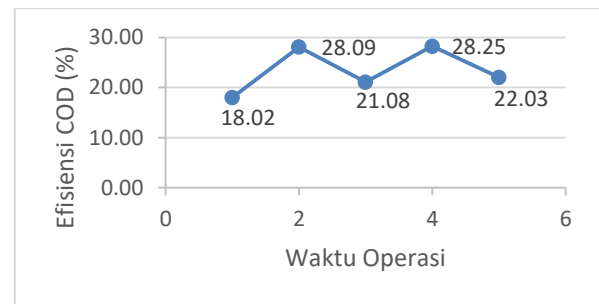
Gambar 3 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar BOD₅ pada Reaktor C

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar BOD₅ tertinggi terjadi pada waktu operasi 12 jam ke-3 dengan efisiensi penyisihan sebesar 35,36%. Penggunaan wetland dengan sistem pengolahan terapung yang dipasang secara paralel mampu meningkatkan efisiensi penghilangan kadar Phospor sebesar 27% lebih rendah jika dibandingkan dengan kolam konvensional (Borne, 2014). Efisiensi kadar BOD₅ pada reaktor D dapat dilihat pada Gambar 4.



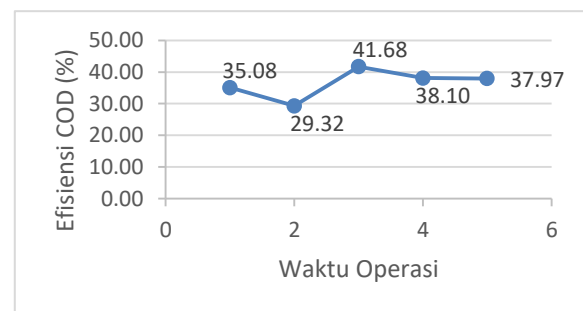
Gambar 4 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar BOD₅ pada Reaktor D

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar BOD₅ tertinggi terjadi pada waktu operasi 18 jam ke-1 dengan efisiensi penyisihan sebesar 50,52%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Vijay et al., 2017), yaitu aplikasi *constructed wetland* menggunakan tanaman *Typha latifolia* dalam menurunkan kadar BOD₅ air limbah domestik menggunakan media campuran biochar dan tanah dengan waktu tinggal 24 jam mampu menurunkan kadar BOD₅ dengan efisiensi sebesar 95%. Perbedaan efisiensi ini dikarenakan beban pencemar BOD₅ mencapai 1513,5–2821,4 mg/L. Adapun efisiensi kadar COD pada reaktor A dapat dilihat pada Gambar 5.



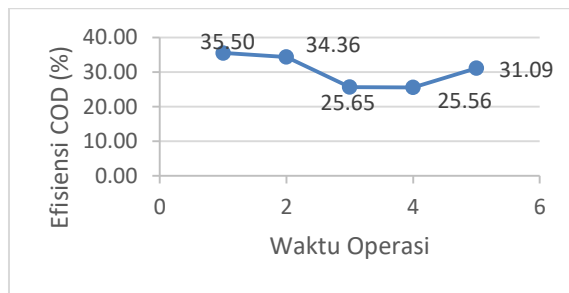
Gambar 5 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar COD pada Reaktor A

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi terjadi pada waktu operasi 12 jam ke-4 dengan efisiensi penyisihan sebesar 28,25%. Penggunaan *constructed wetland* untuk mengolah kadar COD pada stormwater dari jaringan selokan terpisah pada daerah tangkapan air perkotaan di perumahan Strasbourg mampu menyisihkan COD sebesar 70-98% (Schmitt et al., 2015). Efisiensi kadar COD pada reaktor B dapat dilihat pada Gambar 6.



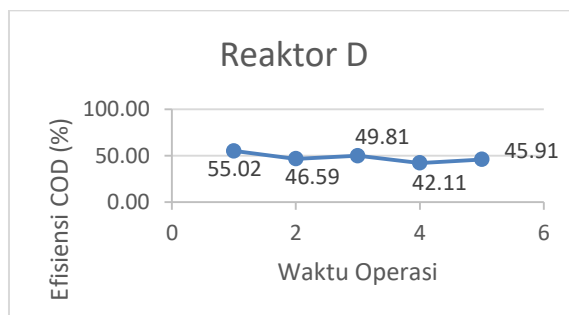
Gambar 6 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar COD pada Reaktor B

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi terjadi pada waktu operasi 18 jam ke-3 dengan penyisihan sebesar 41,68%. Jika dilihat pada Gambar 5 dan 6 diketahui waktu tinggal 18 jam mampu menurunkan kadar COD lebih tinggi dibandingkan waktu tinggal 12 jam. *constructed wetland* yang berbentuk parit dengan media tanam pasir kasar dan ditanami keladi air, serta menggunakan waktu tinggal 24 jam dapat mereduksi kadar COD dengan tingkat efisiensi 57,88%. Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu lama waktu tinggal berpengaruh nyata terhadap efisiensi beban pencemar (Pungut & Al Kholif, 2016). Berikutnya efisiensi kadar COD pada reaktor C dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar COD pada Reaktor C

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi terjadi pada waktu operasi 12 jam ke-1 dengan efisiensi penyisihan sebesar 35,50%. Wetland membentuk ekosistem yang penting untuk menjaga kualitas lingkungan, habitat ikan dan spesies satwa liar, dan kebutuhan manusia lainnya (Costanza, 2006; Tiner, 2011) Selanjutnya efisiensi kadar COD pada reaktor D dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Efisiensi Penyisihan Kadar COD pada Reaktor D

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan kadar COD tertinggi terjadi pada waktu operasi 18 jam ke-1 dengan efisiensi penyisihan sebesar 55,02%. Penelitian yang dilakukan (Gupta et al., 2016) menggunakan media biochar tempurung kelapa dalam waktu tinggal 3 hari diketahui efisiensi penghilangan COD sebesar 91,3%. Nilai tersebut cukup jauh jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini, hal itu dikarenakan waktu tinggal yang lebih lama serta debit aliran yang lebih kecil yaitu sebesar $1,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$ sedangkan pada penelitian ini $0,0027 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Aplikasi *constructed wetland* menggunakan tanaman *Typha latifolia* dalam menurunkan kadar COD air limbah domestik menggunakan media campuran biochar dan tanah dengan waktu tinggal 24 jam mampu menurunkan kadar COD dengan efisiensi sebesar 86% (Vijay et al., 2017). Hal tersebut diperkuat oleh (Nurhasmawaty, 2008) yang

menyebutkan bahwa efisiensi penyisihan COD menggunakan biofilter aerob dengan nilai COD awal 750 mg/L dan 1000 mg/L serta waktu tinggal 9 jam berturut-turut adalah 62,36% dan 46,15%, sehingga semakin besar konsentrasi COD awal pada air limbah, maka efisiensi penyisihannya akan semakin kecil.

Jika dibandingkan antara reaktor dengan media pasir dan reaktor dengan media biochar, diketahui reaktor dengan media biochar mampu menurunkan kadar COD lebih tinggi dibandingkan reaktor dengan media pasir. Hal itu dikarenakan biochar memiliki struktur yang sangat berpori, yang dapat memulihkan kontaminan organik dan anorganik, serta meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme penting dalam tanah (Gupta et al., 2016). Biochar juga dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, sifat fisik tanah, serta aktivitas mikroba yang diperlukan untuk tanaman (Tapani, 2018).

Penurunan kadar beban pencemar BOD_5 dan COD pada air limbah industri tahu dapat terjadi karena adanya interaksi antara tanaman, media serta mikroorganisme dalam air limbah. Media tanam memiliki peran penting karena berfungsi sebagai tempat menempelnya mikroorganisme, juga berperan dalam menyokong tanama air, serta membantu proses filtrasi dan menampung sedimen (Ratnawati & Talarima, 2017). Sehingga baik jenis media maupun lama waktu tinggal sangat berpengaruh terhadap sistem *constructed wetland*. Selain itu tanaman melati air juga terbukti efektif dalam menurunkan beban pencemar BOD_5 dan COD. Hal itu dikarenakan melati air memiliki sistem perakaran yang letaknya di dasar perairan, kuat, panjang dan menjalar sehingga sangat efektif dalam memperluas area tempat mikroorganisme melekat (Kasman et al., 2018; Sukmawati & Pungut, 2014).

Mekanisme penurunan beban pencemar BOD_5 dan COD dari limbah cair industri tahu yang diolah dengan *constructed wetland* disebabkan karena keberadaan mikroorganisme aerob pada sistem perakaran tanaman melati air dan bakteri heterotrof dalam air limbah. Penyisihan beban pencemar terjadi melalui proses fisika, kimia dan biologi yang kompleks antara media tanam, tanaman dan mikroorganisme. Tanaman melati air mendapatkan bahan organik sebagai nutrisi melalui proses dekomposisi bahan organik oleh jaringan akarnya. Bahan organik merupakan nutrisi dalam bentuk karbon,

nitrogen dan energi. Penyediaan oksigen terjadi melalui proses *fotosintesis*. Akar tumbuhan di bawah permukaan air mengeluarkan oksigen dan membentuk zona *rizosfer* yang kaya oksigen. Oksigen dialirkan ke akar melalui batang secara difusi pada pori-pori daun.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa efisiensi penurunan kadar BOD₅ dan COD tertinggi terjadi pada reaktor yang menggunakan media biochar dan waktu tinggal 18 jam dengan efisiensi penyisihan sebesar 50,52% untuk BOD₅ dan 55,02% untuk COD. Pemilihan jenis tanaman akan berpengaruh terhadap keberhasilan dalam mereduksi pencemar pada industri tahu.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (2019). *Rata-Rata Konsumsi per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting Tahun 2007-2018*.
- Astuti, A. D., Lindu, M., Yanidar, R., & Kleden, M. M. (2017). Kinerja Subsurface Constructed Wetland Multilayer Filtration Tipe Aliran Vertikal Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetivera Zozanoides*) Dalam Penyisihan BOD Dan COD Dalam Air Limbah Kantin. *Penelitian Dan Karya Ilmiah*, 1(2), 91–108. <https://doi.org/10.25105/pdk.v1i2.1456>
- Barbier EB, Hacker SD, Kennedy C, Koch EW, Stier AC, & Silliman BR. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2)(2), 169–193.
- Borne, K. (2014). Floating treatment wetland influences on the fate and removal performance of phosphorus in stormwater retention ponds. *Ecological Engineering*, 69, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.062>
- Costanza, R. (2006). Nature: Ecosystems without commodifying them [2]. *Nature*, 443, 749; author reply 750. <https://doi.org/10.1038/443749b>
- Costanza, R., Maqueo, O. P., Martinez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., & Mulder, K. (2008). Applying a Reverse Auction to Reduce Stormwater Runoff Trading Allowances for Stormwater Control: Hydrology and Opportunity Costs Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory Sustainable Technologies Division Sustainabl. *Journal of the Human Environment*, 37(4), 241–248. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2008\)37](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2008)37)
- Gupta, P., Ann, T. W., & Lee, S. M. (2016). Use of biochar to enhance constructed wetland performance in wastewater reclamation. *Environmental Engineering Research*, 21(1), 36–44. <https://doi.org/10.4491/eer.2015.067>
- Kasman, M., Riyanti, A., Sy, S., & Ridwan, M. (2018). Reduksi pencemar limbah cair industri tahu dengan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam sistem kombinasi constructed wetland dan filtrasi. *Jurnal Litbang Industri*, 8(1), 39. <https://doi.org/10.24960/jli.v8i1.3832.39-46>
- Kaswinarni, F. (2007). Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat Dan Cair Industri Tahu (Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal, dan Gagak Sipat Boyolali). In *Universitas Diponegoro*.
- Nurhasmawaty, P. (2008). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Proses Biofilter Aerobik. In *Jurnal Teknik Kimia*.
- Pungut, & Al Kholif, M. (2016). Pemanfaatan Parit Drainase Sebagai Wetland Untuk Mendegradasi Cemar Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik WAKTU*, 14(1), 8–14.
- Ratnawati, R., & Talarima, A. (2017). Subsurface (SSF) Constructed Wetland Untuk Pengolahan Air Limbah Laundry. *Teknik Waktu*, 15(2), 1–6.
- Sari, P., Sudarno, & Wisnu, I. (2015). Pengaruh Jumlah Tanaman *Cyperus Alternifolius* Dan Waktu Tinggal Limbah Dalam Penyisihan Kadar Ammoniak, Nitrit, Dan Nitrat (Studi Kasus : Pabrik Minyak Kayu Putih). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 1–9.
- Schmitt, N., Wanko, A., Laurent, J., Bois, P., Molle, P., & Mosé, R. (2015). Constructed wetlands treating stormwater from separate sewer networks in a residential Strasbourg urban catchment area: Micropollutant removal and fate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4), 2816–2824.

- <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.10.008>
- Setiyanto, R. A., Darundiati, Y. H., & Joko, T. (2016). Efektivitas Sistem Constructed Wetlands Kombinasi Malati Air (*Echinodorus Palaefolius*) dan Karbon Aktif Dalam Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Rumah Sakit Banyumanik Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 4(1), 436–441.
- Statistik, B. P. (2019). *Rata-Rata Konsumsi per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting Tahun 2007-2018*.
- Sukmawati, I. W. S., & Pungut. (2014). Removal Cemar BOD, COD, Phosphat (PO₄) Dan Detergen Menggunakan Tanaman Melati Air Sebagai Metode Constructed Wetland dalam Pengolahan Air Limbah. *Teknik Waktu*, 12(1), 24–34.
- Tapani, N. (2018). *Benefits of Biochar and its Applications for Runoff Water Management Literature Review and Laboratory Report*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141397/Nick_Tapani.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tiner, R. W. (2011). Dichotomous Keys and Mapping Codes for Wetland Landscape Position, Landform, Water Flow Path, and Waterbody Type Descriptors. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004=1&isAllowed=y>
- Vijay, M. V., Sudarsan, J. S., & Nithiyanantham, S. (2017). Sustainability of constructed wetlands in using biochar for treating wastewater. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10(3), 1056–1061. <https://doi.org/10.7324/RJC.2017.1031738>
- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220–236. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Ng, W. J., & Tan, S. K. (2014). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries - A review of recent developments (2000-2013). *Journal of Environmental Management*, 141, 116–131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.015>
- Zhang, Y. (2012). Design of a Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse in Mount Pleasant , Utah. *Master Thesis*, 1–98. <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1232&context=gradreports>