PROSIDING

Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan IV

Convention Hall Unand, 23 September 2021

"Inovasi Sains dan Teknologi Lingkungan untuk mendukung Sustainable Development Goals"

Prosiding online:
hhtp://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

ISSN (Print) :2356-4938
ISSN (Online) :2541-3880

ISSN (Print) 2356-4938
ISSN (Online) 2541-3880

DEWAN REDAKSI

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan

Sekretariat:
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik
Universitas Andalas, Padang
Kampus Unand Limau Manis Padang 25163
Email: snstl@eng.unand.ac.id

Pelindung:
Prof. Ikhwana Elfitri, PhD

Penanggung jawab:
Rizki Aziz, PhD

Ketua Panitia:
Dr. Eng Alqadri Asri Putra

Reviewer
Prof. Vera Surtia Bachtiar, Ph.D
Dr. Puti Sri Komala
Dr. Fadjar Goembira
Dr. Eng Shinta Indah
Rizki Aziz, Ph.D
Dr. Eng Denny Helard
Dr.Eng Zulkarnaini
Dr. Eng Slamet Raharjo
Yenni Ruslinda, MT
Budhi Primasari, MSc

Penyunting Pelaksana:
Budhi Primasari, M.Sc (Koordinator)
Tivany Edwin, M.Eng
Iqbal Putra
Ghofar Mulki
Citra Dara Zulvia K.
Reski Anggika
Meuthia Melliaroza
Ayu Ardhinni
Agung Prajimeko

ISSN (Print) 2356-4938
ISSN (Online) 2541-3880

KATA PENGANTAR

Alhamdulillaah. puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT bahwa Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV ini dapat diselenggarakan secara online oleh Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas.

Seminar Nasional Sains & Teknologi Lingkungan (SNSTL) adalah seminar nasional yang dilaksanakan setiap dua tahun oleh Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas. Seminar ini merupakan forum diskusi ilmiah antar akademisi dan profesional dari institusi pendidikan, riset, industri, pemegang kebijakan maupun dari institusi lain yang terkait dalam membahas permasalahan lingkungan. Pada seminar keempat ini, didiseminasikan hasil-hasil penelitian maupun terapan yang berkaitan dengan inovasi sains dan teknologi lingkungan untuk mendukung pencapaian sustainable development. Kami mengucapkan terima kasih kepada panitia dan peserta seminar yang telah menyukseskan acara seminar nasional ini.

Ketua Jurusan

Teknik Lingkungan Universitas Andalas

Rizki Aziz, Ph.D

ISSN (Print) 2356-4938
ISSN (Online) 2541-3880

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT bahwa Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV dapat diselenggarakan secara online. Seiring rasa syukur tersebut, kita sampaikan salawat dan salam kepada Rasulullaah, Muhammad SAW.

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh panitia SNSTL IV yang telah bekerja untuk mewujudkan terlaksananya acara seminar ini secara online. Selanjutnya, kami ucapkan terima kasih kepada seluruh peserta seminar yang ikut berperan menyukseskan acara SNSTL IV ini.

Sesuai dengan topik seminar, yaitu Inovasi Sains dan Teknologi Lingkungan untuk Mendukung Pencapaian Sustainable Development, SNSTL IV menampung artikel yang dengan topik yang beragam. Topik-topik tersebut terangkum dalam 19 artikel terkait inovasi sains dan teknologi dalam bidang pengelolaan air, mencakup air minum, air limbah, banjir dan air irigasi, serta inovasi sains dan teknologi dalam bidang pengelolaan sampah, proteksi lingkungan dan SDA, masalah kebisingan dan pencemaran udara. Kami berharap seminar ini memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kita semua dalam upaya untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan.

Ketua Panitia

Dr.Eng. Alqadri Asri Putra, S.T., M.Eng.

ISSN (Print) 2356-4938
ISSN (Online) 2541-3880

DAFTAR ISI

DEWAN REDAKSI **i**

KATA PENGANTAR **ii**

DAFTAR ISI **iv**

ID Artikel :1699
Muhammad Raihan Zaky, Muhammad Fadel Alfandra, Puti Sri Komala 1-15
Analisis Hidrolis Perpipaan Unit Pengolahan IPA SPAM Universitas Andalas

ID Artikel :1624
Gede H Cahyana, Teddy Gunawan Tri Mulyani 16-20
Kinerja Filter Portabel Tepat Guna dalam Mereduksi Kekeruhan
Air Banjir untuk Sanitasi atau MCK

ID Artikel :1761
Ericha Salsabila Rudiantono, Lailatus Siami, Winarni 21-29
Studi Efisiensi Dimensi Pipa Induk Jaringan Air Limbah di Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur, Kabupaten Karawang

ID Artikel :1637
Siska Wulandari, Nurhamidah 30-43
Analisa Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Jagung Daerah Irigasi Batang Bayang, Ujuang Gadiang, Pasaman Barat dengan Aplikasi CROPWAT 8.0

ID Artikel :1002
Muhammad Raihan Zaky, Rizki Aziz 44-54
Kajian Awal Pengelolaan Sampah Kawasan Gunung Padang Kota Padang

ID Artikel :1001
Yommi Dewilda, Revi Alfino 55-65
Kajian Pengolahan Sampah Dari Aktivitas Katering di Kota Padang

ID Artikel :1726
Rizki Aziz, Yuni Eka Putri 66-73
Kajian Awal Sistem Pengelolaan Sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek

ISSN (Print) 2356-4938
ISSN (Online) 2541-3880

ID Artikel :1742
Resti Ayu Lestari, Rikki Suprianto Aritonang 74-80
Potensi Paparan Kebisingan di Kawasan Bengkel Di Kebon Handil Kota Jambi

ID Artikel :1622
Aryo Sasmita, Elvi Yenie, Miftahul Ulum 81-89
Pengaruh Kondisi Pandemi Terhadap Pengurangan Emisi CO2eq dari Aktivitas Kampus di Fakultas Teknik Universitas Riau

ID Artikel :1604
Shafira Atikah Hamdani, Taufiq Ihsan, Tivany Edwin 90-100
Pengaruh Paparan Insektisida Organofosfat terhadap Tingkat Konsumsi Oksigen dan Perubahan Perilaku Ikan Air Tawar: Sebuah Tinjauan

ID Artikel :1003
Yaumal Arbi, Rizki Aziz, Rahvy Khairani Darman 101-113
Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Analisis Hidrolis Perpipaan Unit Pengolahan IPA SPAM Universitas Andalas

Muhammad Raihan Zaky[a], Muhammad Fadel Alfandra[a], Puti Sri Komala[a]
Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Kota Padang, Indonesia.

E-mail:putisrikomala@eng.Unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrolika perpipaan di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Universitas Andalas (Unand) dan membandingkannya dengan head yang tersedia. IPA Unand mengolah air baku dengan kapasitas 45 L/detik dari intake berbasis gravitasi Ladang Kabau ke unit saringan pasir cepat (SPC) dan ditampung di reservoir. Media SPC terdiri dari antrasit, pasir silika yang dilengkapi dengan underdrain berupa pipa manifold, lateral dan orifice. Perhitungan hidraulik dilakukan dari intake ke Unit Pengolahan Air dan dari unit filtrasi ke unit reservoir saat SPC beroperasi normal. Unit SPC dioperasikan dengan laju filtrasi 6,3 m/jam. Headloss dari intake ke SPC sebesar 11,32 meter masih lebih kecil dari head yang tersedia yaitu 29 meter, sedangkan dari unit filtrasi ke unit reservoir diperoleh headloss sebesar 0,113 m. Saat pemeliharaan diperoleh headloss sebesar 0,004 meter, masih lebih kecil dari head tersedia 0,5 meter.

Kata kunci : hidrolik, pipa transmisi, unit pengolahan air, filter pasir cepat

ABSTRACT

This study aims to analyze the hydraulics of the piping at the Water Treatment Plant (WTP) of the Drinking Water Supply System (DWSS) Andalas University (Unand) and compare it with the available heads. The WTP Unand treats 45 L/second raw water with a capacity of 45 L/second from the Kabau Ladang intake to the rapid sand filter (RSF) unit by gravity and flows it to the reservoir. RSF media consists of anthracite, silica sand equipped with underdrain covering manifold, lateral, and orifice pipes. The hydraulic piping calculation of intake to the RSF and RSF to the reservoir is evaluated at routine and maintenance. The RSF unit is operated with a filtration rate of 6.3 m/hour. The head loss from the intake to the RSF is 11.32 meters smaller than the available head, which is 29 meters, while from the RSF unit to the reservoir unit, the head loss is 0.113 m. The head loss during maintenance is 0.004 meters, smaller than the available head of 0.5 meters.

Keywords : hydraulic, transmission pipe, Water Treatment Plant (WTP), rapid sand filter (RSF)

PENDAHULUAN

Hak atas air merupakan bagian implisit dari hak atas standar hidup yang layak dan hak atas standar kesehatan fisik dan mental tertinggi yang dapat dicapai, keduanya dilindungi oleh Perjanjian Internasional PBB tentang Hak-hak Ekonomi, Sosial dan Budaya, yang ditetapkan pada tahun 1976 (Shammas and Lawrence, 2016). Karena pentingnya tersedianya air minum yang aman bagi kebutuhan masyarakat dan untuk pertumbuhan industri, maka perlu perhatian khusus diberikan pada kondisi infrastruktur ini. Oleh karena itu, fungsi dasar dari utilitas air ini yaitu untuk mendapatkan air dari sumber, mengolah air dengan kualitas yang dapat diterima, dan menyediaka jumlah air yang diinginkan ke tempat yang tepat pada waktu yang tepat perlu dijamin bagi setiap institusi penyedia air minum. Kurangnya sistem penyediaan air yang memadai dapat disebabkan oleh memburuknya pasokan air akibat umur fasilitas yang tua di daerah

Percodan dan karena tidak adanya sistem suplai air di banyak daerah yang mengalami urbanisasi yang cepat.

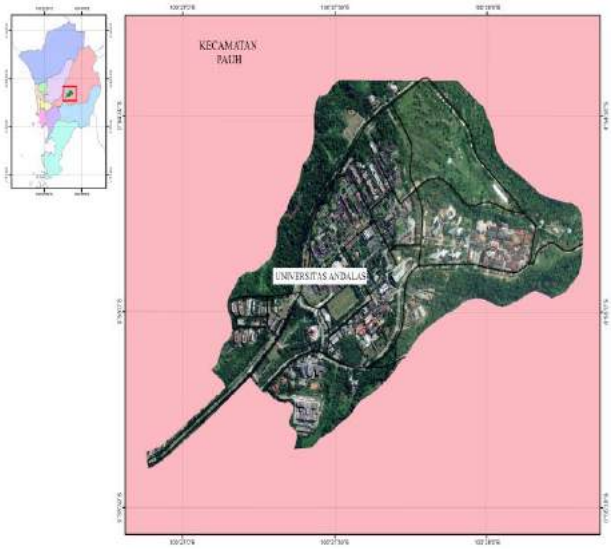
Sistem air perkotaan atau suatu kawasan umumnya terdiri dari unit pengumpulan, unit pengolahan, unit transmisi, dan unit distribusi (Shammas and Lawrence, 2016). Agar tekanan air yang tersedia mencukupi dan dapat mencapai unit atau komponen yang akan dituju dapat terjamin, diperlukan suatu analisis hidrolis perpipaan untuk menentukan besarnya kehilangan tekanan yang tepat sampai ke kawasan yang dituju. Pemahaman hidrolika sistem perpipaan sangat penting untuk desain rasional, analisis, implementasi, dan pengoperasian proyek sumber daya air pada umumnya (Mays, 2000). Untuk mendistribusikan air bersih dengan perpipaan terdapat beberapa sistem pengaliran, tergantung pada keadaan topografi, lokasi sumber air baku, beda tinggi daerah pengaliran atau daerah layanan (Pardosi, 2018).

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Universitas Andalas (Unand) saat ini melayani kebutuhan air minum seperti gedung perkuliahan, gedung fakultas, fasilitas kegiatan mahasiswa, asrama, tempat ibadah dan rumah sakit yang ada di kawasan kampus. Pada tahun 2019 tercatat Unand memiliki 29.296 mahasiswa, 1.543 dosen, dan 1.636 karyawan yang tersebar di 15 fakultas. Instalasi Pengolahan Air (IPA) Unand mengolah air baku dengan kapasitas 45 L/detik dari intake berbasis gravitasi Ladang Kabau ke unit saringan pasir cepat dan ditampung di reservoir. SPAM Unand dilengkapi dengan Instalasi pengolahan air konvensional yaitu. SPC kapasitas 45 L/detik dengan menggunakan pipa GIP (*Galvanized Iron Pipe)* DN 250. Sumber air baku pengolahan air berasal dari Intake Ladang Kabau yang berada sejauh 2.000 meter dari SPAM Air yang berasal dari sumber baku akan diteruskan ke sistem pengolahan Saringan Pasir Cepat (SPC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hidrolika perpipaan transmisi ke unit IPA dan membandingkannya dengan head yang tersedia.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Universitas Andalas (Unand) sebagai salah satu perguruan tinggi negeri terbesar di sumatera yang terletak di Kelurahan Limau Manis Kecamatan Pauh Kota Padang Sumatera Barat. Secara Umum Kampus Universitas Andalas mencakup area seluas 500 hektar. Daerah ini disebut sebagai Bukik Karamuntiang/*Hill of Rhodomyrtus tomentosa*, dan terletak pada 0° 54' 52" Bujur Timur and 100° 27' 34" Lintang Selatan di ketinggian ± 255 m di atas laut. Denah kampus Unand dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Denah Kampus Unand
Sumber: Google map, 2021

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Universitas Andalas merupakan penyedia air minum di kampus Universitas Andalas yang mulai dibangun pada tahun 1984 dengan kapasitas 45 L/detik yaitu dengan unit pengolahan Filtrasi. SPAM UNAND berada pada koordinat 0° 54' 53" Bujur Timur and 100° 28' 10" Lintang Selatan di ketinggian ± 283 m di atas laut Sumber air baku dari SPAM tersebut berasal dari sungai Ladang Kabau.

Data Primer

Untuk menentukan elevasi pada masing-masing unit bangunan dan unit pengolahan digunakan aplikasi *Altimeter*, sedangkan menentukan jarak menggunakan data aplikasi *Strava Running and Cycling GPS.*

Data Sekunder

Data-data seperti gambar unit bangunan pengolahan air minum diperoleh dari Unit Pengelola SPAM Universitas Andalas. Data tentang jumlah gedung pada masing-masing fakultas, data rumah sakit dan jumlah sivitas akademika diperoleh dari bagian umum Universitas Andalas.

2.3. Perhitungan hidrolis perpipaan dan unit pengolahan

Perhitungan kehilangan tekanan pada perpipaan dihitung menggunakan persamaan Darcy Weissbach (persamaan 1).

$$H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Perhitungan kehilangan tekanan pada unit saringan pasir cepat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2 sd 13

1. Menurut Fitriani (2018), persamaan untuk menghitung headloss media filtrasi adalah sebagai berikut:

$$h_L = \frac{k}{g} \times \vartheta \times v_{filtrasi} \times \frac{(1-e^2)}{e^3} \times \left(\frac{6}{f}\right)^2 \times \sum \frac{xi}{di^2} \times \text{Tebal lapisan total} \quad (2)$$

a. Orifice

$$\text{Debit melalui orifice } (q_{or}) = \frac{q}{N_{or}} \quad (3)$$

$$\text{Kehilangan tekan melalui orifice } (h_{or}) = k \frac{\left(\frac{qor}{Aor}\right)^2}{2g} \quad (4)$$

b. Lateral

$$\text{Debit melalui lateral } (q_L) = \frac{q}{N_{or}} \quad (5)$$

$$\text{Kecepatan melalui lateral } (v_L) = \frac{qL}{A} \quad (6)$$

$$\text{Kehilangan tekan melalui lateral } (h_L) = k \frac{\left(\frac{qor}{Aor}\right)^2}{2g} \quad (7)$$

c. Manifold

$$\text{Debit melalui Manifold } (q_M) = q \quad (8)$$

$$\text{Kecepatan melalui Manifold } (v_M) = \frac{qM}{Amanifold} \quad (9)$$

$$\text{Kehilangan tekan lateral } (h_M) = \frac{1}{3} \times f \times \frac{Pman}{Dman} x \frac{vman^2}{2g} \quad (10)$$

d. *Headloss* terminal (h_T) yang direncanakan adalah 1,1 meter

e. *Headloss Underdrain* $(H_{Underdrain}) = h_{or} + h_L + h_M + h_T$ (11)

f. *Headloss* Total $(H_{total}) = H_{media} + H_{celah} + H_{underdrain}$ (12)

2. Perhitungan *headloss* menggunakan persamaan Carman-Kozeny:

$$h_L = f' \frac{L}{\psi d} \left(\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3}\right) \frac{V_a{}^2}{g} \sum \frac{x}{di^2} \quad (13)$$

3. Menurut Riendra (2014), persamaan untuk menghitung *headloss minor* adalah sebagai berikut:

$$H_L = 10\% \times H_{mayor} \quad (14)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Pelayanan SPAM UNAND

IPA SPAM Universitas Andalas melayani kebutuhan air minum untuk seluruh wilayah Universitas Andalas. Air baku yang berasal dari *intake* yaitu *intake* Ladang Kabau pada elevasi 312 mdpl dan *intake* Pertanian pada elevasi 289 mdpl dengan kapasitas 45 l/det. Unit pengolahan yang terdapat pada IPA SPAM Unand terdiri dari dua pengolahan yaitu secara konvensional dan ultrafitrasi. Unit pengolahan konvensional yaitu unit filtrasi yang terdiri dari Saringan Pasir Cepat (SPC). Unit pengolahan dengan teknologi membran yaitu ultrafiltrasi dengan kapasitas 5 l/det. SPAM Unand melayani kebutuhan air minum seperti gedung

perkuliahan, gedung fakultas, fasilitas kegiatan mahasiswa, asrama, tempat ibadah dan rumah sakit yang ada di kawasan kampus. Air baku yang ditangkap menggunakan *shore intake,* ditransmisikan dengan pipa berjenis *Galvanized Iron Pipe* (GIP) diameter 250 mm, secara gravitasi menuju unit filtrasi untuk dilakukan penyaringan dan selanjutnya dialirkan menuju reservoar untuk didistribusikan ke daerah pelayanan dengan menggunakan sistem cabang. Gambar Komponen IPA SPAM Unand dapat dilihat pada **Gambar 2.**

Intake

Sumber air baku IPA SPAM Unand ini diambil *intake* Ladang Kabau di ketinggian 312 m di atas laut. Air baku pada sungai ini ditangkap melalui *intake* bendung melewati pintu air, sebelum masuk ke dalam pipa transmisi air baku akan melewati saluran pengumpul dan *bar screen* terlebih dahulu. *bar screen* berfungsi untuk menyaring partikel-partikel berukuran besar yang akan masuk ke dalam *intake.* Selanjutnya air baku dialirkan menuju pipa GIP dengan diameter 250 mm sebelum menuju unit filtrasi. Bangunan *intake* terdapat *manhole* yang berfungsi untuk pemeliharaan. Denah intake dan potogannya dapat dilihat pada **Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.**

Saringan Pasir Cepat (SPC)

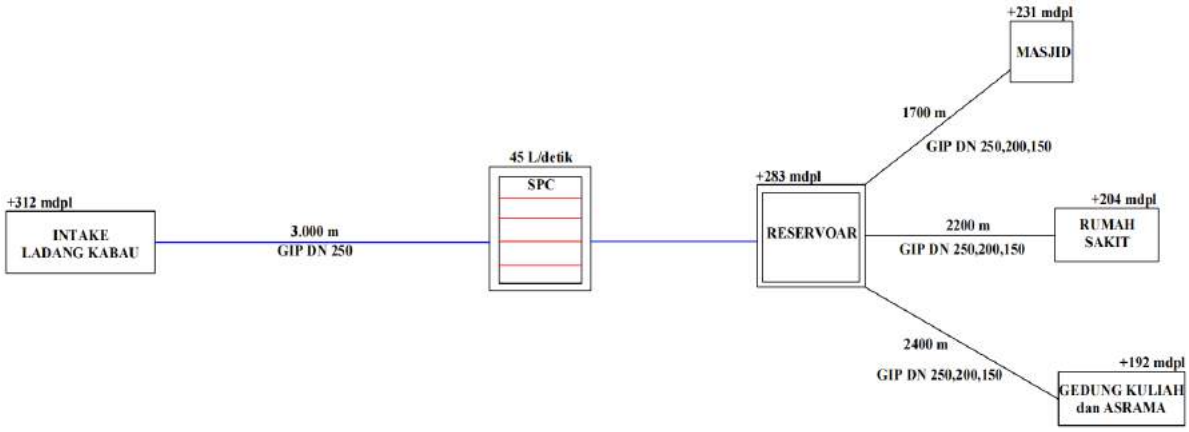
Pada unit ini dilakukan proses penyaringan. melalui media berbutir yang terdiri dari antrasit, pasir silika yang bertujuan untuk menyisihkan kekeruhan dan parameter lainnya. Saringan pasir cepat memiliki ukuran panjang sebesar 9,3 meter, lebar 5,8 meter dan tinggi 6 meter, luas bak saringan sebesar 3,8 m x 5 m dengan jumlah 5 buah bak dan terbuat dari beton. SPC menggunakan tipe aliran *down-flow* dan dilengkapi dengan pipa *inlet,* pipa *outle*t, pipa *overflow* dan pipa penguras.

Pengolahan filtrasi yang dilakukan pada IPA SPAM Unand berdasarkan kecepatan penyaringannya yaitu 6,3 m/jam. Jika dibandingkan dengan baku mutu yaitu 6-11 m/jam, maka kecepatan penyaringan ini telah memenuhi kriteria desain dari aspek luas unit. Proses penyaringan dilakukan dengan melewatkan air baku melewati pipa *inlet* menuju saluran penenang untuk mengatur kecepatan air sebelum memasuki bak penyaring, selanjutnya air akan disaring oleh media penyaring dan penyangga. Media filter yang digunakan adalah pasir silika, antrasit, pasir, kerikil dan koral. Air hasil penyaringan akan dialirkan menuju reservoar melalui pipa *outlet*. Pada unit SPC terdapat pipa *overflow* yang berfungsi untuk membuang air jika terjadi kelebihan air pada bak, air akan dibuang menuju saluran drainase. B*ackwash* (pencucian) dilakukan setiap satu kali dalam sehari.

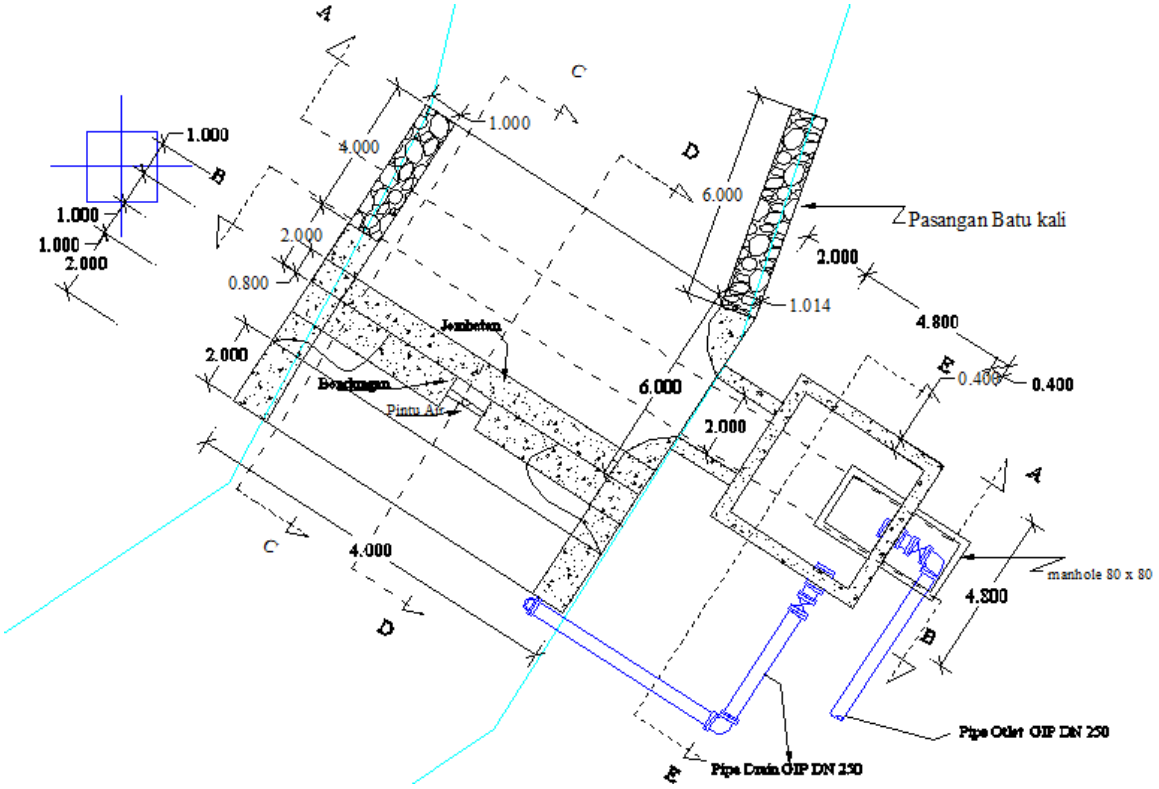
Pada proses *backwash* (pencucian) dilakukan secara gravitasi dengan mengalirkan air yang terdapat pada bak. Pada proses *backwash* (pencucian) dilakukan secara *upflow* dengan mengalirkan air dari Intake Ladang Kabau menuju ke underdrain dengan aliran ke atas secara *upflow*. Unit saringan pasir cepat dapat mengolah air dengan kekeruhan 5-10 NTU. Kotoran terbawa lepas bersama bersama aliran air yang akan melimpah ke pipa overflow menuju ke drainase. Unit pengolahan SPC dan potongannya dapat dilihat pada **Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.**

Reservoar

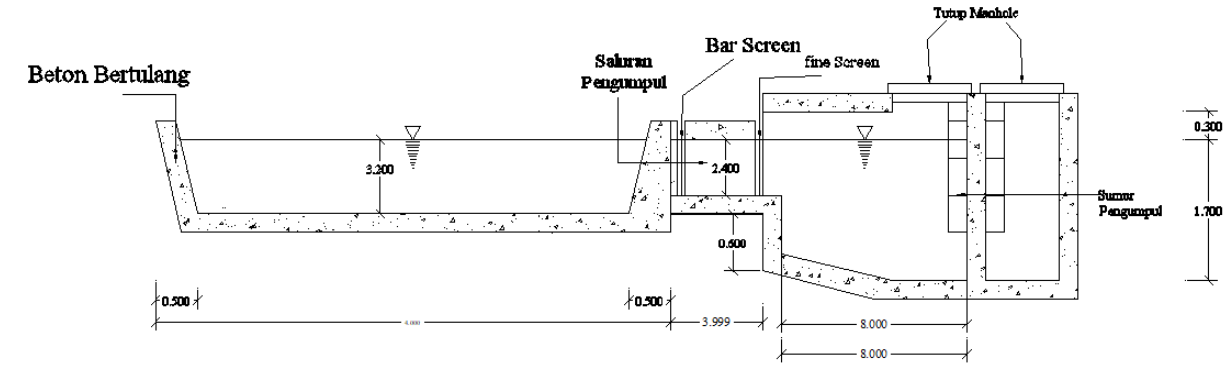
Jenis reservoar yang digunakan pada IPA SPAM Unand ini adalah *ground reservoar* yang terbuat dari beton. Penggunaan *ground reservoar* karena IPA SPAM Unand terletak didaerah yang relatif lebih tinggi dari pada daerah pelayanan dan dengan perbedaan ketinggian cukup besar. Volume *reservoar* yaitu 1.024 m^3 dengan 2 kompartemen. Untuk pendistrbusian air minum menuju daerah pelayanan dengan menggunakan tiga jenis pipa yaitu pipa GIP DN 250, 200 dan 150.



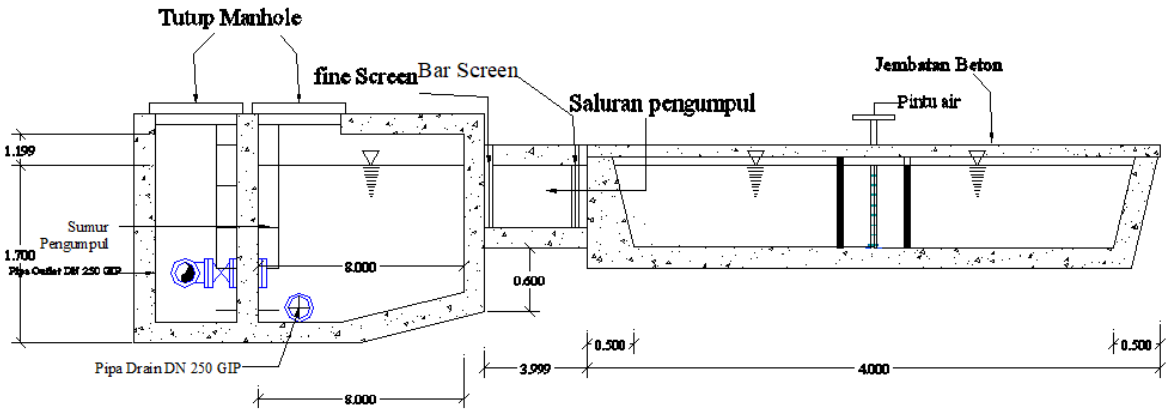
Gambar 2. Skema Komponen IPA SPAM Unand



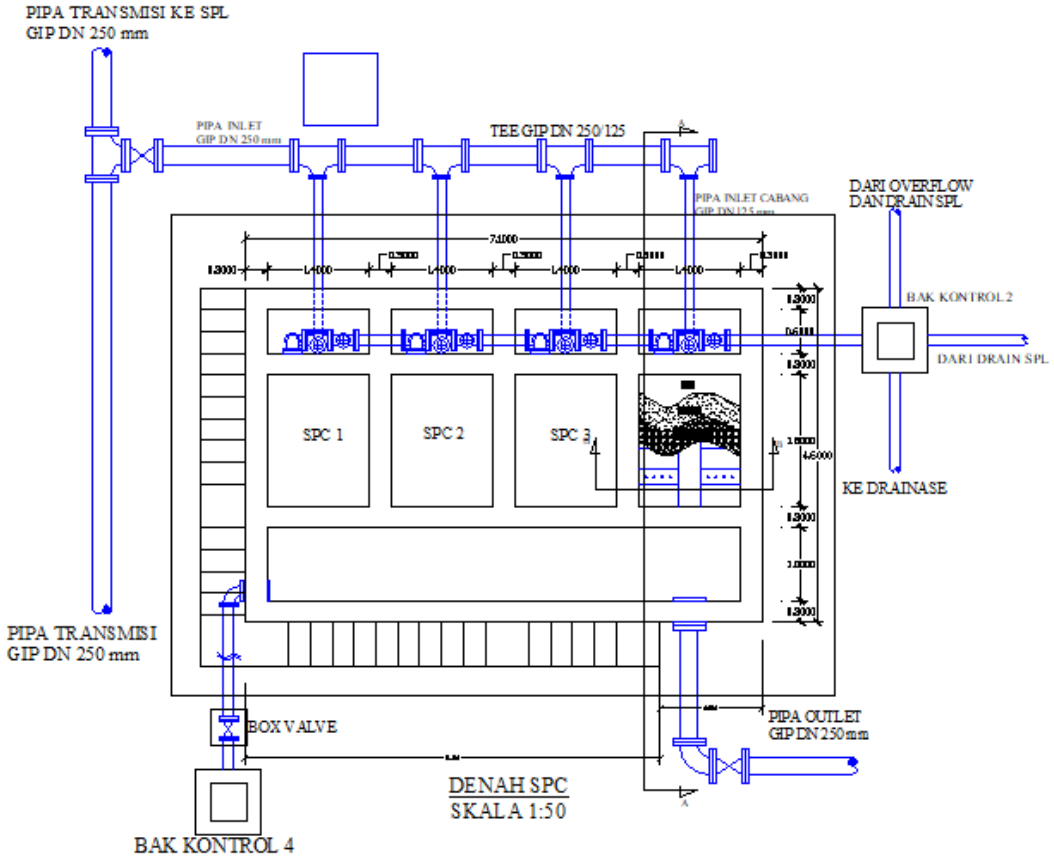
Gambar 3. Denah *Intake*



Gambar 4. Potongan A-A *Intake*

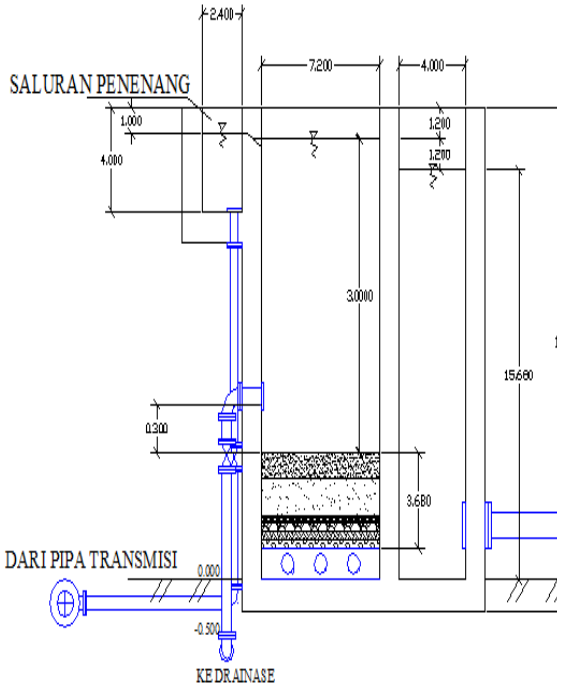


Gambar 5. Potongan B-B *Intake*

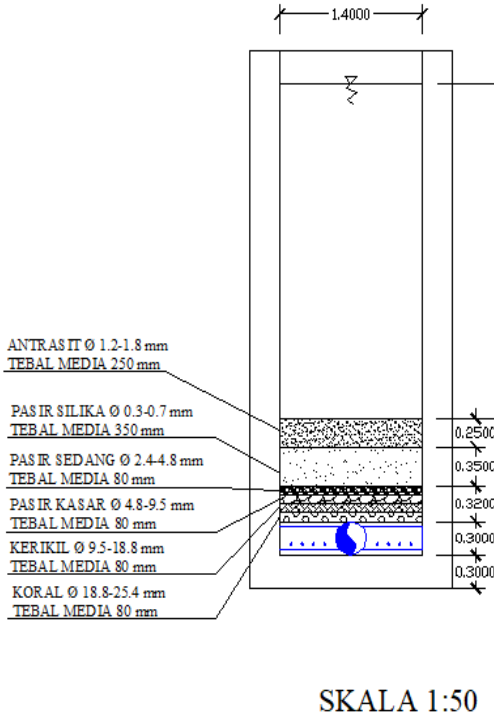


Gambar 6. Denah SPC

.



Gambar 7. Potongan A-A SPC



Gambar 8. Potongan B-B SPC

Perhitungan *Headloss,* EGL, HGL dan Sisa Tekan Intake Ladang Kabau ke Reservoar

Sumber Intake Ladang Kabau berada pada elevasi 312 mdpl dengan pipa berdiameter 250 mm menuju unit SPC SPAM Unand dengan elevasi 283 mdpl. Total panjang pipa dari intake ke unit IPA adalah 3.000 m.

Perhitungan Headloss Intake ke SPC

Jenis pipa = *Galvanized Iron Pipe* (GIP)
Debit (Q) = 0,045 m^3/detik
Panjang total pipa = 3.000 m
Diameter pipa = 250 mm = 0,25 m
Elevasi Intake = 312 mdpl
Kecepatan aliran (v) = 0,917 m/s
EGL_{Intake} = Elevasi + Muka Air
= 312 m + 1,0 m (asumsi)
= 313 m
$HGL_{outlet\ Intake}$ = EGL_{Intake} -$V^2/2g$
= 313 m - 0 m = 313,0
Sisa $Tekan_{outlet\ Intake}$ = $HGL_{outlet\ Intake}$ – Elevasi
= 313 m – 312 m = 1,0 m

1. $HL_{mayor\ Intake\text{-}SPC}$

$$H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$H_L = 0{,}02 \times \frac{3000}{0{,}25} \times \frac{0{,}917^2}{2 \times 9{,}81} = 10{,}29 \text{ m}$$

2. $HL_{minor\ Intake\text{-}SPC}$

H_L = 10% x H_{mayor}

(Asumsi, dari Sumber: Riendra, 2014)

$HL_{minor\ Intake\text{-}SPC}$ = 10% x 10,29 m = 1,03 m

Sehingga *Headloss* Total $_{Intake\text{-}SPC}$ = H_{mayor} + H_{minor}
= 10,29 m + 1,03 m
= 11,32 m

$EGL_{Inlet\ SPC}$ = $EGL_{outlet\ Intake}$ – $HLtotal_{\ intake\text{-}spc}$
$EGL_{Inlet\ SPC}$ = 313,0 m m – 11,32 m = 301,680 m
$HGL_{Inlet\ SPC}$ = $EGL_{Inlet\ SPC}$ - $V^2/2g$
= 301,680 m – 0,043 m = 301,637 m
Sisa Tekan = $HGL_{Inlet\ SPC}$ – Elevasi
= 301,637m – 283,0 m = 18,637 m

Perhitungan headloss di Unit SPC

Unit SPC mengguakan sistem aliran *down flow*. Media pada unit SPC terdiri dari media filtrasi dan media penyangga. Media filtrasi terdiri dari pasir, antrasit, kerikil dan koral. Media penyangga di bawah media filtrasi yang terdiri dari pipa manifold, lateral dan orifice. Spesifikasi media SPC dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Data Filtrasi SPC
1. Debit (Q) = 0,045 m^3/s
2. Jumlah Bak = 5 Bak
3. Kekasaran Baja (n) = 0,012
4. Dimensi Bak
   Panjang (P) = 9,3 m
   Lebar (L) = 5,8 m
   Tinggi (H) = 6 m
   Tinggi Muka Air (Ha) = 5,5 m
5. Media Penyaring
   a. Antrasit
      Kedalaman (L) = 0,25 m
      Koef. Kesaragaman = 1,3
      Specific gravity (Sg) = 1,5
      Faktor bentuk (ψ) = 07
      Porositas media (ε) = 0,4
   b. Pasir Silika
      Kedalaman (L) = 0,35 m
      Koef. Kesaragam = 1,2
      Specific gravity (Sg) = 2,65
      Faktor bentuk (ψ) = 0,83
      Porositas media (ε) = 0,42
6. Media Penyangga (Kerikil)
   Kedalaman (L) = 9,5 - 18,8 m
   Specific gravity (Sg) = 2,65
   Faktor bentuk (ψ) = 0,95
   Porositas media (ε) = 0,40

Tabel 1. Diameter Media Filter SPC

No	Media	Diameter Media (mm)
1.	Pasir Silika	0,3 - 0,7
2.	Antrasit	1,2 - 1,8
3.	Pasir Sedang	2,4 - 4,8
4.	Pasir Kasar	4,8 - 9,5
5.	Kerikil	9,5 - 18,8
6.	Koral	18,8 - 25,4

Sumber: Data SPAM UNAND

Ketebalan media filter yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Ketebalan Media Filter SPC

No	Media	Ketebalan Media (mm)
1.	Pasir Silika	0,35
2.	Antrasit	0,25
3.	Pasir Sedang, pasir kasar, kerikil dan koral	0,32
4.	Kerikil	9,5 - 18,8

Sumber: Data SPAM UNAND

Perhitungan headloss di Media SPC

Perhitungan media pasir silika, antrasit dan kerikil saat filtrasi unit SPC dapat dilihat pada **Tabel 3**. Kehilangan tekanan pada media dihitung menggunakan persamaan 2.

a. Pasir Silika

Perhitungan kehilangan tekan pada media pasir silika saat filtrasi unit SPC yaitu:

$$h = \frac{5}{9{,}81\ m/s^2}\ \frac{(0{,}009)}{(3{,}8 \times 1{,}5)} m/s\ (1{,}01 \times 10^{-6} m^2/s) \frac{(1-0{,}42)^2}{0{,}42^3} \left(\frac{6}{0{,}83}\right)^2 \times (0{,}35\ m)\ (4\ mm^{-2})\ \frac{10^6\ mm^2}{m^2}$$

h = 0,27 m

b. Antrasit

Perhitungan kehilangan tekan pada media kerikil saat filtrasi unit SPC yaitu:

$$h = \frac{5}{9{,}81\ m/s^2}\ \frac{(0.009)}{(3{,}8 \times 1{,}5)} m/s\ (1{,}01 \times 10^{-6} m^2/s) \frac{(1-0{,}42)^2}{0{,}42^3} \left(\frac{6}{0{,}72}\right)^2 \times (0{,}25\ m)\ (0{,}44\ mm^{-2})\ \frac{10^6\ mm^2}{m^2}$$

h = 0,028 m

c. Kerikil

Perhitungan kehilangan tekan pada media media kerikil:

$$h = \frac{5}{9{,}81\ m/s^2}\ \frac{(0.009)}{(3{,}8 \times 1{,}5)} m/s\ (1{,}01 \times 10^{-6} m^2/s) \times \frac{(1-0{,}42)^2}{0{,}42^3} \left(\frac{6}{0{,}95}\right)^2 (0{,}32\ m)\ (0{,}026\ mm^{-2})\ \frac{10^6\ mm^2}{m^2}$$

h = 0,0012 m

Tabel 3. Distribusi Lapisan Media Pasir Silika

Diameter (mm)	Diameter Tengah (d) (mm)	Berat (x) (%)	x/d^2
	Pasir Silika		
0,3 - 0,7	0,50	100	4
Total			4
Headloss			0,27 m
	Antrasit		
1,2 - 1,8	1,5	100	0,44
Total			0,44
Headloss			0,028 m
	Kerikil		
2,4 – 4,8	3,6	25	0,019
4,8 – 9,5	7,15	25	0,005
9,5 – 18,8	14,15	25	0,001
18,8 – 25,4	22,1	25	0,001
Total			0,026
Headloss			0,0012 m

Headloss Underdrain

Data *Underdrain*

Sistem underdrain terdiri dari pipa manifold, lateral dan orifice di bawah media fitrasi pada masing-masing bak. Pipa manifold dengan diameter 300 mm terletak di bagian tengah bak. Karena data-data underdrain pada IPA Unand tidak lengkap, diasumsikan pada pipa ini terdapat pipa lateral berpori (orifice) mengikuti perbandingan menurut Fair and Geyer (Fair et al., 1965):

Luas media filter: 10,788 m^2

$D_{orifice}$ = 0,1905 cm

Luas bukaan total orifice (A_{To})

A_{To} = 0,25% x 10,788 m^2 = 0,027 m^2

Jumlah lubang *orifice* (n_{or})

$n_o = \frac{ATo}{Aor}$

$n_o = \frac{0,027\ m^2}{2,85 \times 10^{-4}\ m^2}$ = 95 buah /bak

Lubang orifice yang terdapat pada pipa lateral terdiri dari 95 buah dalam 1 bak dengan jarak 3 m. Diameter orifice adalah 1,905 cm dengan jarak antar lateral 30 cm.

Luas bukaan total lateral

$A_{TL} = 2 \times A_{To}$

A_{TL} = 2 x 0,027 m^2 = 0,054 m^2

$D_{lateral}$ = 200 mm

Luas bukaan total lateral dengan diameter pasaran ($A_{TL\ pasaran}$)

$ATLpasaran = \frac{1}{4}\pi d^2$

$ATLpasaran = \frac{1}{4}\ 3,14\ (0,2\ m)^2$ = 0,0314 m^2

Luas bukaan total manifold

ATM = 3 x ATLpasaran

ATM = 3 x 0,0314 m^2 = 0,0942 m^2

$D_{manifold}$ = 300 mm

Jumlah pipa lateral disalah satu pipa manifold (n_L)

$n_L = \frac{P}{W}$

$n_L = \frac{1,8\ m}{0,3\ m}$ = 6 pasang

Jumlah pipa lateral total ($n_{TL)}$

$n_{TL} = 2 \times n_L$

n_{TL} = 2 x 6 = 12 buah

Jumlah orifice tiap lateral ($n_{or)}$

$n_{or} = \frac{no}{nTL}$

$n_{or} = \frac{95}{12}$ = 8 buah

Maka :

N_{or} = 95

$N_{lateral}$ = 12

Q unit filtrasi = 0,045 m^3/s /5 bak

= 0,009 m^3/s

a. Manifold

Debit melalui Manifold:

$qM = q = 0,009 \frac{m^3}{s}$

Kecepatan melalui manifold:

$$v_M = \frac{q_M}{Amanifold} = \frac{0,009 \frac{m^3}{s}}{0,0942\ m} = 0,095 \frac{m}{s}$$

Kehilangan tekanan melalui manifold:

$$h\ manifold = \frac{1}{3} x\ 0,026\ x \frac{8}{0,76} x \frac{(0,095)^2}{2 \times 9,81} = 0,000042\ m$$

b. Lateral

Q lateral = 0,009 m^3/s / 12 lateral

= 0,00075 m^3/s

Debit melalui 1 lateral:

$$qL = \frac{q}{Nlateral} = \frac{0{,}045 \frac{m^3}{s}}{1} = 0{,}045 \frac{m^3}{s}$$

Kecepatan melalui 1 lateral:

$$vL = \frac{qL}{A} = \frac{0{,}00075 \frac{m^3}{s}}{0{,}0314} = 0{,}024 \frac{m}{s}$$

Kehilangan tekan melalui 1 lateral:

$$hlat = \frac{1}{3} x\ 0{,}026\ x \frac{1{,}7}{0{,}085} x \frac{(0{,}024)^2}{2\ x\ 9{,}81} = 0{,}0000051\ m$$

c. Orifice

Q orifice = 0,00075 m^3/s / 8 orifice

= 0,000094 m^3/s

Debit melalui 1 orifice:

$$q_{or} = \frac{q}{N_{or}} = \frac{0{,}000094 \frac{m^3}{s}}{1} = 0{,}000094 \frac{m^3}{s}$$

Kehilangan tekan melalui 1 orifice dalam:

$$h_{or} = k \frac{\left(\frac{qor}{Aor}\right)^2}{2g} = 2{,}4\ x \frac{0{,}000012}{2\ x\ 9{,}81} = 0{,}0000015\ m$$

d. *Headloss* terminal (h_T) yang direncanakan adalah 1,1 m

e. *Headloss Underdrain:*

= $h_M + h_L + h_{or} + h_T$

= 0,000042 m + 0,0000051 + 0,0000015 m + 1,100 m

= 1,1 m

f. *Headloss* Total

$H_{total} = H_{media} + H_{underdrain}$

H_{Total} = (0,27 m + 0,028 m + 0,0012 m) + 1,1 m

H_{Total} = 1,399 m

Perhitungan *headloss underdrain* pada unit SPC dan headloss SPC saat operasional rutin dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. *Headloss* SPC saat operasional rutin

Headloss Underdrain Saat Operasi				
No	Underdrain		Satuan	
1.	Orifice			
	Debit melalui 1 orifice	q or	10^{-5} m^3/s	9,4
	Kehilangan tekan melalui orifice	Hor	10^{-6} m	1,5
2.	Lateral			
	Debit melalui 1 lateral	qL	10^{-4} m^3/s	7,5
	Kecepatan melalui lateral	v L	m/s	0,024
	Kehilangan tekan melalui lateral	Hlat	10^{-6} m	5,1
3.	Manifold			
	Debit melalui Manifold	qm	m^3/s	0,009
	Kecepatan melalui Manifold	vm	m/s	0,095
	Kehilangan tekan melalui Manifold	Hm	10^{-5} m	4,2
4.	Headloss terminal yang direncanakan	Ht	m	1,1
5.	Headloss Total Underdrain	Hair tot	m	1,1

6.	Headloss Total	Hair tot	m	1,399

- SPC-Reservoar

Jenis pipa = *Galvanized Iron Pipe* (GIP)
Panjang total pipa = 20 m
Diameter pipa = 250 mm = 0,25 m
Elevasi SPC = 283 mdpl
Kedalaman SPC = 4,5 m
H_L Filtrasi = 1,758 m
Kecepatan aliran (v) = 0,917 m/s

Elevasi SPC = 283 m
EGL_{SPC} = Elevasi + 4,5 m
EGL_{SPC} = 283 m + 4,5 m = 287,5 m
HGL_{SPC} = EGL_{SPC} = 287,5 m
$HGL_{outlet\ SPC}$ = EGL_{SPC} -$V^2/2g$ – HL filtrasi
= 287,5 m - 0,043 m – 1,758 m
= 285,699 m
Sisa Tekan = $HGL_{outlet\ SPC}$ – Elevasi
= 285,699 m – 283,0 = 2,699 m

1. $HL_{mayor\ SPC\text{-}Reservoar}$

$$H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$H_L = 0{,}02 \times \frac{20}{0{,}25} \times \frac{0{,}917^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}103 \text{ m}$$

2. $HL_{minor\ SPC\text{-}Reservoar}$

H_L = 10% x H_{mayor}

(Asumsi, dari Sumber: Riendra, 2014)

H_L = 10% x 0,103 m = 0,010 m

Headloss Total SPC-Reservoar :
= $H_{mayor} + H_{minor}$
= 0,103 m + 0,010 m = 0,113 m

$EGL_{Inlet\ Reservoar}$ = EGL_{SPC} – $HL_{total\ SPC\text{-}Reservoar}$
$EGL_{Inlet\ Reservoar}$ = 287,500 m – 0,113 m
= 287,387 m
$HGL_{Inlet\ Reservoar}$ = $EGL_{Inlet\ Reservoar}$ - $V^2/2g$
= 287,387 m – 0,043 m = 287,344 m
Sisa Tekan = $HGL_{Inlet\ Reservoar}$ – Elevasi
= 287,344 m – 282,5 m = 4,844 m

- Reservoar

Elevasi Reservoar = 282,5 m
$EGL_{Reservoar}$ = 282,5 m + 2,5 m = 285 m
$HGL_{Reservoar}$ = $EGL_{Reservoar}$
= 285 m
Sisa Tekan = $HGL_{Reservoar}$ – Elevasi
= 285 m – 282,5 m
= 2,5 m

Perhitungan Headloss Saat Pemeliharaan

Headloss Underdrain Saat Pemeliharaan
I unit SPC dalam pemeliharaan, 4 unit beroperasi
Q = 0,045 m^3/s / 4
Q = 0,01125 m^3/s

a. Manifold

Debit melalui Manifold:

$$qM = q = 0{,}01125 \frac{m^3}{s}$$

Kecepatan melalui manifold:

$$v_M = \frac{q_M}{\text{Amanifold}} = \frac{0{,}01125 \frac{m^3}{s}}{0{,}0942 \text{ m}} = 0{,}1194 \frac{m}{s}$$

Kehilangan tekanan melalui manifold:

$$\text{h manifold} = \frac{1}{3} \text{ x } 0{,}026 \text{ x } \frac{8}{0{,}76} \text{ x } \frac{(0{,}01194)^2}{2 \text{ x } 9{,}81} = 0{,}00000066 \text{ m}$$

b. Lateral

Q lateral = 0,01125 m^3/s / 12 lateral

= 0,00094 m^3/s

Debit melalui 1 lateral:

$$qL = \frac{q}{\text{Nlateral}} = \frac{0{,}00094 \frac{m^3}{s}}{1} = 0{,}00094 \frac{m^3}{s}$$

Kecepatan melalui 1 lateral:

$$vL = \frac{qL}{A} = \frac{0{,}00094 \ \frac{m^3}{s}}{0{,}0314} = 0{,}03 \frac{m}{s}$$

Kehilangan tekan melalui 1 lateral:

$$\text{hlat} = \frac{1}{3} \text{ x } 0{,}026 \text{ x } \frac{1{,}7}{0{,}085} \text{ x } \frac{(0{,}03)^2}{2 \text{ x } 9{,}81} = 0{,}0000079 \text{ m}$$

c. Orifice

Q orifice = 0,00094 m^3/s / 8 orifice

= 0,000117 m^3/s

Debit melalui 1 orifice:

$$q_{or} = \frac{q}{N_{or}} = \frac{0{,}000117 \frac{m^3}{s}}{1} = 0{,}000117 \ \frac{m^3}{s}$$

Kehilangan tekan melalui 1 orifice dalam:

$$h_{or} = k \frac{\left(\frac{qor}{Aor}\right)^2}{2g} = 2{,}4 \text{ x } \frac{0{,}000019}{2 \text{ x } 9{,}81} = 0{,}0000023 \text{ m}$$

d. *Headloss* terminal (h_T) yang direncanakan adalah 1,1 m

e. *Headloss Underdrain:*

$= h_M + h_L + h_{or} + h_T$

$= 0{,}00000066$ m + 0,0000079 + 0,0000023 m + 1,100 m

= 1,1 m

f. *Headloss* Total

$H_{total} = H_{media} + H_{underdrain}$

H_{Total} = (0,27 m + 0,028 m + 0,0012 m) + 1,1 m

H_{Total} = 1,399 m

Perhitungan *headloss underdrain* pada unit SPC saat pemeliharaan dan rekapitulasi dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Hasil rekapitulasi perhitungan headloss Intake ke SPC saat operasional rutin dapat dilihat pada **Tabel 6.** Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kehilangan tekan *pada intake* menuju *SPC* adalah 11,32 m dan outlet SPC menuju reservoar adalah 0,113. H*eadloss* total dari *intake* ke SPC yaitu 11,32 m masih lebih kecil dari head yang tersedia yaitu 29 m saat satu SPC dilakukan pemeliharaan didapatkan total headloss dari *outlet* SPC menuju reservoar yaitu 0,108 m sedangkan head yang tersedia yaitu 0,5 m.

KESIMPULAN

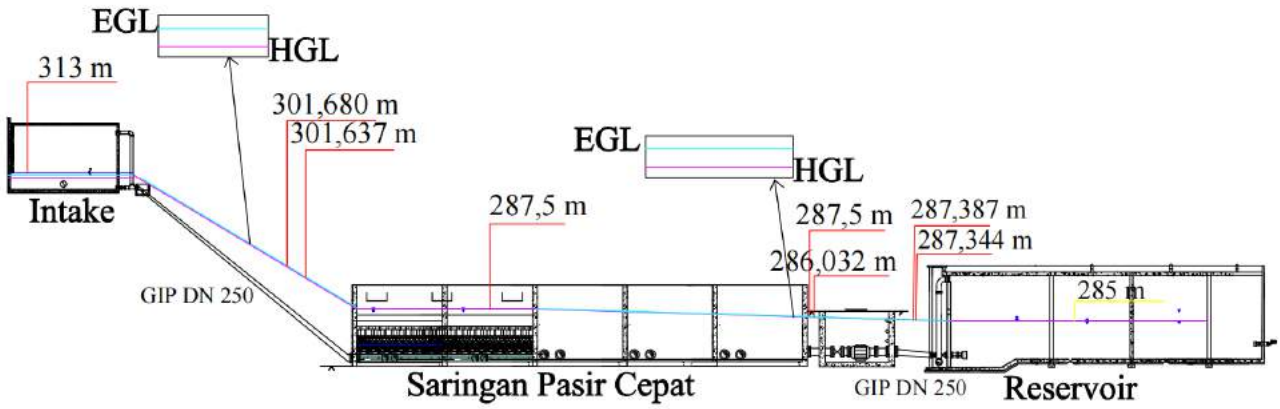
Sistem perpipaan transmisi IPA SPAM Unand menggunakan pengaliran secara gravitasi. Hasil analisis kehilangan tekanan yang didapatkan dari *intake* menuju SPC menggunakan pipa GIP berdiameter 250 mm yaitu 11,32 m masih lebih kecil dari head yang tersedia yaitu 29 m, sedangkan dari SPC ke unit reservor membutuhkan headloss sebesar 0,113 m. Saat dilakukan pemeliharaan headloss didapatkan total headloss dari *outlet* SPC menuju reservoar yaitu 0,108 m maka *head* yang didapat masih memenuhi *head* yang tersedia.

Tabel 5. *Headloss Underdrain* SPC Saat Pemeliharaan

Headloss Underdrain Saat Pemeliharaan				
No	Underdrain		Satuan	
1.	Orifice			
	Debit melalui 1 orifice	q or	10^{-4} m^3/s	1,17
	Kehilangan tekan melalui orifice	Hor	10^{-6} m	2,3
2.	Lateral			
	Debit melalui 1 lateral	qL	10^{-4} m^3/s	9,4
	Kecepatan melalui lateral	v L	m/s	0,03
	Kehilangan tekan melalui lateral	Hlat	10^{-6} m	7,9
3.	Manifold			
	Debit melalui Manifold	qm	m^3/s	0,01125
	Kecepatan melalui Manifold	vm	m/s	0,1194
	Kehilangan tekan melalui Manifold	Hm	10^{-6} m	0,066
4.	Headloss terminal yang	Ht	m	1,1
5.	Headloss Total Underdrain	Hair tot	m	1,1
6.	Headloss Total	Hbersih	m	1,629

Tabel 6. Perhitungan Hidrolis Pipa Transmisi-IPA SPAM Unand Saat Operasional Rutin

Jalur	L	Qmd	D	v	V²/2g	Headloss			Elevasi	EGL	HGL	Sisa Tekan
	(m)	(m^3/s)	(m)	(m/s)	(m)	Mayor (m)	Minor (m)	Total (m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Intake Ladang Kabau									312			
Intake - SPC	3.000	0,045	0,25	0,917	0,043	10,29	1,03	11,32		313	313	1
$_{Outlet}$Intake - $_{Inlet}$SPC									283	301,68	301,637	18,637
$_{Inlet}$SPC - SPC									283	287,5	287,5	
$_{Outlet}$SPC - $_{Inlet}$Reservoar	20					0,103	0,01	0,113	283	287,5	287,158	4,185
$_{Inlet}$Reservoar - Reservoar									282,5	287,387	287,344	4,844
Reservoar									282,5	285	285	2,5



Gambar 9. Profil Hidrolis Intake Ladang Kabau Menuju Reservoar IPA SPAM Unand

DAFTAR PUSTAKA

Fitriani F.L. (2018). Laporan Perancangan Instalasi Pengolahan Air Minum. Mata Kuliah Perancangan Instalasi Pengolahan Air Bersih. Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Mays, L.W. (2000). Water Distribution Systems Handbook, McGraw-Hill,.

Fair, G.M., Geyer, J.C., Okun, D.A., 1965. Elements of Water Supply and Wastewater Disposal. John

Wiley and Sons, Inc, New York.
Shammas, N.K., Lawrence, K.W., 2016. Water engineering : hydraulics, distribution, and treatment, 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
Monalisa. (2018). *Analisis Perhitungan Debit dan Headloss Pada Sistem Jaringan Pipa di PDAM Tirtanadi Cabang Sunggal Kawasan Perumahan Taman Setia Budi Indah II Medan.* Universitas Sumatera Utara: Medan.
Pardosi, S. M. (2018). Perencanaan Sistem Jaringan Perpipaan Distribusi Air Minum Di Perumahan Karyawan PTPN IV Pabatu. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Sumatera Utara.
Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum
Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. (2007). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum
Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum.
Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2015). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum.
Riendra M.R. (2014). Sistem Penyediaan Air Minum Kec. Semarang Selatan. Bab V Hasil dan Analisis Perencanaan. Kota Semarang.
SNI 6775-2008 tentang Tata Cara Pengoperasian dan Pemeliharaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. Badan Standar Nasional. 2008.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Kinerja Filter Portabel Tepat Guna dalam Mereduksi Kekeruhan Air Banjir untuk Sanitasi atau MCK

Gede H Cahyana[a], Teddy Gunawan[a] Tri Mulyani[a]

[a]Teknik Lingkungan Universitas Kebangsaan, Jln. Ters. Halimun No. 37, Bandung, 40263, Indonesia

E-mail: ghcahyana@gmail.com

ABSTRAK

Saat banjir warga kesulitan mendapatkan air bersih untuk sanitasi atau jamban. Ada banyak air banjir tetapi sangat keruh. Filter air yang tersedia membutuhkan listrik tetapi listriknya padam saat banjir. Studi ini mengevaluasi kinerja filter portabel air banjir yang dioperasikan secara manual. Baku mutu Permenkes No. 32/2017 digunakan sebagai acuan. Filter air banjir diberi tekanan 0,025 kgf/cm^2 dan 0,051 kgf/cm^2. Media filter berbahan lokal seperti kerikil, pasir silika, antrasit, spons. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan 0,025 kgf/cm^2 mampu menurunkan kekeruhan dari 220 NTU menjadi 20,17 NTU dengan efisiensi 90,83%. Pada 0,051 kgf/cm^2 filter mampu menurunkan kekeruhan dari 220 NTU menjadi 29,67 NTU dengan efisiensi 86,52%. Variasi tekanan yang diterapkan pada filter berpengaruh pada kualitas filtrat. Filter bertekanan 0,025 kgf/cm^2 memiliki kinerja optimal dan menghasilkan 100 - 150 liter sebelum tersumbat. Filter ini masih perlu dikaji terkait dengan kekuatan fisik filter, jenis dan komposisi media, portabilitas dan volume air yang dihasilkan. Filter air banjir ini akan menjadi solusi alternatif untuk daerah yang sering banjir tetapi tidak ada listrik atau listrik padam saat banjir.

Kata kunci : banjir, filter potable, tekanan, sanitasi, turbiditas

ABSTRACT

During flood people had difficulties in obtaining clean water for sanitation or toilet. There was plenty of flood water but highly turbid. The water filter required electricity but its power outaged during flood. This study evaluated the performance of a manually operated flood water portable filter. The quality standard of Permenkes No. 32/2017 was used as a reference. The flood water filter was pressurized by 0.025 kgf/cm^2 and 0.051 kgf/cm^2. The filter media were local materials such as gravel, silica sand, anthracite, sponge. The results showed that pressure 0.025 kgf/cm^2 was able to reduce turbidity from 220 NTU to 20.17 NTU with efficiency 90.83%. At 0.051 kgf/cm^2 the filter was able to reduce turbidity from 220 NTU to 29.67 NTU with efficiency 86.52%. The results showed that the pressure variation significantly affects the filtrate quality. The filter with pressure 0.025 kgf/cm^2 could be applied for optimal filtration and produced 100 - 150 liters before clogging. This filter still needs to be studied related to physical strength, type and composition of media, portability and volume of water produced. This flood water filter will be an alternative solution for areas that often flood but no electricity or the power outage during flood.

Keywords : flood, portable filter, pressure, sanitation, turbidity

PENDAHULUAN

Merujuk pada Bakornas di dalam riset Shalihat (2015) definisi banjir adalah limpasan air yang melebihi tinggi muka air normal sehingga melimpas dari sungai yang menyebabkan genangan di lahan rendah. Radianta di dalam penelitian Pandiangan (2018) menulis bahwa pada saat banjir kebutuhan air bersih orang

yang terkena bencana ini bisa mencapai 60-100 liter per orang per hari. Pada kondisi normal hanya 10-15 liter per orang per hari. Kuantitas ini dinyatakan sudah cukup.

Pada saat banjir biasanya pasokan air dari PDAM terhenti kaena pompa distribusi airnya terendam banjir atau aliran listriknya padam atau pasokan air bakunya terputus. Pada saat yang sama air sumur gali juga tercemari oleh air banjir, baik karena rembesan maupun karena limpasan langsung air banjir yang tinggi muka airnya. Kualitas air sumur sudah seperti air banjir. Tersedia berlimpah air banjir yang kualitasnya tidak layak untuk sanitasi atau MCK. Air untuk sanitasi atau MCK selalu dibutuhkan kapanpun dan di manapun. Orang harus tetap bebersih setelah buang air kecil dan air besar, juga mandi dan kebutuhan air untuk wudhu. Dengan latar belakang kondisi tersebut maka perlu disediakan alat pengolah air banjir yang tepat guna untuk mengatasi kelangkaan air bersih di daerah yang dilanda banjir. Karena listrik biasanya padam pada saat banjir atau banjir terjadi di daerah yang belum ada listrik seperti di perdesaan maka perlu dibuat alat pengolah air banjir menjadi air bersih secara tepat guna yang tidak membutuhkan pasokan listrik. Air banjir memiliki karakteristik kekeruhan (turbidity) yang cukup tinggi, bisa mencapai 200-300 NTU.

Kekeruhan air disebabkan oleh terutama zat padat tersuspensi dan koloid, bisa berasal dari zat anorganik dan organik yang dilewati oleh air. Air yang tinggi kekeruhannya akan sulit didisinfeksi karena mikroba atau bakteri terhalang oleh zat padat tersuspensi dan koloid tersebut sehingga bakteri patogen sulit dibasmi dan bahkan terus berkembang biak. Tentu air yang keruh ini berbahaya bagi kesehatan masyarakat pengguna air banjir, misalnya digunakan untuk wudhu, mandi, sikat gigi, atau mencuci sayur.

Dari uraian masalah di atas maka penelitian ini bermaksud memberikan opsi alat penjernih air banjir. Tujuannya adalah merancang bentuk alat, kemudian membuat beberapa alat dan mengujinya dengan memberikan umpan air banjir untuk diolah. Kualitas air olahan alat ini diharapkan memenuhi persyaratan baku mutu Permenkes No. 32/2017. Alat yang digunakan untuk mengolah air banjir ini adalah filter. Filter ini diupayakan bisa dipindah-pindahkan atau dibawa dengan mudah. Filter ini adalah modifikasi filter konvensional yang biasa digunakan di PDAM, yaitu menggunakan media pasir dengan tambahan media lainnya.

Aliran air filter PDAM biasanya ke bawah atau downflow tetapi alat ini didesain dengan aliran upflow. Aliran ke atas ini membutuhkan energi agar airnya bisa mengalir. Sumber energinya adalah tenaga manusia sehingga tetap bisa digunakan pada saat listrik padam atau belum ada pasokan energi listrik. Untuk meningkatkan kualitas air olahannya (filtrat) maka alat filter ini juga diisi dengan antrasit di bagian atas. Modifikasi media filter (filter bed) bisa dengan berbagai bahan atau zat yang tersedia di lokasi banjir dengan satu syarat, yaitu media harus berbentuk butiran kecil seperti pasir dan kuat atau tidak mudah pecah. Apabila getas maka filter akan cepat tersumbat.

Dengan demikian dapat diringkaskan bahwa tujuan penelitian ini adalah (a) Membuat desain filter portabel tepat guna yang efektif dalam mengurangi kekeruhan air banjir; (b) Mengetahui kinerja filter, baik hal-hal positif maupun negatifnya dalam mengolah air banjir; (c) Mengetahui pengaruh tekanan (dalam hal ini adalah berat benda sebagai beban yang diasumsikan sebagai tekanan dan gaya tekan tangan manusia) terhadap keefektifan filter dalam menurunkan kekeruhan air banjir.

METODOLOGI

Penelitan ini bertujuan untuk merancang, merakit dan menguji keefektifan desain filter portabel tepat guna dalam menurunkan kekeruhan air banjir. Penelitian ini bersifat kuasi eksperimen. Menurut Arikunto di dalam penelitian Jayanti (2018), ada tiga model pada kuasi eksperimen, yaitu one - shot case study, pre-test-post-test group dan static group comparison. Teknik yang digunakan untuk mengumpulkan data penelitian ini adalah dengan metode pre-test post-test group terhadap sampel air yang diteliti serta diukur dengan turbidimeter.

Variabel penelitian ini terdiri atas tiga variabel, yaitu variabel independen, variabel dependen dan variabel pengganggu. Analisis data pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai keefektifan filtrasi alat filter dalam menurunkan kekeruhan dan menguji ada tidaknya pengaruh tekanan pada filter terhadap keefektifan filtrasi oleh filter penurun kekeruhan. Adapun perhitungan efisiensi filter adalah sebagai berikut:

% Efisiensi = x 100% (1)

Untuk mengurangi kekeruhan air banjir mka peneliti merancang, merakit dan menguji alat filter portabel tepat guna (disingkat FPG) dengan tekanan dari tenaga manusia. Untuk mengetahui besar-kecilnya tekanan tersebut maka digunakan benda dengan berat tertentu yang diletakkan di atas tuas (pompa penekan) filter. Filter ini mengalirkan air dari bawah ke atas dan air baku ini difiltrasi oleh media pasir silika, kerikil, antrasit dan spons.

Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahap perlakuan. Yang pertama adalah menguji sampel air sebelum filtrasi, yang kedua adalah menguji keefektifan filter dengan mengukur kekeruhan air banjir sebelum dan sesudah diolah oleh filter yang diberi beban atau benda seberat 2 kg. Yang ketiga adalah menguji keefektifan filter dengan mengukur kekeruhan air banjir sebelum dan sesudah diolah oleh filter yang diberi beban seberat 4 kg. Berat tersebut adalah asumsi berat yang akan diteria oleh filter pada saat ditekan oleh orang remaja atau dewasa. Selajutnya kualitas air olahan filter ini dirujuk pada Permenkes No. 32 tahun 2017 yang menetapkan bahwa maksimum nilai kekeruhan untuk air higiene sanitasi adalah 25 NTU.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan filter diberikan dalam foto dan gambar seperti tampak di sini. Yang ditampilkan adalah hasil trial-error terakhir dan digunakan sebagai objek penelitian. Filter desain terakhir inilah yang diteliti dan hasilnya ditabelkan berikut ini. Tabel berisi data kekeruhan awal, kekeruhan akhir, dan efisiensi reduksi yang mampu dicapai oleh filter.

Tabel

Hasil pembebanan, yaitu efisiensi serial percobaan pada eksperimen pertama ditabelkan pada Tabel 1. Secara garis besar bisa dilihat bahwa mayoritas efisiensi di atas 90%.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Kekeruhan FPG 1

Percobaan	Pengulangan Pengukuran	FPG.1		Persentase Pengurangan (%)	Standar Permenkes (NTU)
		Influent (NTU)	Effluent (NTU)		
Percobaan 1	Pengulangan 1	220	31	**85,91**	25
	Pengulangan 2	220	18	91,82	
Percobaan 2	Pengulangan 1	220	18	91,82	
	Pengulangan 2	220	19	91,36	
Percobaan 3	Pengulangan 1	220	16	**92,73**	
	Pengulangan 2	220	19	91,36	
Rata-rata		220	20,17	90,83	

Hasil pembebanan, yaitu efisiensi serial percobaan pada eksperimen kedua ditabelkan pada Tabel 2. Efisiensi pada eksperimen kedua ini lebih kecil dari 90% tetapi hampir semua di atas 85%.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Kekeruhan FPG 2

Percobaan	Pengulangan Pengukuran	FPG.2		Persentase Pengurangan (%)	Standar Permenkes (NTU)
		Influent (NTU)	Effluent (NTU)		
Percobaan 1	Pengulangan 1	220	34	**84,55**	25
	Pengulangan 2	220	29	86,82	
Percobaan 2	Pengulangan 1	220	33	85,00	
	Pengulangan 2	220	27	87,73	
Percobaan 3	Pengulangan 1	220	24	**89,09**	
	Pengulangan 2	220	31	85,91	
Rata-rata		220	29,67	86,52	

Tabel 3. Kekeruhan Setelah Perlakuan pada FPG.1 dan FPG.2

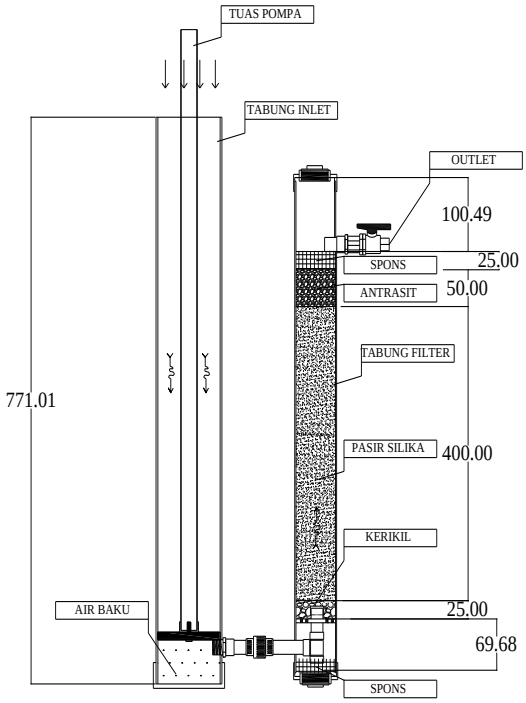
Percobaan	Pengulangan Pengukuran	FPG.2		Persentase Pengurangan (%)	Standar Permenkes (NTU)
		Influent (NTU)	Effluent (NTU)		
Percobaan 1	Pengulangan 1	220	34	**84,55**	25
	Pengulangan 2	220	29	86,82	
Percobaan 2	Pengulangan 1	220	33	85,00	
	Pengulangan 2	220	27	87,73	
Percobaan 3	Pengulangan 1	220	24	**89,09**	
	Pengulangan 2	220	31	85,91	
Rata-rata		220	29,67	86,52	

Hasil pemeriksaan kekeruhan air filtrat pada filter yang diberi tekanan 0,025 kgf/cm^2 diperolah efisiensi penurunan kekeruhan 90,83%. Kinerja filter yang diberi tekanan 0,050 kgf/cm^2 adalah 86,52%.
Dengan mengacu pada hasil tersebut maka diperoleh informasi bahwa filter portabel tepat guna bertekanan 0,025 kgf/cm^2 memiliki kinerja lebih tinggi dalam mereduksi kekeruhan air banjir sehingga memenuhi syarat baku mutu untuk air sanitasi atau MCK

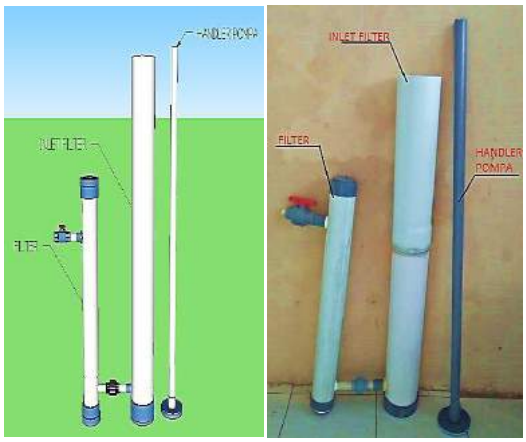
Gambar

Gambar 1 adalah hasil perancangan filter dari beberapa desain yang dibuat dan dianalisis. Filter terdiri atas dua tabung atau ruang (chamber), yaitu ruang air umpan (feed water) dan ruang filter. Di dalam ruang umpan diisi tuas dan klep untuk menekan air banjir agar mengalir ke ruang filter. Di ruang filter diisi media atau filter bed.

Pada Gambar 2 ditampilkan gambar tiga dimensi filter dan foto filter dengan tuas pendorong yang dilengkapi dengan klep di bagian bawah. Outlet berada di bagian atas filter. Dalam foto ini tidak diperlihatkan rangka dudukan filter agar stabil berdiri.



Gambar 1. Desain Filter Portabel Tepat Guna



Gambar 2. Desain Efektif Filter Portabel

KESIMPULAN

Desain filter portabel tepat guna pengolah air banjir menjadi air bersih untuk keperluan sanitasi dan MCK dengan media pasir silika, antrasit, kerikil dan spons dibuat untuk menerima tekanan manual dengan aliran upflow efektif menurunkan kekeruhan air banjir. Bagian yang masih perlu dikembangkan dalam filter air banjir ini adalah (a) Volume air olahan filter relatif sedikit. (b) Filter sensitif pada tekanan besar (c) Filter belum kukuh atau kuat. Tekanan 0,025 kgf/cm^2 mampu menurunkan kekeruhan dari 220 NTU menjadi 20,17 NTU, efisiensi 90,83%. Tekanan 0,051 kgf/cm^2 mampu menurunkan kekeruhan dari 220 menjadi 29,67 NTU, efisiensi 86,52%. E. Filter portabel air banjir dengan tekanan 0,025 kgf/cm^2 dapat menghasilkan volume air produksi 100-150 liter. Filter ini masih perlu diteliti dalam hal kekuatan, jenis dan susunan media filter. Portabilitas dan volume air poduksinya. Filter berpeluang menjadi alternatif solusi bagi daerah yang sering banjir dan listriknya sering padam.

DAFTAR PUSTAKA

Pandiangan, K. A. (2018). Perencanaan Dan Perancangan Instalasi Pengolahan Air Bersih Di Kecamatan Pantai Labu Kabupaten Deli Serdang. Sumatera Utara: Tugas Akhir, http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/ 123456789/9208/120407010.pdf

Jayanti, P. N. (2018). Efektivitas Penggunaan Kombinasi Pasir Kuarsa Dan Batu Zeolit Dalam Penurunan Kadar Besi (Fe) Pada Air Sumur Gali Studi Dilaksanakan Di Jalan Sidakarya Gang Taman Suci, Desa Sidakarya. Thesis, http://repository.poltekkes denpasar.ac.id/144/.pdf

Shalihat, A. K. (2015). Pola Adaptasi Masyarakat di Perumahan Genuk Indah Kota Semarang. Semarang: Skripsi, https://lib.unnes.ac.id/21284/1/3211410026-s.pdf.

Dokumen lembaga

Permenkes RI NO.32 Tahun 2017. (t.thn.). Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi,Kolam Renang,Solus Per Aqua,Dan Pemandian Umum. Jakarta: Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 864.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Studi Efisiensi Dimensi Pipa Induk Jaringan Air Limbah di Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur, Kabupaten Karawang

Ericha Salsabila Rudiantono, Lailatus Siami, Winarni

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti

E-mail: lailatus.siami@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Perencanaan pipa induk sistem penyaluran air limbah di Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur direncanakan sampai dengan tahun 2040 dengan proyeksi penduduk sekitar 404.568 jiwa, cakupan pelayanan sebesar 100% dan debit air limbah sebesar 502,66 L/detik. Alternatif 1 direncanakan jalur pipa terpendek dengan panjang pipa induk 15.750 m dan diameter pipa berkisar antara 400–1.200 mm. Alternatif 2 direncanakan jalur pipa induk dengan mempertimbangkan agar beban pipa terhadap debit air limbah tidak terlalu berat dengan panjang pipa induk 20.230 m dan diameter pipa berkisar 500–1.200 mm. Perencanaan ini bertujuan untuk menentukan efisiensi dimensi pipa induk dari dua alternatif. Metode yang digunakan adalah hidrolika saluran terbuka untuk aliran pipa tidak penuh dibantu dengan grafik Design of Main Sewer. Alternatif jalur yang paling optimal dari segi efisiensi pipa yaitu alternatif 2 karena rasio Qfull saluran/Qfull hitung rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan alternatif 1. Rasio Qfull saluran/Qfull hitung rata-rata alternatif 1 adalah 1,089 dan alternatif 2 adalah 1,071. Jalur pipa yang efisien didasarkan pada diameter saluran yang digunakan dan pemilihan slope saluran. Selain itu, pemilihan diameter saluran yang efisien dapat menghemat biaya investasi.

Kata kunci : Sistem Penyaluran Air Limbah, Kabupaten Karawang, efisiensi, pipa induk

ABSTRACT

The planning of the main sewer of sewerage system in West Karawang and East Karawang Sub-district is designed for the period up to 2040, to serve 100% of the population of 404.568 people and wastewater flow rate is 502,66 L/sec. Alternative 1 is planned to have the shortest main sewer with a total length of the main pipe is 15.750 m and a pipe diameter of 400–1200 mm. Alternative 2 is planned with the consideration that the pipe load to wastewater flow rate is not too heavy with the total length of the main pipe is 20.230 m and pipe diameter of 500-1200 mm. This plan aims to determine the dimension efficiency of the main sewer from the two alternatives. The method used is open-channel hydraulics for partially full pipe flow and assisted by following graph Design of Main Sewer. The most optimal alternative in terms of pipe efficiency is alternative 2 because the average Qfull pipe/Qfull design is lower than alternative 1. The average Qfull pipe/Qfull design ratio for alternative 1 is 1,089 and for alternative 2 is 1,071. Pipe efficiencies are based on the pipe diameter and pipe slope. In addition, efficient pipe diameter saves the investment cost.

Keywords : Sewerage system, Kabupaten Karawang, eficiency, main pipe

PENDAHULUAN

Tujuan 6 *Sustainable Development Goals* (SDGs) yaitu memastikan pada tahun 2030 masyarakat mencapai akses universal air minum dan sanitasi. Di Indonesia, pemerintah melakukan upaya dalam mendukung tujuan SDGs tersebut melalui RPJMN 2015-2019 yaitu menetapkan target program "100-0-100" yaitu pencapaian akses air minum layak 100%, mengurangi permukiman kumuh hingga 0% dan menyediakan akses sanitasi layak 100%. Target pemerintah yang termasuk dalam aspek sanitasi dimaksud untuk meningkatkan akses penduduk terhadap sanitasi layak (sampah, air limbah domestik, dan drainase) menjadi 100% pada tingkat kebutuhan dasar masyarakat.

Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur merupakan kecamatan di Kabupaten Karawang, dimana kecamatan ini merupakan daerah permukiman sebagai daerah penyangga kawasan industri di Kabupaten Karawang. Pelayanan limbah domestik di Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur sebagian besar menggunakan sistem setempat (*on site*) dan belum menggunakan sistem terpusat (*off site*). Persentase rumah tangga yang menggunakan tangki septik di Kecamatan Karawang Barat sebesar 98,01% dan Kecamatan Karawang Timur sebesar 93,87% (Badan Pusat Statistik, 2018).

Air limbah yang dikelola dengan sistem setempat (*on site*) memiliki kemungkinan lebih tinggi mencemari air tanah dan air permukaan dan akan berdampak pada kesehatan masyarakat maupun kelestarian lingkungan. Oleh karena itu, perlu untuk merancang sistem penyaluran air limbah dengan sistem terpusat untuk meningkatkan sanitasi dan kesehatan lingkungan di permukiman Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur. Dengan adanya sistem pengelolaan air limbah terpusat (*off site*), air limbah yang disalurkan dapat diolah dahulu di Instalasi Pengolahan Air Limbah sebelum dialirkan ke badan air sehingga dapat meminimalisir terjadinya pencemaran air tanah dan permukaan oleh air limbah, selain itu masyarakat dan lingkungan sekitar dapat terjaga dari dampak-dampak yang ditimbulkan oleh air limbah.

Sistem penyaluran air limbah direncanakan sampai dengan dengan tahun 2040 dengan proyeksi penduduk sekitar 404.568 jiwa dengan cakupan pelayanan mencapai 100%. Pipa saluran air limbah dari dua kecamatan ini direncanakan mengalir ke satu IPAL yang terletak di Kelurahan Tunggakjati dengan debit air limbah sebesar 502,66 L/detik. Adapun perencanaan ini bertujuan untuk menentukan dimensi pipa induk sistem penyaluran air limbah yang efisien, dari dua alternatif jalur pipa induk.

Evaluasi dimensi saluran air limbah dapat bermanfaat untuk perencanaan dan pembangunan lanjutan yang serupa guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi, mulai dari tahapan awal sampai pengoperasian. Untuk tahapan awal atau pembangunan, beberapa hal yang dapat ditingkatkan keefektivitasan dan efisiensinya antara lain seperti upah pekerja, pembiayaan pembelian pipa, serta kedalaman galian termasuk pembiayaan-pembiayaannya seperti biaya penggalian, urugan dan buangan tanah, sedangkan ketika pengoperasian efektivitas dan efisiensi dapat terlihat peningkatannya dari kelancaran saluran menyalurkan air buangan yang dipengaruhi nilai d/D atau nilai perbandingan kedalaman air dan diameter saluran (Abdillah, 2016).

ka penelitian ini bermaksud memberikan opsi alat penjernih air banjir. Tujuannya adalah merancang bentuk alat, kemudian membuat beberapa alat dan mengujinya dengan memberikan umpan air banjir untuk diolah. Kualitas air olahan alat ini diharapkan memenuhi persyaratan baku mutu Permenkes No. 32/2017. Alat yang digunakan untuk mengolah air banjir ini adalah filter. Filter ini diupayakan bisa dipindah-pindahkan atau dibawa dengan mudah. Filter ini adalah modifikasi filter konvensional yang biasa digunakan di PDAM, yaitu menggunakan media pasir dengan tambahan media lainnya.

Aliran air filter PDAM biasanya ke bawah atau downflow tetapi alat ini didesain dengan aliran upflow. Aliran ke atas ini membutuhkan energi agar airnya bisa mengalir. Sumber energinya adalah tenaga manusia sehingga tetap bisa digunakan pada saat listrik padam atau belum ada pasokan energi listrik. Untuk meningkatkan kualitas air olahannya (filtrat) maka alat filter ini juga diisi dengan antrasit di bagian atas. Modifikasi media filter (filter bed) bisa dengan berbagai bahan atau zat yang tersedia di lokasi banjir dengan satu syarat, yaitu media harus berbentuk butiran kecil seperti pasir dan kuat atau tidak mudah pecah. Apabila getas maka filter akan cepat tersumbat.

Dengan demikian dapat diringkaskan bahwa tujuan penelitian ini adalah (a) Membuat desain filter portabel tepat guna yang efektif dalam mengurangi kekeruhan air banjir; (b) Mengetahui kinerja filter, baik hal-hal positif maupun negatifnya dalam mengolah air banjir; (c) Mengetahui pengaruh tekanan (dalam hal ini

adalah berat benda sebagai beban yang diasumsikan sebagai tekanan dan gaya tekan tangan manusia) terhadap keefektifan filter dalam menurunkan kekeruhan air banjir.

METODOLOGI

Data

Debit puncak air limbah (Q_{peak}) pada alternatif 1 sebesar 1039,91 L/detik. Rincian dimensi saluran dan debit puncak air limbah (Q_{peak}) per jalur alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 1 dan peta jalur alternatif 2 dapat dilihat pada Gambar 1.

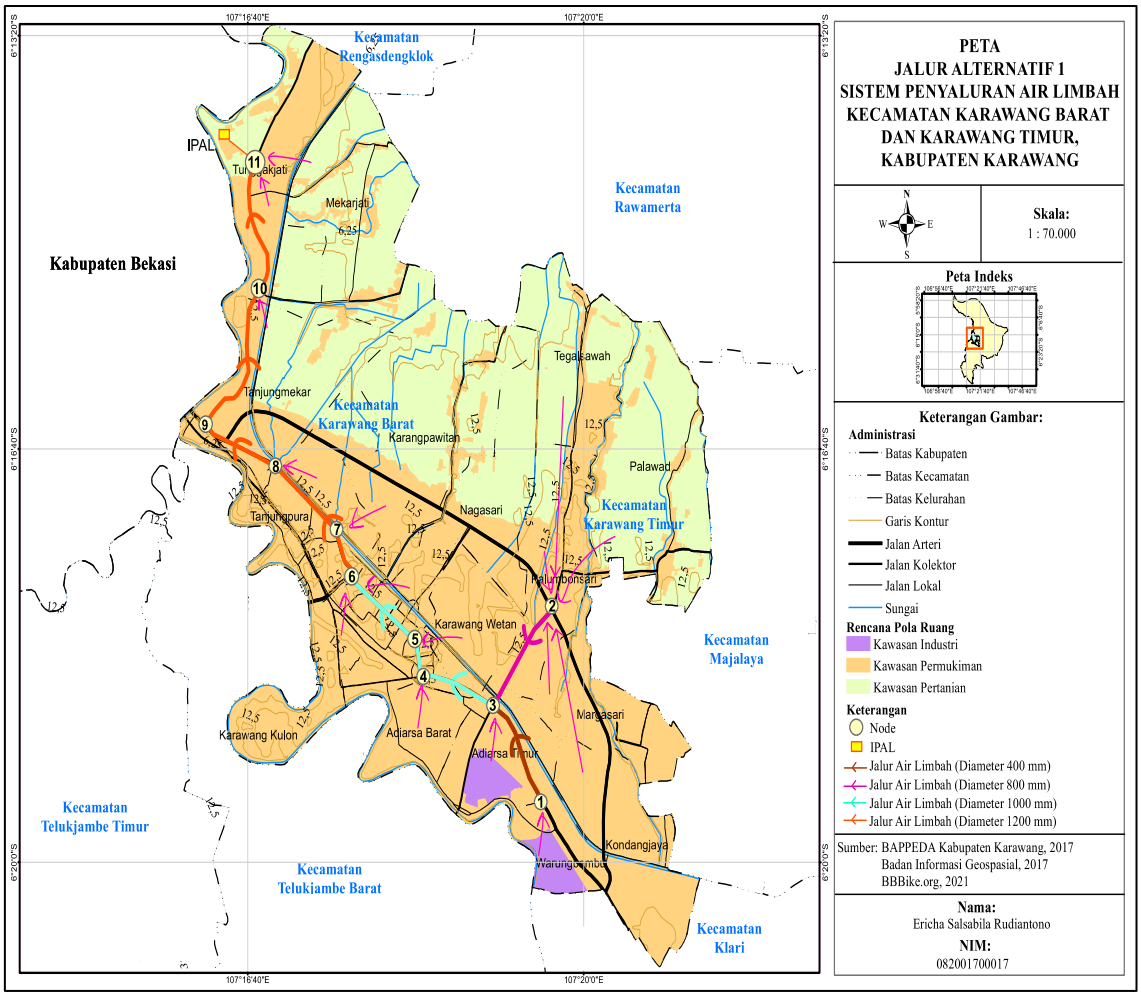
Tabel 1. Rincian Dimensi Saluran dan Debit Puncak Air Limbah (Q_{peak}) Per Jalur Alternatif 1

Jalur Pipa (No. Manhole)		Panjang Pipa	Diameter Pipa	Q_{peak}
Dari	Ke	(m)	(m)	(m^3/detik)
1	3	1425	0,4	0,05
2	3	1800	0,8	0,34
3	4	1630	1	0,42
4	5	525	1	0,49
5	6	1445	1	0,59
6	7	885	1,2	0,74
7	8	1480	1,2	0,83
8	9	1370	1,2	0,89
9	10	2475	1,2	0,90
10	11	2035	1,2	0,95
11	IPAL	680	1,2	1,04

Debit puncak air limbah (Q_{peak}) pada alternatif 2 sebesar 1048,87 L/detik. Rincian dimensi dan debit puncak air limbah (Q_{peak}) per jalur alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 2 dan peta jalur alternatif 2 dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Rincian Dimensi Saluran dan Debit Puncak Air Limbah (Q_{peak}) Per Jalur Alternatif 2

Jalur Pipa (No. Manhole)		Panjang Pipa	Diameter Pipa	Q_{peak}
Dari	Ke	(m)	(m)	($m^{3/}$detik)
1	2	1630	0,5	0,12
2	3	1970	0,8	0,21
3	11	3300	0,8	0,31
4	5	600	0,6	0,17
5	6	885	0,8	0,34
6	7	1225	1	0,44
7	8	2270	1	0,53
8	9	845	1	0,62
9	10	1275	1,2	0,69
10	11	600	1,2	0,69
11	12	440	1,2	0,90
12	13	2475	1,2	0,91
13	14	2035	1,2	0,96
14	IPAL	680	1,2	1,05



Gambar 1. Peta Jalur Alternatif 1

Metode

Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah hidrolika saluran terbuka untuk aliran pipa tidak penuh dibantu dengan grafik *Design of Main Sewer* (*Graphic Hydraulic Elements of Circular Sewers Running Party Full Manning Formula*) (Fair, et al., 1966). Efisiensi pipa induk berdasarkan perbandingan debit air limbah saat pipa penuh pada saluran (Q_{full} saluran) dengan debit air limbah saat pipa penuh pada perhitungan desain (Q_{full} hitung) dan kecepatan pengaliran saluran saat puncak (v_{peak}) yang memenuhi kecepatan *self cleansing* sebesar 0,6-3 m/detik (Tjokrokusumo, 1999). Jika kecepatan aliran kurang dari 0,6 m/detik, maka diameter pipa harus diperkecil, sedangkan jika kecepatan aliran lebih dari 3m/detik, maka diameter pipa harus diperbesar (Firdaus, 2020). Perhitungan kecepatan *self cleaning* bertujuan untuk mengecek kondisi pipa terhadap control endapan (Utama, 2010). Diagram alir metode perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Menentukan asumsi d/D sehingga didapatkan rasio Q_{peak}/Q_{full} yang didapatkan pada grafik *Design of Main Sewer*.

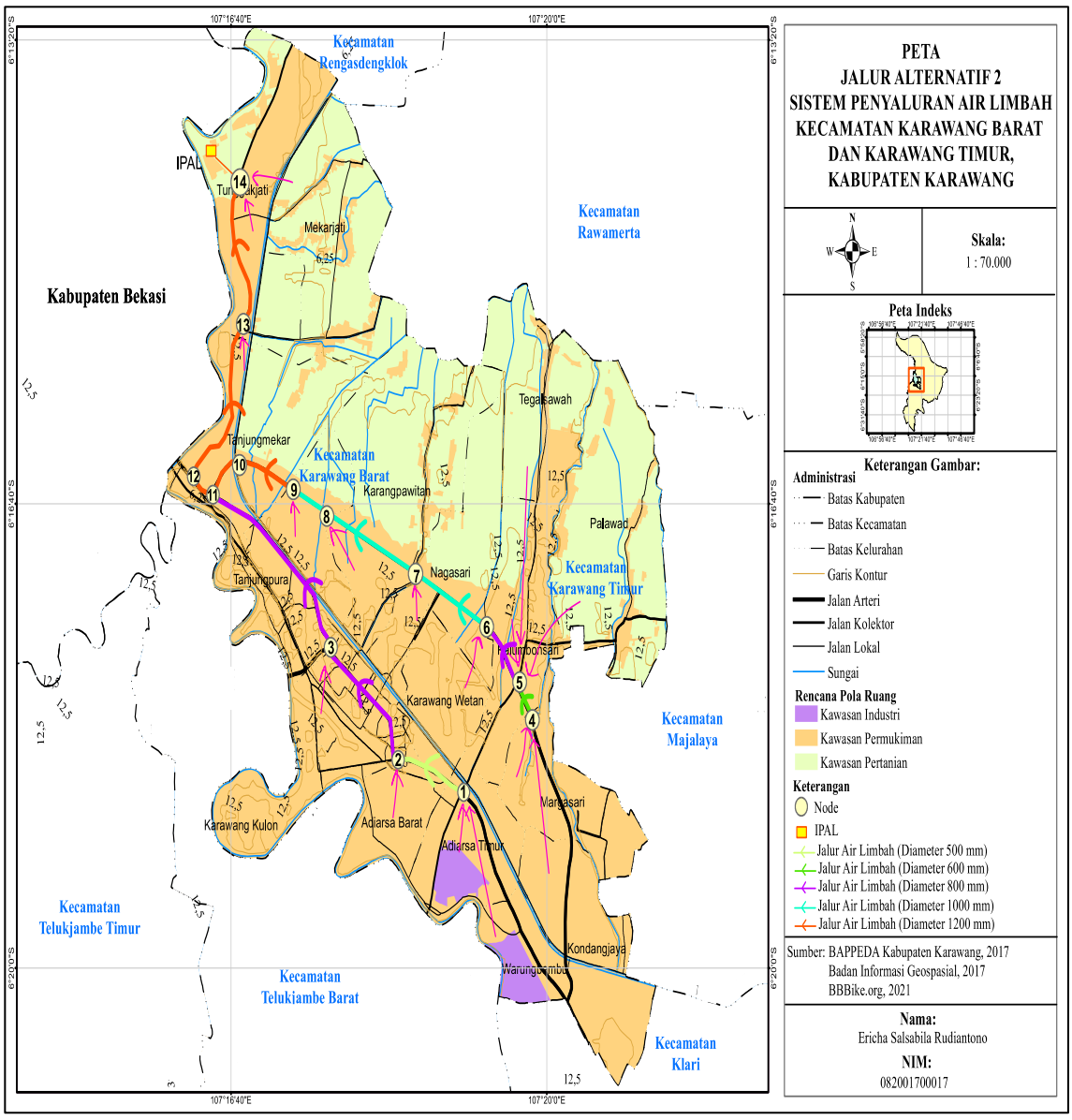
d/D	Q_{peak}/Q_{full}
0,6	0,67
0,66	0,77
0,69	0,82
0,71	0,86
0,72	0,88
0,73	0,89
0,8	0,98

b. Menghitung Q_{full} hitung menggunakan Q_{peak} dan rasio Q_{peak}/Q_{full}.
c. Menentukan *slope* saluran
d. Menghitung v_{full} saluran menggunakan persamaan Manning pada Pers. (1).

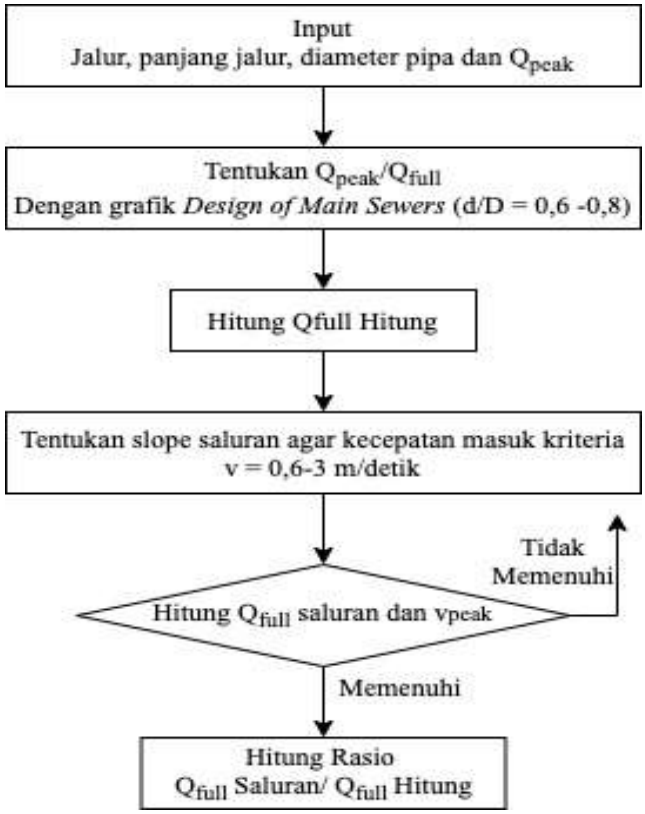
$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Keterangan:
v : Kecepatan (m/detik)
n : Koefisien kekasaran Manning
R : Jari-jari hidrolis (m)
S : *Slope* saluran

e. Menghitung Q_{full} saluran.
f. Menghitung v_{peak} saluran dengan rasio v_{peak}/v_{full} saluran.
g. Menghitung perbandingan Q_{full} saluran dengan Q_{full} hitung.



Gambar 2. Peta Jalur Alternatif 2



Gambar 3. Diagram Alir Metode Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Q_{full} saluran/Q_{full} hitung

Berdasarkan metode analisis, dilakukan perhitungan Q_{full} saluran dan v_{peak} pada setiap jalur pada alternatif 1 dan 2, kemudian Q_{full} saluran dibandingkan dengan Q_{full} hitung untuk mendapatkan rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung pada setiap jalur. Pada perhitungan Q_{full} hitung, diasumsikan nilai awal d/D sebesar 0,8 dengan nilai rasio Q_{peak}/Q_{full} sebesar 0,98 yang didapatkan dari pembacaan pada grafik *Design of Main Sewer*, sehingga dapat dihitung Q_{full} hitung alternatif 1 dan alternatif 2 dengan membandingkan Q_{peak} dengan nilai Q_{peak}/Q_{full}.

Pada perhitungan Q_{full} saluran, koefisien kekasaran manning (n) yag digunakan pada perhitungan v_{full} saluran yaitu 0,012 dengan jenis pipa yang digunakan yaitu jenis pipa beton. Nilai kemiringan pipa (*slope*) diasumsikan dengan syarat nilai Q_{full} saluran lebih besar sama dengan Q_{full} hitung dan nilai v_{full} saluran 0,6-3 m/detik. Nilai *slope* diusahakan sekecil mungkin, tetapi mampu memberikan kecepatan yang diinginkan sehingga tidak merusak permukaan saluran (Thomas, 2010). Nilai d/D dan v_{peak}/v_{full} saluran didapatkan dari pembacaan pada grafik *Design of Main Sewer* dengan menggunakan nilai rasio Q_{peak}/Q_{full} saluran yang didapatkan dari perbandingan Q_{peak} dengan Q_{full} saluran. Nilai rasio v_{peak}/v_{full} saluran digunakan untuk menghitung v_{peak} saluran. Dari hasil perhitungan v_{peak} saluran, dapat dilihat bahwa kecepatan pengaliran saat puncak (v_{peak}) pada alternatif 1 sebesar 0,69-1,07 m/detik dan alternatif 2 sebesar 0,66-1,08 m/detik dimana mencapai kecepatan *self cleansing* sebesar 0,6-3 m/detik.

Q_{full} saluran/Q_{full} hitung pada masing-masing alternatif dirata-rata sehingga dapat dibandingkan rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung rata-rata alternatif 1 dan alternatif 2. Hasil analisis rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung alternatif 1 dan alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Dari hasil analisis tersebut, didapatkan rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung rata-rata alternatif 1 adalah 1,089 dan alternatif 2 adalah 1,071. Dapat dilihat bahwa Q_{full} saluran/Q_{full} hitung rata-rata alternatif 2 lebih kecil dari alternatif 1 sehingga alternatif 2 lebih optimal dari segi efisiensi pipa. Rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung semakin mendekati nilai 1 maka semakin efisien, artinya

diameter saluran yang digunakan dan pemilihan *slope* saluran efisien sehingga debit air limbah saat pipa penuh pada saluran (Q_{full} saluran) mendekati debit air limbah saat pipa penuh pada perhitungan desain (Q_{full} hitung). Pemilihan diameter saluran yang efisien dapat menghemat biaya investasi. Pemilihan *slope* saluran juga mempengaruhi kecepatan aliran sehingga dapat memenuhi kecepatan *self cleaning* 0,6-3 m/detik.

Diameter yang tidak sesuai dengan kebutuhan akan menjadi tidak efektif dan efisien karena akan berpengaruh pada kemampuan saluran untuk mengalirkan air limbah ketika pengoperasian sistem, sedangkan beberapa hal lainnya yang terpengaruh seperti upah pekerja, biaya pembelian pipa, dan kedalaman galian termasuk pembiayaan-pembiayaan seperti biaya penggalian, urugan dan buangan tanah (Abdillah, 2016).

Tabel 3. Hasil Analisis Rasio Q_{full} Saluran/Q_{full} Hitung Alternatif 1

Jalur Pipa (No. Manhole)		D saluran	Q_{Full} Hitung	*Slope* Saluran	Q_{Full} Saluran	v_{peak} Saluran	Rasio Q_{full} Saluran/Q_{full} Hitung
Dari	Ke	(m)	(m^3/detik)		(m^3/detik)	(m/detik)	
1	3	0,4	0,06	0,00130	0,08	0,69	1,459
2	3	0,8	0,35	0,00059	0,35	0,74	1,001
3	4	1	0,43	0,00033	0,47	0,68	1,105
4	5	1	0,50	0,00060	0,64	0,90	1,271
5	6	1	0,60	0,00053	0,60	0,87	1,001
6	7	1,2	0,76	0,00042	0,87	0,86	1,142
7	8	1,2	0,84	0,00040	0,84	0,85	1,001
8	9	1,2	0,91	0,00047	0,92	0,92	1,004
9	10	1,2	0,92	0,00047	0,92	0,92	1,000
10	11	1,2	0,97	0,00053	0,97	0,98	1,001
11	IPAL	1,2	1,06	0,000632	1,06	1,07	1,001
Rata-Rata							1,089

Tabel 4. Hasil Analisis Rasio Q_{full} Saluran/Q_{full} Hitung Alternatif 2

Jalur Pipa (No. Manhole)		D saluran	Q_{Full} Hitung	*Slope* Saluran	Q_{Full} Saluran	v_{peak} Saluran	Rasio Q_{full} Saluran/Q_{full} Hitung
Dari	Ke	(m)	(m^3/detik)		(m^3/detik)	(m/detik)	
1	2	0,5	0,12	0,00086	0,12	0,70	1,001
2	3	0,8	0,22	0,00047	0,31	0,66	1,444
3	11	0,8	0,31	0,00048	0,31	0,71	1,001
4	5	0,6	0,18	0,00070	0,18	0,71	1,003
5	6	0,8	0,35	0,00059	0,35	0,79	1,001
6	7	1	0,45	0,00033	0,47	0,68	1,041
7	8	1	0,55	0,00055	0,61	0,88	1,117
8	9	1	0,64	0,00060	0,64	0,92	1,001
9	10	1,2	0,71	0,00040	0,84	0,83	1,193
10	11	1,2	0,71	0,0004	0,84	0,83	1,191
11	12	1,2	0,92	0,00048	0,93	0,93	1,004
12	13	1,2	0,93	0,000483	0,93	0,94	1,002
13	14	1,2	0,98	0,000542	0,98	0,99	1,002
14	IPAL	1,2	1,07	0,000642	1,07	1,08	1,000
Rata-Rata							1,071

Tabel 5. Perbandingan Aspek Teknis Alternatif 1 dan Alternatif 2

Bangunan Penunjang	Satuan	Alternatif 1	Alternatif 2
Pipa			
Ø400 mm	m	1425	-
Ø500 mm	m	-	1630
Ø600 mm	m	-	600
Ø800 mm	m	1800	6155
Ø1000 mm	m	3600	4340
Ø1200 mm	m	8925	7505
Jacking	Lokasi	6	2
Manhole			
Tipe A (Kedalaman 3-5 m)			
A1 (Ø500 – 800 mm)	buah	30	73
A2 (Ø900 – 1200 mm)	buah	-	36
Tipe B (Kedalaman 5-7 m)			
B2 (Ø500 – 800 mm)	buah	-	-
B2 (Ø900 – 1200 mm)	buah	89	55
Bangunan Gelontor (Volume 9 m^3)	buah	14	30

Perbandingan Biaya Investasi

Rencana anggaran biaya investasi perencanaan pipa induk jaringan air limbah di Kecamatan Karawang Barat dan Karawang Timur menggunakan perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan U mum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum dan harga upah dan bahan tahun 2019 berdasarkan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Karawang. Detail harga tiap satu pekerjaan, terdiri dari tenaga pekerja, bahan dan alat yang dibutuhkan, kemudian disesuakan dengan harga upah dan bahan tahun 2019 berdasarkan Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Karawang. Biaya investasi alternatif 1 dan alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Biaya Investasi Alternatif 1 dan Alternatif 2

Jenis Kegiatan	Alternatif 1	Alternatif 2
Pengadaan dan penanaman pipa	Rp32.877.704.568	Rp36.345.125.346
Jacking	Rp12.284.703.926	Rp4.094.901.309
Pembangunan manhole	Rp2.845.636.556	Rp2.719.626.917
Pembangunan bangunan gelontor	Rp114.093.858	Rp244.486.839
TOTAL	**Rp49.334.578.963**	**Rp43.404.140.411**

Berdasarkan rencana anggaran biaya tersebut, diketahui biaya investasi alternatif 1 sebesar Rp49.334.578.963 atau Rp3.132.354/m dan alternatif 2 sebesar Rp43.404.140.411 atau Rp2.145.533/m

dimana biaya investasi alternatif 2 lebih murah dibandingkan dengan alternatif 1. Dapat dilihat bahwa dengan pemilihan diameter saluran yang efisien dapat menghemat biaya investasi antara lain seperti upah pekerja, pembiayaan pembelian pipa, biaya penggalian, urugan dan buangan tanah,

KESIMPULAN

Alternatif jalur yang paling optimal dari segi efisiensi pipa yaitu alternatif 2 karena rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan alternatif 1. Rasio Q_{full} saluran/Q_{full} hitung rata-rata alternatif 1 adalah 1,089 dan alternatif 2 adalah 1,071. Jalur pipa yang efisien didasarkan pada diameter saluran yang digunakan dan pemilihan *slope* saluran sehingga debit air limbah saat pipa penuh pada saluran (Q_{full} saluran) mendekati debit air limbah saat pipa penuh pada perhitungan desain (Q_{full} hitung). Pemilihan *slope* saluran juga mempengaruhi kecepatan aliran sehingga dapat memenuhi kecepatan *self cleaning* 0,6-3 m/detik. Pemilihan diameter saluran yang efisien menghemat biaya investasi. Biaya investasi alternatif 1 sebesar Rp49.334.578.963 atau Rp3.132.354/m dan alternatif 2 sebesar Rp43.404.140.411 atau Rp2.145.533/m dimana biaya investasi alternatif 2 lebih murah dibandingkan dengan alternatif 1.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, F.M., Sururi, M. R. (2016). Evaluasi Dimensi Saluran Air Buangan Komunal Kampung Tegal Kawung RT 5 RW 8 Cipageran Kota Cimahi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *4*(2), 2. https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v4i2.%25p

Badan Pusat Statistik. (2019). *Kabupaten Karawang Dalam Angka 2019*.

Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. (2019). Harga Upah dan Bahan Tahun 2019. Karawang: Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Karawang.

Firdaus, A. B., Pribadi, A., Nengse, S., Utama, T. T., Nilandita, W. (2020). The Development Plan of a Centralized Domestic Wastewater Sewerage System Network in the South Area of Surakarta. *Jurnal Konversi*, *9*(2), 59. http://dx.doi.org/10.20527/k.v9i2.8889

G. M. Fair, J. C. Geyer, D. A. Okun. (1966). *Water and Wastewater Engineering Volume 1: Water Supply and Wastewater Removal*. New York: John Willey and Sons, Inc.

Hardjosuprapto, Moh. Masduki (MODUTO). (2000). *Penyaluran Air Buangan Vol II*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Peraturan Daerah Kabupaten Karawang Nomor 2 Tahun 2013 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karawang Tahun 2011-2031. (2013).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. (2016).

Qasim, SR. (1985). *Wastewater Treatment Plant (Planning, Design, and Operation)*. New York (US): CBS Collage Publishing.

Thomas, L. (2010). Planning of Hydraulic Piping System. *Journal of Civil Engineering*, *37*, 165-173.

Tjokrokusumo KRT. (1999). *Pengantar Enjiniring Lingkungan*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Lingkungan Hidup YLH.

Utama, T. T. (2010). *Detail Engineering Design (DED) Sistem Penyaluran Air Buangan Perumahan Sehat Hunian (RSH) Griya Sidoharjo Asri, Kecamatan Sidoharjo, Kabupaten Sragen.* Universitas Diponegoro.

NOMENKLATUR

Q_{full} saluran : Debit air limbah saat pipa penuh pada saluran (m^3/detik)
Q_{full} hitung : Debit air limbah saat pipa penuh pada perhitungan desain (m^3/detik)
Q_{peak} : Debit puncak air limbah (m^3/detik)
v : Kecepatan (m/detik)
n : Koefisien kekasaran Manning
R : Jari-jari hidrolis (m)
S : *Slope* saluran

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Analisa Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Jagung Daerah Irigasi Batang Bayang, Ujuang Gadiang, Pasaman Barat dengan Aplikasi CROPWAT 8.0

Nurhamidah[a], Siska Wulandari[a], Ahmad Junaidi[a]

[a]Jurusan teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, kampus Limau Manis, Padang Barat, Padang 25114, Sumatera Barat

E-mail: siskawulandarisiska9@gmail.com

ABSTRAK

Alih fungsi lahan dari sawah dan perkebunan palawija menjadi pemukiman dan perkebunan kelapa sawit membuat kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Batang Bayang seluas 4.100 Ha berubah. Kebutuhan air irigasi dihitung dengan aplikasi CROPWAT 8.0 yang menggunakan data klimatologi, data curah hujan, data tanaman dan data tanah. Data klimatologi menggunakan data stasiun Silapiang yang dekat dengan Ujuang Gadiang, curah hujan yang digunakan adalah curah hujan efektif yang diperoleh dari pengolahan stasiun curah hujan terdekat yaitu stasiun klimatologi Ujung Gadiang. Nilai Evapotranspirasi Potensial (ETo) akan dihitung dengan metoda Penman-Monteith. Data tanah menggunakan data tanah lokal yaitu Black Clay Soil. Nilai ETo rata-rata yang diperoleh adalah 3,01 mm/hari. Nilai ETc tergantung pada koefisien tanaman (Kc). Analisa perhitungan dilakukan untuk tanaman padi yang ingin ditingkatkan produksinya dan tanaman palawija yang diwakili oleh jagung. Dari hasil analisis diketahui bahwa untuk tanaman padi kebutuhan air tanaman (IR) terbesar terjadi pada dekade kedua bulan September yaitu 636,3 mm/des atau 7,36 lt/dt/Ha, dan debit kebutuhan air irigasi untuk seluruh Daerah Irigasi adalah 30,19 m^3/dt. Sedangkan untuk tanaman palawija, kebutuhan air terbesar terjadi pada dekade pertama bulan September yaitu 276 mm/des atau 3,19 lt/dt/Ha, dengan debit kebutuhan air 13,10 m^3/dt. Dari hasil kajian dan laporan akhir BWS tahun 2005, diperoleh debit andalan Batang Bayang sebesar 1,0 m^3/det, yang artinya ketersediaan air di Daerah Irigasi Batang Bayang kurang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi tersebut.

Kata kunci : Evapotranspirasi potensial, ETC, IR, padi, jagung

ABSTRACT

The conversion of land from rice fields and crops to settlements and oil palm plantations has changed the water requirements for irrigation in the Batang Bayang Irrigation Area of 4100 Ha. Irrigation water requirements are calculated using the CROPWAT 8.0 application which uses climatological data, rainfall data, plant data and soil data. The climatological data uses data from the Silapiang station which is close to Ujuang Gadiang, the rainfall used is the effective rainfall obtained from the processing of the nearest rainfall station, namely Ujung Gadiang climatology station. The value of Potential Evapotranspiration (ETo) will be calculated using the Penman-Monteith method. Soil data uses local general data, namely Black Clay Soil. The average ETo value obtained is 3.01 mm/day. The value of ETc depends on the plant coefficient (Kc). The calculation is for rice plants wanting to increase their production and secondary crops displayed by corn. From the results of the analysis, it was found that for rice plants, the largest irrigation requirements (IR) occurred in the second decade of September, which was 636.3 mm/dec or 7.36 lt/sec/Ha, and the discharge of water requirements for the entire Irrigation Area is 30.19 m^3/sec. Meanwhile, for crops, the largest water requirement occurs in the first decade of September, which is 276 mm/dec or 3.19 lt/sec/Ha, with a discharge of water requirements is 13.10 m^3/sec. From the results of the study and the final report of the BWS in 2005, the mainstay

discharge of Batang Bayang was 1.0 m^3/sec, which means that the availability of water in the Batang Bayang Irrigation Area is insufficient to fulfill the irrigation water requirements.

Keywords : Evapotranspiration potential, ETC, IR, rice, corn

PENDAHULUAN

Alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman dan perkebunan sawit membuat kebutuhan air tanaman daerah irigasi Batang Bayang, Ujung Gading, Pasaman Barat juga berubah. Sungai Bayang yang menjadi sumber irigasi Batang Bayang nyatanya debitnya tidak dapat mencukupi untuk seluruh areal irigasi Batang Bayang, baik pada musim hujan, maupun pada musim kemarau, padahal pada tahun 2003 sudah dibangun bendung dengan tinggi mercu bendung 1 m. Oleh karena itu, sungai Bayang memerlukan suplai untuk mencukupi kebutuhan air daerah irigasi Batang Bayang, yaitu dari Batang Sikabau yang lokasinya berdekatan dengan Batang Bayang. Oleh karena itu sejak tahun 2017 dibangunlah bangunan bendung batang Sikabau dengan saluran suplesi yang dialirkan ke saluran induk Batang Bayang. Hal ini selain untuk memenuhi keutuhan air irigasi Batang Bayang, juga untuk menambah luas layanan irigasi dan produksi padi di daerah irigasi tersebut. Kebutuhan air tanaman yang direncanakan seluas 4100 Ha diperlukan untuk perencanaan kedepannya. Oleh karena itu penulis menghitung kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi dan palawija yang diwakili oleh jagung di daerah irigasi Batang Bayang tersebut dengan menggunakan aplikasi CROPWAT 8.0.

METODOLOGI

Data Iklim

Data-data iklim sangat diperlukan dalam perhitungan evapotranspirasi potensial (ETo). Iklim suatu daerah bisa berbeda dengan daerah yang lainnya tergantung pada letak atau koordinat lokasi tersebut. Data iklim yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Suhu udara *(temperature)* maksimum dan minimum dalam satuan derajat celcius (°C);
2. Kelembaban udara *(humidity)* rata-rata dalam persen (%);
3. Kecepatan angin *(wind)* rata-rata dalam satuan meter per detik (m/s) atau km/hari;
4. Lama penyinaran matahari *(sun)* dalam satu hari dalam satuan jam atau %;

Sedangkan untuk data topografi, maka data yang dipakai adalah sebagai berikut:

a. Data *latitude*, yaitu data koordinat lintang dan bujur lokasi stasiun klimatologi;
b. Data *altitude*, yaitu data ketinggian stasiun klimatologi di atas permukaan laut, satuannya dalam meter diatas permukaan laut (mdpl).

Evaporasi Tanaman Acuan (ETo) Metode Penman - Monteith

Menurut SNI 7745-2012 tentang tata cara perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan dengan metode Penman-Monteith, evapotranspirasi adalah banyaknya air yang dipergunakan untuk proses pertumbuhan tanaman (transpirasi) dan evaporasi dari tanah/air sebagai tempat tumbuhnya tanaman tersebut. Sedangkan evapotranspirasi acuan adalah evapotranspirasi yang terjadi pada tanaman acuan yaitu tanaman rumput yang tumbuh pada suatu lahan dengan ketinggian tanaman rumput yang tumbuh pada suatu lahan dengan ketinggian tanaman 12 cm dari perrmukaan tanah dan kebutuhan airnya tercukupi dengan baik. Evapotranspirasi perlu dihitung untuk menghitung kebutuhan air bagi tanaman.

Rumus evapotranspirasi tanaman acuan dengan metode Penman-Monteith menurut SNI 7745-2012 tentang tata cara perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan dengan metode Penman-Monteith adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{ETo} = \frac{\mathbf{0.408\Delta Rn} + \boldsymbol{\gamma}\frac{\mathbf{900}}{\mathbf{(T+273)}}\mathbf{U2(es-ea)}}{\boldsymbol{\Delta} + \boldsymbol{\gamma}\mathbf{(1+0.34U2)}} \quad (1)$$

$$Rn = Rns - Rnl \quad (2)$$

$$Rns = (1 - a)\, Rs \quad (3)$$

$Rs = (0{,}25 + 0{,}5 \frac{n}{N}) Ra$ (4)

$N = \frac{24}{\pi} \omega s$ (5)

$dr = 1+0.033\cos(\frac{2\pi}{365} J - 1{,}39) = 1 + 0{,}033\cos(0.0172\ J)$ (6)

$\delta = 0{,}409 \sin(\frac{2\pi}{365} J - 1{,}39) = 0.409 \sin(0.0172\ J\text{-}1{,}39)$ (7)

J = nomor urut hari dalam setahun

a. Untuk J bulanan (Gommes, 1983)

J = integer (30,42M-15,23) (8)

b. Untuk J harian (Craig, 1984)

J = integer $(275\frac{M}{9} - 30 + D) - 2$

$Rnl = - Rld + Rlu = f(\varepsilon a - \varepsilon vs)\sigma Tk$ (10)

$f = 0{,}9 \frac{n}{N} + 0{,}1$ (11)

Kecepatan angin pada ketinggian 2 meter (U_2) adalah sebagai berikut :

$U_2 = U_z \left(\frac{4{,}87}{\ln(67{,}8z - 5{,}42)}\right)$ (12)

Tekanan uap jenuh (e_s)(Tetens,1930) :

$e_s = 0{,}611 \exp\left(\frac{17{,}27T}{T+237{,}3}\right)$ (13)

Tekanan uap aktual (e_a) :

$e_a = e_s \times RH$ (14)

Kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu udara (Murray, 1967):

$\Delta = \frac{4098es}{(T+237{,}3)^2}$ (15)

Konstanta psikrometrik (γ)(Brunt, 1952) :

$\gamma = \frac{cpP}{\varepsilon\lambda} 10^{-3} = 0{,}00163 \frac{P}{\lambda}$ (16)

Tekanan atmosfer (P)(Burman dkk.,1987):

$P = Po \left(\frac{Tko - \tau(z - zo)}{Tko}\right)^{\frac{g}{\tau R}}$ (17)

Jika tekanan udara pada suatu stasiun tidak tersedia, maka gunakan asumsi :

Panas laten untuk penguapan (l) (Harrison, 1963):

$\lambda = 2{,}501 - (2{,}361 \times 10^{-3})T$ (18)

Normal Ratio

Data curah hujan dari stasiun klimatologi kadang tidak lengkap, biasanya ditandai dengan keterangan *unvaliable data* atau dengan simbol – (strip). Data yang hilang ini bisa saja karena alatnya rusak atau data tidak terekam. Tetapi data yang hilang tersebut bisa diperkirakan dengan beberapa pendekatan. Di penelitian ini penulis menggunakan metode normal rasio (*normal ratio methode)*.

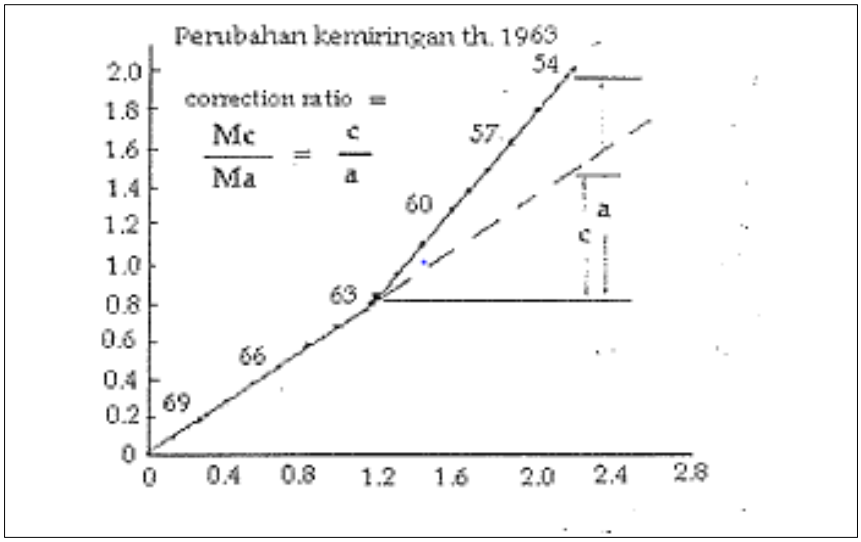
Rumus perhitungan curah hujan yang hilang dengan metode *normal rasio* adalah sebagai berikut:

$$P_x = \frac{1}{n}\left(Pa\ \frac{Nx}{Na} + Pb\ \frac{Nx}{Nb} + \cdots + Pn\ \frac{Nx}{Nn}\right) \quad (19)$$

Kurva Lengkung Massa Ganda (*Double Mass Curve*)

Kurva ini digunakan untuk menguji konsistensi data yang tidak homogeny dalam jangka waktu lama, bisa jadi karena perubahan posisi atau cara pemasangan alat ukur curah hujan yang tidak baik.
Cara menghitungnya adalah dengan melihat data perubahan kemiringan curah hujan pada grafik, kemudian pada saat kemiringan grafik berubah, maka data tersebut harus dikoreksi dengan dikalikan dengan $\frac{c}{a}$ agar kembali mengikuti kemiringan grafik sebelumnya.

$$P_{cx} = P_x \frac{Mc}{Ma} \quad (20)$$



Gambar 1. Contoh Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve*)
(sumber:http://sda.pu.go.id/balai_bendungan/file/PANDUAN%20PERENCANAAN%20BEND%20URUGAN%20VOL%202.%20ANALISIS%20HIDROLOGI.pdf)

Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif atau curah hujan andalan adalah banyaknya air hujan yang diserap oleh akar tanaman (root zone). Curah hujan efektif ditentukan besarnya R80 yang merupakan curah hujan yang besarnya dapat dilampaui sebanyak 80% atau dengan kata lain dilampauinya 8 kali kejadian dari 10 kali kejadian. Dengan kata lain bahwa besarnya curah hujan yang lebih kecil dari R80 mempunyai kemungkinan hanya 20%.
Bila dinyatakan dengan rumus adalah sebagai berikut :

$R_{80} = m/(n+1)$ (21)

$M = R_{80} \times (n + 1)$ (22)

Curah hujan efektif untuk tanaman padi adalah sebanyak 70% dari curah hujan tengah bulanan yang terlampaui 80% dari waktu periode tertentu, sedangkan untuk tanaman palawija, curah hujan efektif ditentukan dengan periode bulanan (terpenuhi 50%) dikaitkan dengan 33able ET tanaman rata-rata bulanan dan curah hujan rata-rata bulanan (USDA Soil Convertion Service (SCS), 1969).

Re = $0.7 \times R_{80}$ untuk padi (23)
Re = $0.5 \times R_{80}$ untuk palawija (24)

Black Clay Soil

Tanah lempung (*clays*) merupakan tanah dengan ukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan-pelapukan kimiawi penyusun tanah. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupashanya dengan jari tangan. Permeabilitas tanah lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Di Amerika bagian barat, untuk lempung ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin disebut "gumbo". Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Terzaghi (1987)).
Menurut USDA SCS, tanah lempung (*clays*) didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (=2 mikron).

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan irigasi tanaman tergantung oleh beberapa faktor antara lain :
a. Data curah hujan
b. Penggunaan air konsumtif (ETc)
c. Evapotranspirasi (ETo)
d. Curah hujan efektif (Re)
e. Pola tanam
f. Koefisien tanaman (Kc)
g. Perkolasi (P)
h. Efisiensi irigasi secara keseluruhan (E)
i. Penggantian lapisan air (WLR)
j. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah

Rumus yang digunakan sebagai berikut :
a. Tanaman padi

$$NFR = ETc + P - Re + WLR \quad (25)$$

b. Palawija

$$NFR = ETc - Re \quad (26)$$

CROPWAT 8.0

CROPWAT adalah alat pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Divisi Pengembangan Tanah dan Air FAO. CROPWAT ini merupakan sebuah program komputer untuk perhitungan kebutuhan air tanaman dan kebutuhan irigasi berdasarkan data tanah, iklim, dan tanaman. Selain itu, program ini juga memungkinkan pengembangan jadwal irigasi untuk kondisi manajeman yang berbeda dan perhitungan penyediaan air untuk berbagai skema pola tanaman. CROPWAT juga dapat digunakan untuk mengevaluasi praktek-praktek irigasi petani dan untuk menilai kinerja tanaman di bawah kedua kondisi tadah hujan dan irigasi.
Versi CROPWAT 8.0 merupakan versi terbaru yang telah dikembangkan oleh Divisi Pengembangan Tanah dan Air FAO. Semua prosedur perhitungan yang digunakan dalam CROPWAT 8.0 didasarkan pada dua publikasi FAO dari Irigasi dan Drainase Series, yakni nomor 56 "*Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*" dan No. 33 berjudul "*Yield response to water*".

Metodologi dan Tahap-Tahap Penelitian

Tahap Awal Penelitian

Tahap awal penelitian adalah penentuan topik penelitian dengan dosen pembimbing.

Tahap Pengumpulan Data

Tahap Analisa Data

Ada dua jenis analisa data, yaitu analisa data menggunakan Ms. Excel dan dengan menggunakan aplikasi CROPWAT 8.0.

Analisa Data Menggunakan Ms. Excel

Ms. Excel digunakan untuk mengolah data curah hujan.

Penentuan stasiun curah hujan

Data curah hujan yang diinput adalah data total curah hujan setiap bulan dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember. Kemudian data dirata-ratakan setiap bulan dari setiap tahun, minimal 10 tahun data. Untuk data curah hujan yang digunakan adalah stasiun Ujuang Gadiang dan stasiun Silapiang sebagai pembanding dari *website* PSDA, dari tahun 2003-2017 (15 tahun).

Melengkapi data curah hujan yang hilang

Dari kedua data stasiun, stasiun Ujuang Gadiang, terdapat data yang tidak lengkap yaitu pada tahun 2003, 2004, dan 2016. Sedangkan pada stasiun Silapiang terdapat data yang tidak lengkap yaitu pada tahun 2003. Karena data pada tahun 2003 di kedua stasiun tidak lengkap, maka data yang akan penulis pakai adalah pada tahun 2004-2017 (14 tahun).
Selanjutnya data yang tidak lengkap akan dilengkapi dengan metoda *normal ratio*.

Uji konsistensi data curah hujan

Data curah hujan yang telah diperbaiki tersebut selanjutnya di uji konsistensinya dengan metode kurva massa ganda *(double mass curve)*.

Tabel 1. Tinggi Curah Hujan Kumulatif Stasiun Ujuang Gadiang dan Silapiang

Tahun	Sta Ujuang Gadiang	Kumulatif Sta Ujuang Gadiang	Sta Silapiang	Kumulatif Sta Silapiang
2017	342	342	327	327
2016	590	933	596	923
2015	484	1417	629	1552
2014	619	2036	557	2109
2013	684	2720	204	2312
2012	103	2823	264	2577
2011	170	2993	291	2868
2010	489	3482	285	3153
2009	559	4041	293	3446
2008	248	4288	136	3582
2007	466	4754	365	3947
2006	268	5022	218	4165
2005	202	5225	149	4314
2004	301	5526	299	4613

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kemiringan pada grafik mendekati garis lurus, dibuktikan dengan nilai regresi yang mendekati satu. Artinya data sudah memiliki konsistensi yang baik dan dapat digunakan untuk bahan analisa.
Data yang diinput dalam aplikasi CROPWAT 8.0 adalah curah hujan efektif. Yaitu banyak air hujan yang diserap oleh akar tanaman.

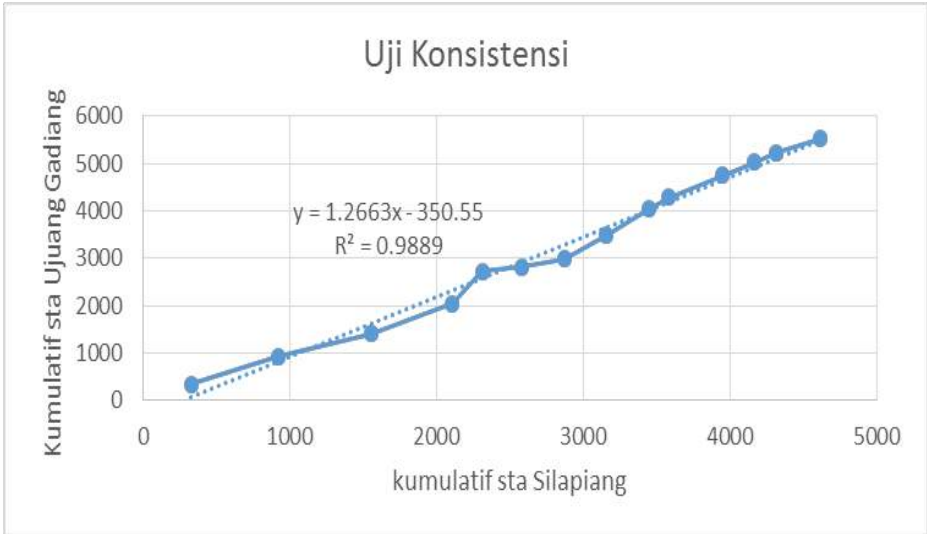
$Re = 0.7 \times R_{80}$ untuk padi (27)
$Re=0.7 \times R_{50}$ untuk palawija

Analisa Data Menggunakan CROPWAT 8.0

Untuk menghitung kebutuhan air irigasi tanaman dengan aplikasi CROPWAT 8.0 ada empat menu yang harus diinput, yaitu menu *Climate*/ *Eto*, *Rain*, *Crop* dan *Soil*. Data kebutuhan air hasil analisa akan di tampilkan pada menu CWR.

1. Menu *Climate* (klimatologi) dan Evapotranspirasi (ETo)

Ketika menjalankan CROPWAT 8.0 maka yang pertama kali dibutuhkan adalah data klimatologi. data klimatologi kemudian diinput melalui icon *Climate*/ETo pada CROPWAT 8.0.



Gambar 2. Grafik Uji Konsistensi Curah Hujan Stasiun Ujuang Gadiang dan Silapiang

(28)

Monthly ETo Penman-Monteith - E:\TEKNIK SIPIL\untuk WISUDA\TA\Batan...

Country: Indonesia Station: Silapiang

Altitude: 96 m. Latitude: 0.39 °N Longitude: 99.47 °E

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	%	MJ/m²/day	mm/day
January	14.9	32.8	96	51	38	15.9	3.24
February	17.5	33.5	97	51	51	18.8	3.82
March	18.0	33.7	97	49	52	19.3	3.97
April	18.4	33.7	97	47	23	13.4	2.91
May	18.3	34.2	97	50	22	12.6	2.76
June	17.3	34.2	97	52	21	11.9	2.63
July	17.1	34.1	97	50	24	12.6	2.73
August	17.0	34.6	97	49	29	14.1	3.07
September	16.8	33.5	97	42	22	13.4	2.89
October	16.7	34.0	97	52	12	11.5	2.59
November	16.7	33.9	98	40	19	12.5	2.72
December	16.8	33.8	98	43	23	13.0	2.82
Average	**17.1**	**33.8**	**97**	**48**	**28**	**14.1**	**3.01**

Gambar 3. Tampilan Menu *Climate*/ETo

Selanjutnya inputkan data klimatologi daerah irigasi yang ingin dihitung kebutuhan airnya.

1. *Country*, negara dimana data klimatologi berasal. Karena
2. *Station*, nama stasiun klimatologi pencatat.
3. *Altitude*, ketinggian stasiun pencatat.
4. *Latitude*, yaitu data lintang utara dan selatan stasiun klimatologi.

5. *Longitude*, yaitu data Bujur Timur dan Barat stasiun klimatologi. Data temperatur, inputkan data *temperature* (suhu) minimum dan maksimum dalam satuan °C
6. Data *Humidity* (kelembaban) (%)
7. Data *Wind* (kecepatan angin), (km/hari).
8. Data *Sun* (lama penyinaran matahari), (*% of daylength*).

2. Menu *Rain* (Data Hujan)

Selanjutnya inputkan data curah hujan efektif tersebut ke dalam CROPWAT 8.0. Untuk metoda perhitungan curah hujan efektif, lakukan pengaturan di *settings=>options=>rainfall* untuk memilih metoda perhitungannya.

1. *Fixed percentage* 70% untuk tanaman padi
   Untuk tanaman padi, data yang diinput adalah data R_{80} per bulan, kemudian pilih *settings=> options=> rainfall=> Fixed percentage* 70%
2. *USDA soil conservation service* untuk tanaman palawija.
   Untuk tanaman palawija, R_{80} per bulan dikalikan dengan 50% kemudian klik *settings=> options=> rainfall=> USDA soil conservation service USDA soil conservation service.*

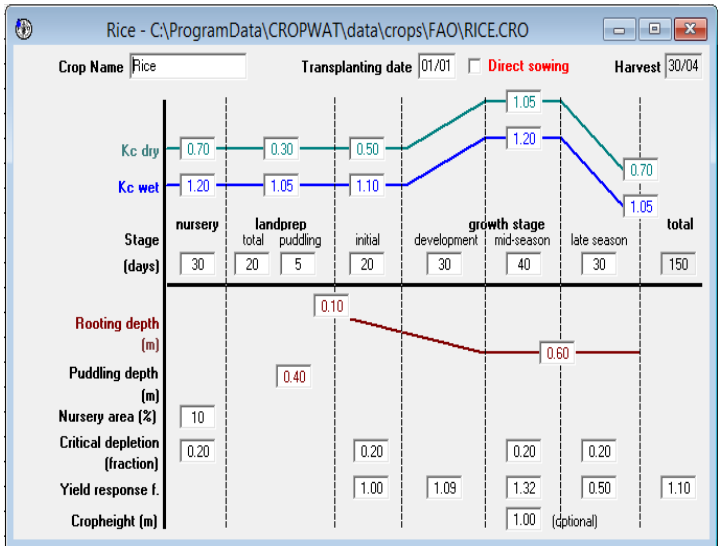
Tabel 2. Curah Hujan Efektif Tanaman Padi dan Palawija pada CROPWAT 8.0

Bulan	R_{80}	50%R_{80}
Januari	183	91.5
Februari	157	78.5
April	306	153.0
Mei	110	55.2
Juni	97	48.5
Juli	86	43.0
Agustus	118	59.0
September	0	0.0
Oktober	0	0.0
November	0	0.0
Desember	0	0.0

3. Menu *Crop* (Data Tanaman)

Untuk data tanaman, data akan diambil dari database FAO. Pada database ini terdapat banyak tanaman yang bisa dipilih. Caranya saat kita memilih menu *crop*, kemudian *open*=>FAO, dan pilih jenis tanaman pada Daerah Irigasi tersebut, yaitu padi (*rice)* dan jagung *(maize)*.

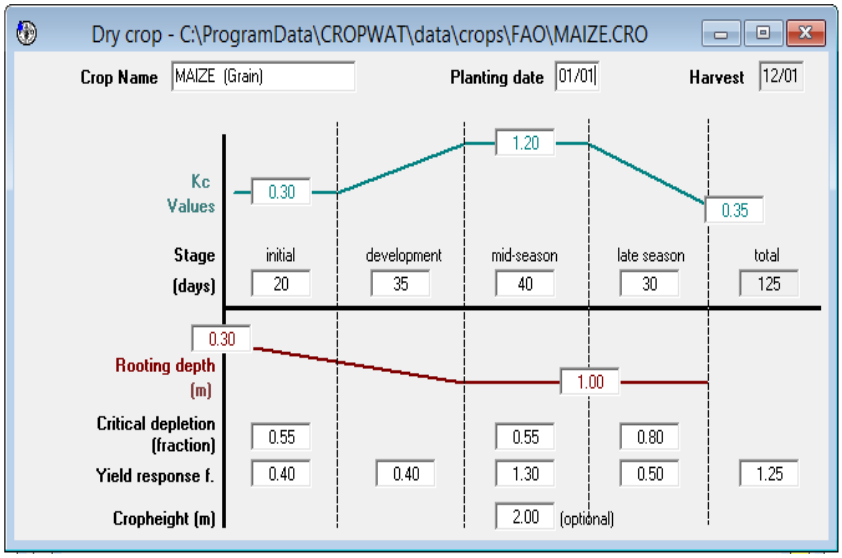
Crop (data tanaman) tanaman padi (rice)



Gambar 4. Data Tanaman Padi

Dalam menentukan ETc pada tanaman padi dalam CROPWAT 8.0 digunakan dua koefisien tanaman, yaitu koefisien basah (K_{wet}) dan koefisien kering (K_{dry}) selama masa pertumbuhan tanaman, yaitu pada masa tahap awal, pertengahan musim, dan tahap akhir. Hal ini dilakukan karena pada masa awal tanam, kondisi lahan tergenang oleh air sehingga yang berperan adalah K_{wet} sedangkan pada saat tanah kering dan tidak tergenang air, digunakan K_{dry}.
Pada tanaman padi di atas dapat dilihat bahwa umur total tanaman padi adalah 150 hari yang terdiri dari 30 hari masa pembibitan, 20 hari masa total persiapan lahan dengan 5 hari masa penggenangan, 20 hari masa awal, 30 hari masa perkembangan, 40 hari masa pertengahan, dan 30 hari masa akhir pertumbuhan.

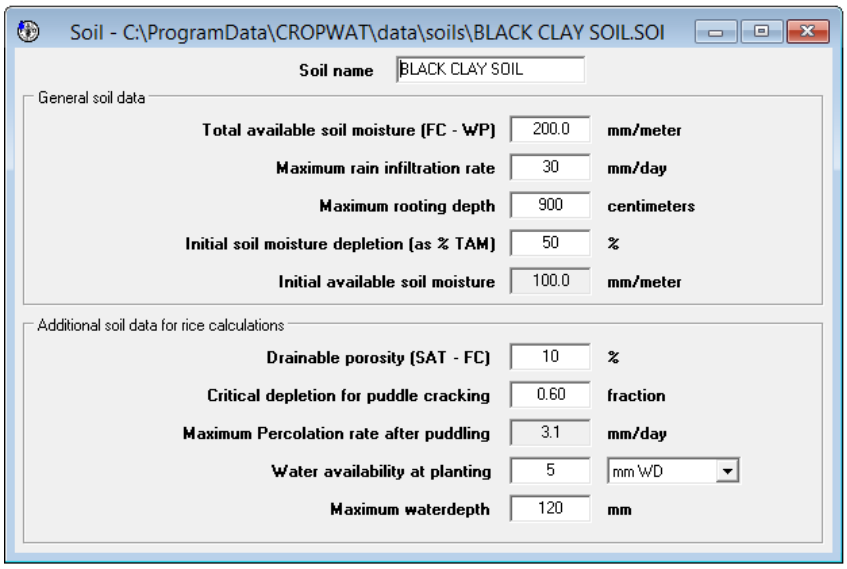
Crop (data tanaman) tanaman jagung (maize)



Gambar 5. Data Tanaman Jagung

4. Menu *Soil* (Data Tanah)

Untuk data tanah diambil dari database *Black Clay Soil*. Tipe tanah ini dipilih karena paling mirip dengan kondisi tanah pada Daerah Irigasi Batang Bayang.



Gambar 6. Data Tanah *Black Clay Soil*

Data umum tanah yang digunakan adalah data total lengas tanah yang tersedia (TAM), laju infiltrasi maksimum, kedalaman perakaran maksimum, dan deplesi lengas tanah awal (% dari total lengas tanah tersedia). Sedangkan data tambahan yang diperlukan pada data tanah yaitu drainable porosity, deplesi kritis

pada saat penggenangan, laju perkolasi maksimum setelah penggenangan, ketersediaan air pada saat penanaman, dan maksimum kedalaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

CWR (Crop Water Requirements)

CWR atau kebutuhan air irigasi dihitung dengan menginput data pada menu CWR.
Kebutuhan air tanaman *(irrigation requirements)* atau IR dihitung dengan rumus :

$$IR = \frac{NFR}{eff} \quad (33)$$

Keterangan : eff = efisiensi air irigasi = 0.65
Ubah di *settings=> options => non-rice/rice crop scheduling*, ubah pada bagian *irrigation efficiency* menjadi 65%.

$$DR = \frac{IR}{8.64} \quad (34)$$

Keterangan : 1/8.64 adalah konversi satuan dari mm/hari ke lt/dt/Ha.

Tabel 3. Kebutuhan Air Irigasi Tanaman Padi

transplanting date (penaburan)	Decade	ETc	Eff Rain	IR		DR	
		(mm/dec)	(mm/dec)	mm/dec	mm/hari	l/dt/Ha	m^3/dt
01-Jan	1	540,7	618,7	323,50	32,35	3,74	15,35
10-Jan	2	539,8	651,9	234,20	23,42	2,71	11,11
20-Jan	3	536,7	673,3	206,30	20,63	2,39	9,79
01-Feb	1	530,3	692,4	267,10	26,71	3,09	12,67
10-Feb	2	524	683,9	218,10	21,81	2,52	10,35
20-Feb	3	514,8	656,9	224,20	22,42	2,59	10,64
01-Mar	1	505,3	639,5	229,20	22,92	2,65	10,88
10-Mar	2	494,8	624,2	231,20	23,12	2,68	10,97
20-Mar	3	482,5	609..2	244,50	24,45	2,83	11,60
01-Apr	1	467,8	577,1	302,80	30,28	3,50	14,37
10-Apr	2	457,3	556,3	271,00	27,10	3,14	12,86
20-Apr	3	450,2	531,6	274,60	27,46	3,18	13,03
01-Mei	1	446,8	496	280,80	28,08	3,25	13,33
10-Mei	2	447,3	437,2	310,00	31,00	3,59	14,71
20-Mei	3	448,1	357,9	341,40	34,14	3,95	16,20
01-Jun	1	448,7	284,3	428,70	42,87	4,96	20,34
10-Jun	2	448,4	251,1	394,80	39,48	4,57	18,73
20-Jun	3	447,2	231,4	410,50	41,05	4,75	19,48
01-Jul	1	446	210,8	436,70	43,67	5,05	20,72
10-Jul	2	446	189,6	456,00	45,60	5,28	21,64
20-Jul	3	446,3	166,9	478,00	47,80	5,53	22,68
01-Agu	1	446,9	140,9	555,80	55,58	6,43	26,37
10-Agu	2	447,4	122,9	521,00	52,10	6,03	24,72
20-Agu	3	446,8	104,2	538,10	53,81	6,23	25,53
01-Sep	1	446,3	79,9	627,00	62,70	7,26	29,75
10-Sep	2	446,5	77,6	636,30	63,63	7,36	30,19
20-Sep	3	448,9	89,8	625,50	62,55	7,24	29,68
01-Okt	1	454,5	116	597,10	59,71	6,91	28,33
10-Okt	2	461,8	150	571,40	57,14	6,61	27,12
20-Okt	3	472,8	184,3	543,80	54,38	6,29	25,81
01-Nov	1	489,2	238,1	509,30	50,93	5,89	24,17
10-Nov	2	503,3	282,7	485,50	48,55	5,62	23,04
20-Nov	3	519	338	455,00	45,50	5,27	21,59
01-Des	1	531,7	399,1	420,90	42,09	4,87	19,97
10-Des	2	537,4	462,2	392,10	39,21	4,54	18,61
20-Des	3	540	540,7	361,10	36,11	4,18	17,14

Kebutuhan air irigasi tanaman padi (rice)

Untuk mendapatkan total kebutuhan air terbesar, maka agar hasil yang didapatkan semakin akurat, digunakan perhitungan kebutuhan air per 10 hari.
Total curah hujan maksimum terjadi pada dekade pertama bulan Februari, yaitu sebesar 692,4 mm/dec, dan kebutuhan air terbesar terjadi pada dekade kedua bulan September, yaitu sebesar 636,3 mm/dec atau sebesar 7,36 lt/dt/Ha. Luas daerah irigasi Batang Bayang adalah sebesar 4100 Ha, maka debit kebutuhan air irigasi untuk seluruh daerah irigasi adalah 30,19 m^3/dt.

Kebutuhan air irigasi tanaman jagung (maize)

Total curah hujan maksimum terjadi pada dekade pertama bulan Januari, yaitu sebesar 369,5 mm/dec, dan kebutuhan air terbesar terjadi pada dekade pertama bulan September, yaitu sebesar 276 mm/dec atau sebesar 3,19 lt/dt/Ha. Luas daerah irigasi Batang Bayang adalah sebesar 4100 Ha, maka debit kebutuhan air irigasi untuk seluruh daerah irigasi adalah 13,10 m^3/dt.

Menurut perhitungan penulis, dengan debit andalan sebesar 1,0 m^3/dt dan kebutuhan air sebesar 7,36 lt/dt/Ha untuk tanaman padi, maka debit andalan hanya mampu mengairi DI seluas 135,87 Ha. Sedangkan untuk tanaman jagung dengan kebutuhan air tanaman 3,19 lt/dt/Ha, maka debit andalan hanya mampu mengairi DI seluas 313,48 Ha.

Tabel 4. Kebutuhan Air Irigasi Tanaman Jagung

transplanting date (penaburan)	Decade	ETc (mm/dec)	Eff Rain (mm/dec)	IR		DR	
				mm/dec	mm/hari	l/dt/Ha	m^3/dt
01-Jan	1	360,6	369,5	74,10	7,41	0,86	3,52
10-Jan	2	352,9	368,1	56,40	5,64	0,65	2,68
20-Jan	3	342,3	352,5	39,00	3,90	0,45	1,85
01-Feb	1	327,3	338,6	39,00	3,90	0,45	1,85
10-Feb	2	315,7	331,8	42,80	4,28	0,50	2,03
20-Feb	3	303,6	325,2	56,30	5,63	0,65	2,67
01-Mar	1	294,9	311	70,10	7,01	0,81	3,33
10-Mar	2	288,2	296,5	89,40	8,94	1,03	4,24
20-Mar	3	282,4	277	103,80	10,38	1,20	4,93
01-Apr	1	279,2	256,5	112,20	11,22	1,30	5,32
10-Apr	2	279,2	238,4	119,90	11,99	1,39	5,69
20-Apr	3	281,3	215,5	117,60	11,76	1,36	5,58
01-Mei	1	284,9	188,8	116,50	11,65	1,35	5,53
10-Mei	2	288,2	169	134,80	13,48	1,56	6,40
20-Mei	3	291,5	154,2	153,50	15,35	1,78	7,28
01-Jun	1	293,9	138,5	172,70	17,27	2,00	8,20
10-Jun	2	294,1	124,5	185,30	18,53	2,14	8,79
20-Jun	3	292,6	109,6	196,10	19,61	2,27	9,31
01-Jul	1	289,6	93,7	205,70	20,57	2,38	9,76
10-Jul	2	286,9	81,7	219,60	21,96	2,54	10,42
20-Jul	3	284,3	69	236,70	23,67	2,74	11,23
01-Agu	1	281,7	53,5	249,50	24,95	2,89	11,84
10-Agu	2	280	36,9	260,50	26,05	3,02	12,36
20-Agu	3	278,8	16,2	268,70	26,87	3,11	12,75
01-Sep	1	279,8	6,3	276,00	27,60	3,19	13,10
10-Sep	2	282,5	26,5	265,90	26,59	3,08	12,62
20-Sep	3	287,5	55,5	250,00	25,00	2,89	11,86
01-Okt	1	295,4	82,7	227,60	22,76	2,63	10,80
10-Okt	2	304,1	103,1	207,70	20,77	2,40	9,86
20-Okt	3	315,7	125,2	195,50	19,55	2,26	9,28
01-Nov	1	330,9	161,5	182,60	18,26	2,11	8,67
10-Nov	2	342,2	189,1	165,70	16,57	1,92	7,86
20-Nov	3	353,7	221,1	148,00	14,80	1,71	7,02
01-Des	1	362,9	258,7	125,10	12,51	1,45	5,94
10-Des	2	366,6	294,9	113,80	11,38	1,32	5,40
20-Des	3	366,6	334,8	102,00	10,20	1,18	4,84

Tabel 5. Perbandingan Kebutuhan Air Irigasi DI Batang Bayang dengan DI Lainnya

Nama DI	Lokasi	Luas (Ha)	DR		
			m^3/dt	Lt/dt/Ha	
Batang Bayang	Pasaman Barat, Sumbar	4100	30.19	7.36	CROPWAT 8.0
		4100	13.10	3.20	
Padang Ganting	Tanah Datar, Sumbar	692	1.13	1.63	
Batang Anai	Padang Pariaman, Sumbar	13604	22.00	1.62	
Air Nipis	Bengkulu Selatan	3116	14.49	4.65	CROPWAT 8.0

KESIMPULAN

Dari hasil analisa kebutuhan air tanaman padi dan jagung di Daerah Irigasi Batang Bayang dengan aplikasi CROPWAT 8.0 di atas dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Dari perhitungan data klimatologi dengan Penman-Monteith diperoleh evapotranspirasi potensial (ETo) rata-rata sebesar 3.01 mm/hari;
2. Total evapotranspirasi tanaman (ETc) terbesar pada tanaman padi terjadi pada dekade pertama bulan Januari yaitu sebesar 540,7 mm/dec dan pada tanaman jagung terjadi pada dekade kedua dan ketiga bulan Desember yaitu sebesar 366,6 mm/dec;
3. Total kebutuhan air irigasi (*Irrigation Requirementsi* (IR)) terbesar pada Daerah Irigasi (DI) Batang Bayang dengan tanaman padi terjadi pada dekade kedua bulan September, yaitu sebesar 636,3 mm/dec atau sebesar 7,36 lt/dt/Ha, dan untuk tanaman jagung terjadi pada dekade pertama bulan September, yaitu sebesar 276 mm/dec atau sebesar 3,19 lt/dt/Ha;
4. Debit kebutuhan air pengambilan (*Direct Run-Off* (DR)) pada Daerah Irigasi (DI) Batang Bayang dengan luas 4100 Ha sesuai dengan kebutuhan air irigasi (IR) terbesar untuk tanaman padi adalah sebesar 30,19 m^3/dt dan untuk tanaman jagung adalah sebesar 13,10 m^3/dt;
5. Berdasarkan hasil kajian dan laporan akhir dari BWS pada tahun 2015, diperoleh debit andalah rata-rata dari Batang Bayang adalah 1,0 m^3/dt, sedangkan debit kebutuhan air irigasi untuk tanaman padi sebesar 30,19 m^3/dt dan untuk tanaman jagung sebesar 13,10 m^3/dt. Artinya ketersediaan air pada Daerah Irigasi Batang Bayang kurang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi tersebut, sehingga :
   1. Memang perlu dibangun bendung DI Batang Bayang baru dengan suplai dari sungai di sekitarnya yang debit andalannya lebih besar (Batang Sikabau), atau dengan menambah ketinggian mercu bendung yang lama,
   2. Menyiasati cara pemberian air irigasi dengan sistem golongan/rotasi teknis atau dengan sistem rotasi/giliran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat membuat jurnal dengan judul “Analisa Kebutuhan Air Tanaman Padi dan Jagung Daerah Irigasi Batang Bayang, Ujuang Gadiang, Pasaman Barat dengan Aplikasi CROPWAT 8.0”. Jurnal ini bersumber dari Tugas Akhir penulis dalam menyelesaikan pendidikan program studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Dalam hal ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :
Ibu Dr. Ir. Nurhamidah, M.T., M.Eng, Sc sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir saya yang sampai sekarang masih dengan sabar memberikan *support*, arahan dan bimbingan dalam perjalanan meraih masa depan saya. *She is my motivation and motivator.*

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam jurnal ini. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis demi kesempurnaan jurnal ini. Penulis juga berharap agar jurnal ini dapat menjadi rujukan atau pembelajaran bagi yang membutuhkan kedepannya, terutama dalam bidang pendidikan Teknik Sumber Daya Air.

DAFTAR PUSTAKA

SNI. (2012). Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Acuan dengan Metode Penman-Monteith. Jakarta. Badan Standardisasi Nasional (BSN).

PUPR. (2017). Pembangunan Daerah Irigasi Batang Bayang di Kab. Pasaman Barat. Padang. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

Shalsabillah, Hanan, dkk. (2018). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Menggunakan Metode Cropwat Version 8.0. https://ejournal.unib.ac.id/index.php/inersiajurnal/article/view/6752

Wahyuni, Sri, dkk. (2019). Perbandingan Evapotranspirasi potensial untuk Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays.L*) Pada Sistem Pemanenan Air Limpasan di Lahan Kering Ciparanje. https://jurnal.fp.uns.ac.id/index.php/semnas/article/view/1320

[PU] Pekerjaan Umum. (2013). Standar Perencanaan Irigasi - Kriteria Perencanaan Bagian Perencanaan Jaringan Irigasi Kp-01. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

Putri, Zeni Awalia (2019). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Tanaman Padi pada Daerah Aliran Sungai Batang Arau dengan Aplikasi Cropwat 8.0. http://scholar.unand.ac.id/47243/

Doorenbos, J. & Pruitt. (1977). *Guidelines For Predicting Crop Water Requirements.* Rome: FAO.Anonim. Example of The Use of Cropwat 8.0. Rajolibanda Diversion Scheme in Andhra Pradesh. India.

Daoed, Darwizal, dkk. (2015). Kajian DAS Batang Bayang dan Tambahan Debit Aliran dari Batang Sikabau untuk Memenuhi Kebutuhan Air Daerah Irigasi Batang Bayang. Padang. Jurnal Rekayasa Sipil; Universitas Andalas.

Saputra, Fajri (2018), Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Irigasi Untuk Pertanian di Kecamatan padang Ganting Kabupaten Tanah Datar. http://geografi.ppj.unp.ac.id/index.php/student/article/view/113

Nopal, Ardhi, dkk. (2019). Studi Operasi Jaringan Irigasi Batang Anai Wilayah Anai 1 (6.764 Ha) Kabupaten Padang Pariaman . https://ejurnal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTSP/article/view/14393

NOMENKLATUR

ETo	:	Evapotranspirasi Tanaman Acuan/Potensial (mm/hari)
c	:	Faktor koreksi akibat keadaan iklim siang dan malam
W	:	Faktor bobot tergantung dari temperature udara dan ketinggian tempat
Rn	:	Radiasi netto ekivalen dengan evapotranspirasi (mm/hari)
N	:	Lama maksimum penyinaran matahari
(1 – W)	:	Faktor bobot, tergantung pada temperatur udara
F(u)	:	fungsi kecepatan angina
F(ed)	:	Efek tekanan uap pada radiasi gelombang panjang
F(n/N)	:	Efek lama penyinaran matahari pada radiasi gelombang panjang
F(t)	:	efek temperatur pada radiasi gelombang panjang
ea	:	Tekanan uap jenuh tergantung temperature
Rn	:	radiasi matahari netto di atas permukaan tanaman (MJ/m^2/hari)
T	:	suhu rata-rata (°C)
U_2	:	kecepatan angin pada ketinggian dua meter di atas permukaan tanah (m/s)
es	:	tekanan uap air jenuh (kPa)
ea	:	tekanan uap air actual (kPa)
Δ	:	kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu (kPa/°C)
γ	:	konstanta psikrometrik (kPa/°C)
Rns	:	radiasi gelombang pendek (MJ/m^2/hari)
Rnl	:	radiasi gelombang panjang (MJ/m^2/hari)
a	:	koefisien pantulan radiasi tajuk = 0,23 (nilai koefisien ini dipengaruhi oleh kondisi tanaman penutup lahannya, pada beberapa literatur menggunakan nilai kisaran 0,23-0,25)
Rs	:	radiasi matahari (MJ/m^2/hari).
n	:	lama matahari bersinar dalam satu hari (jam)
N	:	lama maksimum matahari bersinar dalam satu hari (jam)
Ra	:	radiasi matahari ekstraterestrial (MJ/m^2/hari)
dr	:	jarak relative antara bumi dan matahari
ω_s	:	sudut saat matahari terbenam (rad)
	=	arcos (-tan ϕ*tan* δ)

ϕ : letak lintang (rad), jika berada pada lintang utara nilainya positif dan apabila pada lintang selatan nilainya negatif.
δ : sudut deklinasi matahari (rad).
Rnl : radiasi gelombang panjang, (MJ /m2/hari).
Rld : radiasi gelombang panjang termal yang dipancarkan dari atmosfer dan awan masuk ke permukaan bumi, (MJ/m2/hari).
Rlu : radiasi termal yang dipancarkan oleh tanaman dan tanah ke atmosfer, (MJ/m2/hari).
εa : emisivitas efektif atmosfer.
εvs : nilai emisivitas oleh vegetasi dan tanah » 0,98 (Jensen dkk., 1990).
σ : nilai konstanta Stefan-Boltzman = 4,90 x 10-9 MJ/m2/K^4/hari.
Tk : suhu udara rata-rata, (K).
U_2 : kecepatan angin pada ketinggian 2 m, (m/s).
U_z : kecepatan angin pada ketinggian z m, (m/s).
z : ketinggian alat ukur kecepatan angin, (m).
RH : kelembaban relative rata-rata (%)
D : kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu udara, (kPa/^{o}C).
T : suhu udara rata-rata, (^{o}C).
es : tekanan uap jenuh pada suhu T, (kPa).
g : konstanta psikrometrik, (kPa/ ^{o}C).
cp : nilai panas spesifik udara lembap sebesar 1,013 kJ/kg/ ^{o}C.
P : tekanan atmosfer, (kPa).
e : nilai perbandingan berat molekul uap air dengan udara kering = 0,622.
l : panas laten untuk penguapan, (MJ/kg).
P : tekanan atmosfer pada elevasi z, (kPa).
Po : tekanan atmosfer pada permukaan laut, (kPa).
z : elevasi, (m).
zo : elevasi acuan, (m).
g : gravitasi = 9,8 m/s2.
R : konstanta gas spesifik = 287 J/kg/K.
Tko : suhu pada elevasi zo, (K).
t : konstanta lapse rate udara jenuh = 0,006 5 K/m.
l : panas laten untuk penguapan, (MJ/kg).
T : suhu udara rata-rata, (°C).
P_x : hujan pada stasiun x yang disediakan
Nx : hujan normal tahunan di stasiun x
Na, Nb, Nn : hujan normal tahunan di stasiun A, B,dan N
Pa, Pb, Pn : hujan di stasiun A, B,dan N yang diketahui
n : jumlah stasiun referensi
P_{cx} : curah hujan stasiun x pada waktu t setelah dikoreksi
P_x : data asli curah hujan stasiun x pada waktu t
Mc : koreksi kemiringan kurva massa ganda
Ma : kemiringan asli kurva massa ganda
n : jumlah data
m : rangking / urutan curah hujan yang dipilih
Re : curah hujan efektif (mm/hari)
R_{80} : curah hujan dengan kemungkina terjadi 80% (mm/hari)
NFR : kebutuhan air bersih di sawah (mm/hari)
ETc : penggunaan air konsumtif (mm/hari)
P : kehilangan akibat perkolasi (mm/hari)
Re : curah hujan efektif (mm/hari)
WLR : penggantian lapisan air (mm/hari)
CWR : C*rop Water Requirements*
IR : *Irrigation Requirements*
DR : *Direct Run-off* (Kebutuhan Air Pengambilan)
dec : Dekade, indikasi sebuah grup dari sepuluh hari(“dekade pertama pada bulan...” atau yang sering digunakan adalah “sepuluh hari pertama bulan...”)

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Kajian Awal Pengelolaan Sampah Kawasan Gunung Padang Kota Padang

Muhammad Raihan Zaky[a], Rizki Aziz[a]

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kota Padang, Indonesia.

E-mail: rizkiaziz@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Kawasan Gunung Padang Kota Padang merupakan kawasan wisata favorit yang dikunjungi masyarakat lokal maupun luar Kota Padang. Pengelolaan sampah di kawasan Gunung Padang sudah dilaksanakan namun belum maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sistem pengelolaan sampah dan merekomendasikan sistem pengelolaan sampah yang tepat diterapkan. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran timbulan, komposisi, dan potensi daur ulang sampah, serta menilai sistem yang ada berdasarkan peraturan dan standar nasional. Rekomendasi sistem pengelolaan sampah yang lebih baik berdasarkan perbaikan sistem yang ada berdasarkan standar yang ada. Laju pembangkitan rata-rata di kawasan Gunung Padang adalah 0,126 kg/orang/hari atau 2,622 L/orang/hari. Komposisi sampah didominasi oleh 38% sampah makanan, 13% sampah pekarangan, 14% kertas, dan 18% plastik kemasan. Rekomendasi untuk aspek teknis operasional adalah pengurangan dan penanganan dengan membatasi penggunaan wadah sekali pakai dan penanganan dengan konsep 3R. Skala pengelolaan kawasan secara bertahap ditingkatkan menjadi 100%. Sampah dipilah ke dalam kategori biodegradable, recyclable, dan residu, menggunakan wadah komunal (150 L drum) untuk pemukiman dan (60 L drum) untuk tempat wisata, dikumpulkan dengan becak bermotor berkapasitas 1,5 m3 dan sepeda motor 0,25 m3 dengan keranjang, pengolahan sampah yang dilakukan di pusat daur ulang 3R bersinergi dengan bank sampah, serta sistem transportasi yang direncanakan. Pengangkutan sampah sisa dengan truk arm roll kapasitas 6 m ke TPA Air Dingin. Sedangkan aspek non teknis harus ada penegakan regulasi, pembentukan kelompok lokal yang mengelola sistem, penyesuaian pembiayaan, dan peningkatan partisipasi masyarakat dan pengunjung

Kata kunci : Aspek teknis, aspek non teknis, kawasan Gunung Padang, obyek wisata Gunung Padang, sistem pengelolaan sampah

ABSTRACT

The Gunung Padang area of Padang City is a favorite tourism area visited by local people and also out of town. Waste management in the Gunung Padang area already implemented, but is not practiced optimally. The purpose of this study is to evaluate the solid waste management system and recommend the proper solid waste management system applied. Evaluation done through solid waste generation, composition, and recycling potential measurement, and assess the existing system by the national regulation and standard. Recommendation on better solid waste management system based on the improvement of existing system based on standard existed. The average solid waste rate in the Gunung Padang area is 0.126 kg/person/day or 2.622 L/person/day. The composition of the waste dominated by 38% food waste, 13% yard waste, 14% paper, and 18% plastic packaging. The recommendation for operational technical aspects

are reduction and handling by limiting the use of single-use containers and handling with the 3R concept. The scale of the area management is gradually increased into 100%. Waste sorted into category of biodegradable, recyclable, and residue, using communal containers (150 L drum) for settlements and (60 L drum) for tourism spot, collecting by motorized tricycles with a capacity of 1.5 m3 and a 0.25 m3 motorcycle with basket, waste processing carried out at the 3R recycling center in synergy with the waste bank, as well as the planned transportation system. Residual waste transport by arm roll truck with a capacity of 6 m into Air Dingin Landfill Site. Meanwhile, the non-technical aspects should have regulation enforcement, establish of local group managing the system, adjusting financing, and increasing the participation of the community and visitors.

Keywords : Technical aspect, non-technical aspect, kawasan Gunung Padang, tourist attraction Gunung Padang, waste management system

PENDAHULUAN

Keberadaan sampah sampai saat ini masih menjadi permasalahan yang melanda hampir di seluruh wilayah di Indonesia. Berbagai program dan strategi dilakukan pemerintah baik pusat maupun daerah untuk mengatasi berbagai permasalahan yang ditimbulkan oleh sampah, khususnya dalam hal pengelolaan. Pengelolaan sampah merupakan tanggung jawab pemerintah sebagai salah satu bentuk pelayanan publik, yaitu dengan membuat kebijakan dalam pengelolaan sampah (Mulasari dkk, 2014).

Sampah merupakan materi yang kurang menguntungkan baik secara ekonomi maupun lingkungan. Kuantitas sampah yang terdapat di lingkungan perkotaan setiap tahun terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk serta kualitas kehidupan masyarakat yang cenderung lebih konsumtif. Terdapat korelasi yang erat dalam permasalahan sampah antara pola hidup dengan budaya masyarakat itu sendiri (Sahil, dkk, 2016). Pertambahan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat menimbulkan bertambahnya volume, jenis dan karakteristik sampah yang semakin beragam (Sidik, 2011). Cara pandang masyarakat pada sampah seharusnya tidak lagi memandang sampah sebagai hasil buangan yang tidak berguna. Sampah seharusnya dipandang sebagai sesuatu yang mempunyai nilai guna dan manfaat (Asteria, 2016).

Berdasarkan data pada Rencana Strategis 2019-2024 Kota Padang, diketahui bahwa sampah yang dihasilkan pada tahun (2019) rata-rata per harinya yaitu 640 ton. Sedangkan sampah yang diangkut ke TPA hanya sekitar 350-400 ton per hari maka diketahui 300 ton sampah per hari belum dapat dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Padang. Dari data tersebut diketahui tingkat pelayanan masih di bawah Standar Pelayanan Minimal (SPM) bagi kawasan perkotaan yaitu sebesar 70% (Permen PU, 2010).

Kawasan Gunung Padang merupakan salah satu kawasan pariwisata favorit yang dikunjungi oleh masyarakat lokal maupun luar daerah Kota Padang (Perda, 2012). Kawasan ini terdiri dari dua kelurahan yaitu Kelurahan Batang Arau dan Bukit Gado-Gado di Kecamatan Padang Selatan, Kota Padang, Sumatera Barat. Luas wilayah kawasan ini adalah 247,53 Ha yang terbagi dari Kelurahan Batang Arau 76,92 Ha dan Kelurahan Bukit Gado-Gado 170,61 Ha. Total penduduk pada tahun 2020 yang berada di masing-masing kelurahan tersebut yaitu pada Kelurahan Batang Arau sebanyak 4.274 jiwa dan pada Kelurahan Bukit Gado-Gado sebanyak 1.703 jiwa (BPS, 2020). Kawasan ini terletak pada daerah perbukitan yang dimana pemukiman yang berada pada lereng yang terjal, namun dari sisi pariwisata memiliki keindahan alam yang indah. Pariwisata yang ada di kawasan Gunung Padang yaitu Objek Wisata Gunuang Padang. Wisata alam ini menyajikan pemandangan Pantai Padang, Pantai Air Manis dan tempat bersejarah Siti Nurbaya.

Berdasarkan data Dinas Pariwisata Kota Padang tahun 2019 jumlah wisatawan yang berkunjung ke Objek Wisata Gunuang Padang pada sebanyak 31.600 pengunjung. Pada tahun 2020 meningkat menjadi 37.606 orang pengunjung terdiri dari wisatawan lokal maupun luar kota. Meningkatnya jumlah pengunjung yang datang dapat meningkatkan timbulan sampah yang dihasilkan. Akan tetapi, meningkatnya jumlah kunjungan tersebut belum dilengkapi dengan pengelolaan sampah yang baik di kawasan ini seperti masih kurangnya ketersediaan sarana dan prasarana untuk menampung sampah yang dihasilkan. Selain itu, kurangnya partisipasi masyarakat dan pengunjung terhadap lingkungan sehingga banyak sampah yang

berserakan di sekitaran kawasan tersebut.

Berdasarkan wawancara dengan pihak pengelola, saat ini Kawasan Gunung Padang merupakan daerah yang telah dilayani oleh DLH Kota Padang namun pelayanan yang ada belum maksimal. Kawasan Gunung Padang belum memiliki sistem pengelolaan sampah yang baik dan terencana untuk menunjang kelestarian alam dan lingkungan yang ada di kawasan tersebut. Permasalahan persampahan yang terjadi pada kawasan ini yaitu kurangnya sarana dan prasarana yang tersedia. Pada kawasan ini terdapat sarana pewadahan seperti kontainer untuk menampung sampah yang dihasilkan dari aktivitas masyarakat. Selain itu, belum adanya penyediaan sarana dan prasarana untuk pengolahan 3R (*reuse*, *reduce* dan *rcycle*) di suatu kawasan untuk mengurangi timbulan sampah yang dihasilkan di kawasan tersebut serta pemberdayaan masyarakat seperti membuat kerajinan dan bank sampah. Masyarakat belum memahami akan hal tersebut mengakibatkan sampah yang dihasilkan hanya dibakar dan dibuang sembarangan. Hal ini berpotensi menimbulkan dampak bagi kesehatan masyarakat seperti lokasi yang kumuh akan memicu pertumbuhan nyamuk demam berdarah, timbulnya bau yang tidak sedap dan bencana alam seperti longsor, banjir, pencemaran air, pencemaran udara dan merusak estetika kawasan pariwisata.

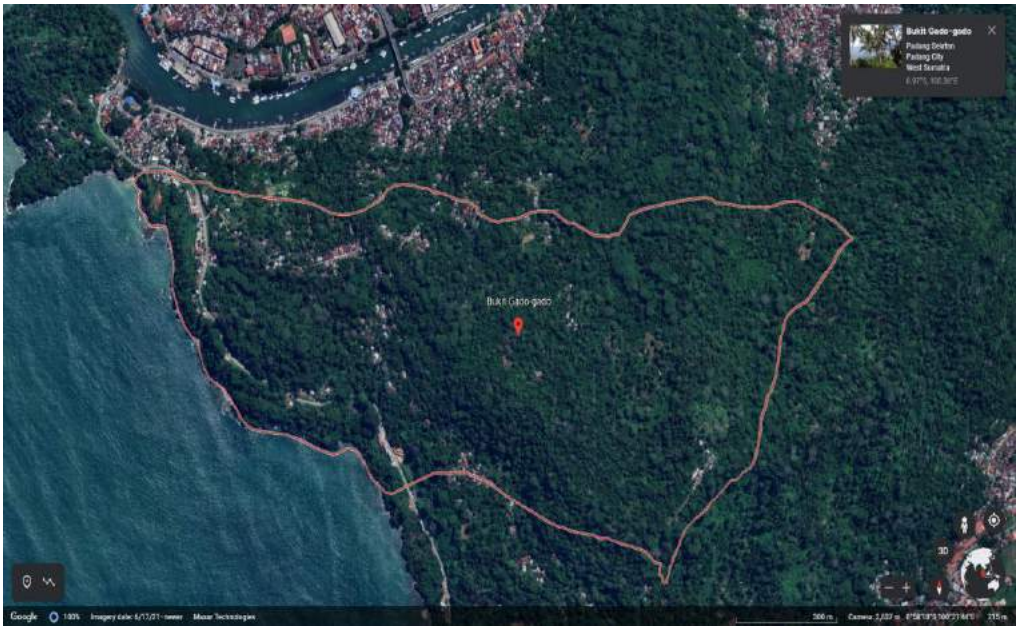
Masyarakat dan wisatawan sebagai penghasil sampah belum memiliki kepedulian untuk memilah, mengurangi dan memanfaatkan sampah yang masih dapat digunakan, masyarakat cenderung menggunakan kemasan produk yang tidak dapat di daur ulang sehingga menambah jumlah timbulan sampah dan masyarakat belum melakukan pemilahan sampah yang dihasilkan. Apabila sampah tidak dapat dikelola dengan baik maka akan menjadi beban dan menimbulkan masalah yang besar, namun sebaliknya jika dikelola dengan benar, maka akan menjadi aset dan dapat bermanfaat bagi pemerintah maupun masyarakat. Permasalahan persampahan harus diantisipasi agar tidak menimbulkan bahaya pencemaran lingkungan yang semakin parah di kemudian hari, maka perlu dikembangkan sistem pengelolaan sampah dengan konsep 3R sesuai dengan Undang-Undang (UU) No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Persampahan. Sampah yang tidak dikelola dengan baik di Kawasan Gunung Padang juga akan memengaruhi daya tarik wisatawan. Oleh sebab itu, diperlukan perencanaan sistem pengelolaan sampah untuk meningkatkan pelayanan sampah di Kawasan Gunung Padang. Perencanaan sistem pengelolaan sampah meliputi aspek teknis dan non teknis persampahan. Aspek teknis meliputi pengurangan dan penanganan yang meliputi pemilahan dan pewadahan, pengumpulan, pengolahan, pengangkutan, dan pemrosesan akhir. Aspek non teknis meliputi kelembagaan, pembiayaan, peraturan, dan peran serta masyarakat. Kajian sistem pengelolaan sampah dilakukan agar dapat mengetahui potensi dari sampah kawasan wisata sehingga dapat melakukan pemanfaatan atau pengelolaan tingkat sumber terhadap sampah yang dihasilkannya. Pengelolaan terhadap sampah dapat menciptakan bentuk kepedulian terhadap lingkungan, meningkatkan daya tarik wisatawan serta dapat menciptakan suatu wisata edukasi tentang pengelolaan sampah skala kawasan. Selain itu, juga dibutuhkan tempat pengolahan sampah berbasis 3R (TPS 3R) dan Bank Sampah untuk menunjang sistem pengelolaan sampah di Kawasan Gunung Padang. Manfaat yang diharapkan yaitu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang potensi daur ulang sampah yang dihasilkan tersebut bisa dijual dan diolah menjadi kerajinan.

METODOLOGI

Kajian dilakukan pada kawasan Gunung Padang yang terdiri dari 2 Kelurahan yaitu Kelurahan Bukit Gado-Gado dan Kelurahan Batang Arau, seperti terlihat dalam **Gambar 1 dan Gambar 2**.

Kajian ini dilakukan melalui tahapan pengumpulan data primer dan sekunder, dan kajian awal sistem pengelolaan sampah. Kajian awal yang dilakukan yaitu melakukan wawancara dengan pihak pengelola. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan analisis dokumen yang bertujuan untuk memperoleh data-data mengenai kondisi fisik wilayah (batas administrasi dan kondisi geografis), kondisi eksisting pengelolaan persampahan Kawasan Gunung Padang berupa aspek teknis pengelolaan sampah (sumber sampah, pengurangan, penanganan, pewadahan, pengumpulan, pengangkutan dan pengolahan) dan aspek non teknis pengelolaan sampah (aspek hukum/ peraturan, kelembagaan, pembiayaan dan peran serta masyarakat).

Pengumpulan data primer bertujuan untuk memperoleh data timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah sebagai acuan dalam kajian pengelolaan persampahan di Kawasan Gunung Padang. Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengukur timbulan, komposisi sampah, potensi daur ulang sampah. Selain itu dilakukan wawancara terhadap narasumber yang berasal dari pengelola Objek Wisata Gunuang Padang dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang. Selain itu, kuisioner diberikan kepada masyarakat dan pengunjung yang ada di Kawasan Gunung Padang.



Gambar 1. Batas Wilayah Bukit Gado-Gado
Sumber: Google Earth, 2020

Gambar 2. Batas Wilayah Batang Arau
Sumber: Google Earth, 2020

Analisis sistem pengelolaan sampah dilakukan melalui identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengembangan dilakukan dengan cara membandingkan kondisi eksisting pengelolaan sampah di Kawasan Gunung Padang dengan kriteria sistem pengelolaan sampah yang berlaku di Indonesia. Kriteria sistem pengelolaan sampah mengacu kepada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Evaluasi ini merupakan dasar untuk membuat rancangan umum pengembangan sistem pengelolaan sampah dengan metode 3 R di Kawasan Gunung Padang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Timbulan, Komposisi, Dan Potensi Daur Ulang Sampah

Timbulan yang ada di Kawasan Gunung Padang Kota Padang berasal kawasan pemukiman Kelurahan Batang Arau dan Kelurahan Bukit Gado-Gado, non domestik serta kawasan wisata. Timbulan rata-rata pada masing-masing kelurahan didapatkan yaitu pada Kelurahan Batang Arau sebanyak 2,642 l/o/h. Satuan timbulan rata-rata di Kawasan Gunung Padang yaitu 2,622 l/o/h atau 0,126 kg/o/h. Perhitungan jumlah satuan timbulan sampah Kawasan Gunung Padang dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Timbulan Sampah Kawasan Gunung Padang

Kelurahan Batang Arau				
Fasilitas	**Satuan Timbulan**		**Timbulan**	
	(L/o/h)	**(kg/o/h)**	**(L/h)**	**(kg/h)**
Pemukiman Kel. Batang Arau	2,888	0,140	10.781,740	462,532
Fasilitas	**Satuan Timbulan**		**Timbulan**	
	(L/m^2/h)	**kg/m^2/h)**	**(L/h)**	**(kg/h)**
Kantor	0,089	0,003	16,020	0,540
Masjid	0,050	0,002	44,000	1,760
Sekolah	0,037	0,0001	103,600	0,280
Posyandu	0,122	0,011	87,84	7,920
Pedagang	0,301	0,013	180,600	7,800
Kafe	0,331	0,019	79,440	4,560
Objek Wisata Gunuang Padang	0,384	0,034	38,400	3,400
Total			**11.331,640**	**488,792**
Kelurahan Bukit Gado-Gado				
Fasilitas	**Satuan Timbulan**		**Timbulan**	
	(L/o/h)	**(kg/o/h)**	**(L/h)**	**(kg/h)**
Pemukiman Kel. Batang Arau	2,164	0,097	3.793,723	204,411
Fasilitas	**Satuan Timbulan**		**Timbulan**	
	(L/m^2/h)	**(kg/m^2/h)**	**(L/h)**	**kg/h)**
Kantor	0,089	0,003	16,020	0,540
Masjid	0,050	0,002	44,000	1,760
Sekolah	0,037	0,0001	51,800	0,140
Posyandu	0,122	0,011	21,960	1,980
Pedagang	0,301	0,013	108,360	4,680
Kafe	0,331	0,019	397,200	22,800
Total			**4.433,063**	**236,311**

Komposisi sampah yang terdapat di Kawasan Gunung Padang berbeda-beda yang terdiri dari sampah makanan, sampah halaman, kertas, plastik, tekstil (kain), kaleng, limbah B3 dan limbah lainnya. Komposisi sampah terbesar yang dihasilkan dari Kawasan Gunung Padang yaitu sampah makanan dengan persentase 38%. Persentasi komposisi terendah adalah sampah tekstil yaitu 0,30%. Komposisi sampah Kawasan Gunung Padang dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Sampah yang dihasilkan dari Kawasan Gunung Padang memiliki potensi daur ulang yang cukup baik dilihat dari komposisi sampah yang dihasilkan. Sampah makanan yang dihasilkan berpotensi untuk dijadikan kompos. Kemudian sampah halaman juga berpotensi menjadi kompos alami. Kertas dan plastik yang dihasilkan berpotensi untuk di daur ulang kembali. Komposisi yang diperoleh dari hasil penelitian ini didominasi dengan sampah yang berpotensi di daur ulang. Sampah yang dihasilkan ini dapat dimanfaatkan kembali melalui proses pengolahan sampah untuk dapat digunakan Kembali sebagai sampah daur ulang. Pemanfaatan ini bergantung kepada fasilitas yang tersedia di Kawasan Gunung Padang Kota Padang serta partisipasi masyarakat di kawasan tersebut.

Adapun potensi daur ulang sampah Kawasan Gunung Padang meliputi sampah makanan 38%, plastik kemasan 18%, kertas dan botol 13%, dan sampah halaman 12%. Dapat dilihat pada **Tabel 2.**

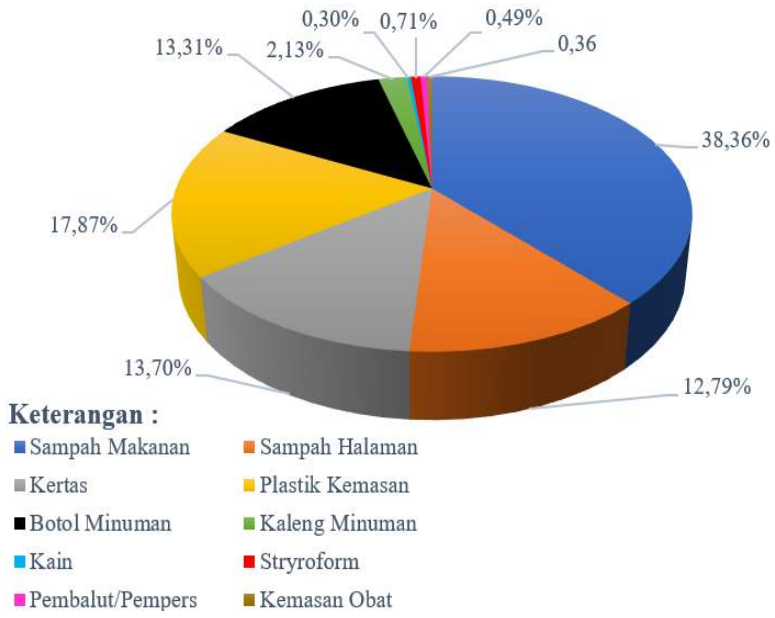
Timbulan rata-rata Kelurahan Batang Arau

$$q_{2020} = \frac{qk}{penduduk} = \frac{11.293{,}240\ l/h}{4.274\ orang} = 2{,}642\ l/o/h$$

Timbulan rata-rata Kelurahan Bukit Gado-gado

$$q_{2020} = \frac{qk}{penduduk} = \frac{4.433{,}063\ l/h}{1.703\ orang} = 2{,}603\ l/o/h$$

Keterangan:
qk = Total timbulan



Gambar 3. Komposisi Sampah di Kawasan Gunung Padang

Tabel 2. Komposisi Sampah Kawasan Gunung Padang

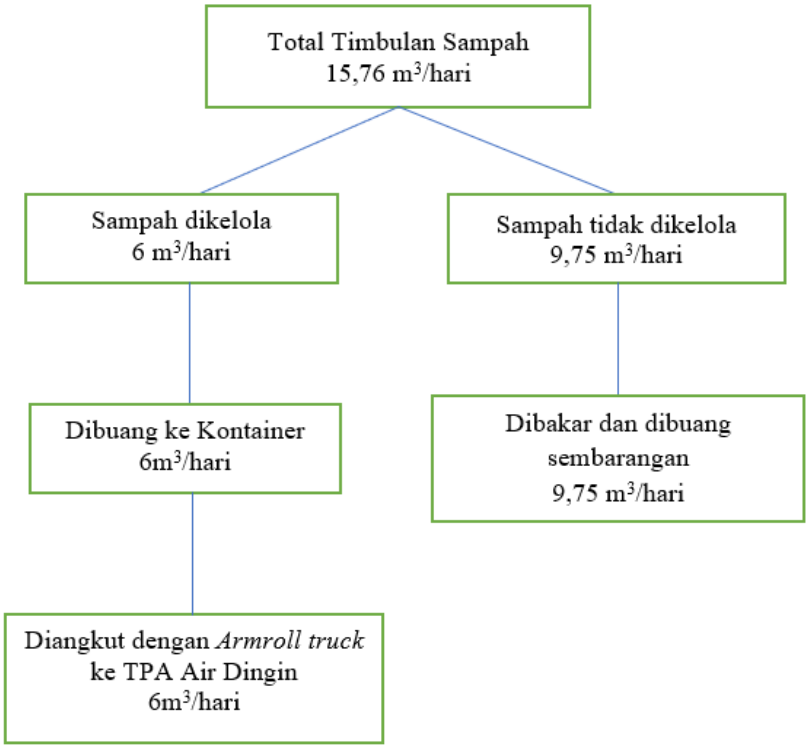
Komposisi	**Berdasarkan Berat**
	% Daur Ulang
Sampah Makanan	38%
Sampah Halaman	13%
Kertas	14%
Tekstil	1%
Plastik Kemasan	18%
Botol Minuman	13%
Kaleng Minuman	2%
B3	0
Lain-lain	0

Evaluasi Sistem Pengelolaan Sampah Eksisting

Pelayanan sampah pada kondisi eksisting (2020) Kawasan Gunung Padang yang telah terlayani hanya sebagian di Kelurahan Batang Arau, sedangkan pada Kelurahan Bukit Gado-Gado belum adanya pelayanan sampah. Pengelolaan sampah eksisting dapat dilihat pada **Gambar 4.** Melalui perbandingan dengan standar pengelolaan sampah kota, maka dapat diketahui bahwa secara keseluruhan belum memenuhi standar pengelolaan sampah kota yang ada, jika dilihat lebih lanjut maka aspek teknis operasional yang memenuhi standar adalah sudah adanya pengangkutan sampah ke TPA.

Selanjutnya, kriteria sistem pengelolaan sampah mengacu kepada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga dan Peraturan Daerah Kota Padang No. 21 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah. Evaluasi ini merupakan dasar untuk membuat rancangan umum pengembangan sistem pengelolaan sampah dengan metode 3 R di Kawasan Gunung Padang. Identifikasi permasalahan yang ada pada sistem pengelolaan sampah di Kawasan Gunung Padang adalah:

- Tingkat pelayanan sampah hanya 5%.
- Belum memiliki pengelolaan sampah skala kawasan.
- Kegiatan pengurangan sampah tidak ada dilakukan di, karena kurang nya pengetahuan dan partisipasi masyarakat akan hal tersebut.
- Kegiatan penanganan sampah sudah tersedia namun, operasionalnya belum maksimal.
- Pemilahan sampah tidak dilakukan. Pewadahan menerapkan sistem pewadahan komunal. Wadah sampah belum terdapat di seluruh fasilitas yang ada.
- Tidak ada sistem pengumpulan sampah skala kawasan. Sampah diwadahi dengan kontainer 6 m^3 di Kelurahan Batang Arau dalam keadaan tercampur.
- Pengolahan sampah dilakukan secara mandiri oleh masyarakat dengan cara dibakar dan dibuang sembarangan.
- Sistem pengangkutan menggunakan *armroll truck* yang langsung dibuang ke TPA sejauh 22 km.
- Pemrosesan akhir dilakukan di TPA Air Dingin Kota Padang.



Gambar 4. Sistem Pengelolaan Sampah Eksisting Kawasan Gunung Padang

Sedangkan untuk kebutuhan pengembangan sistem pengelolaan sampah di Kawasan Gunung Padang adalah:

- Peningkatan tingkat pelayanan pengelolaan sampah di Kawasan Gunung Padang sebesar 100% dan skala pengelolaan tingkat kawasan;
- Pengurangan dilakukan pada setiap sumber sampah dengan pembatasan penggunaan produk sekali pakai, pendauran ulang sampah dan pemanfaatan kembali sampah dengan target 30%;
- Penanganan sampah dapat dilakukan dengan memaksimalkan kegiatan operasional sampah dengan target 70%;
- Pemilahan sampah dibagi menjadi 3 jenis yaitu sampah mudah terurai, sampah daur ulang dan sampah residu;

- Pewadahan yang digunakan adalah tiga jenis wadah yaitu untuk sampah mudah terurai, sampah daur ulang dan sampah residu dengan warna berbeda untuk setiap jenisnya yaitu warna hijau untuk sampah mudah terurai, warna kuning untuk sampah daur ulang dan warna abu-abu untuk sampah residu;
- Pengumpulan akan menggunakan alat angkut berupa becak motor dan motor keranjang. Pengumpulan setiap jenis sampah akan dipisah dengan periode pengumpulan setiap hari. Pola pengumpulan yang direncanakan adalah pola individual tidak langsung;
- Pengolahan sampah akan dilakukan di Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R. Pengolahan yang dilakukan berupa pengomposan dan daur ulang.
- Sistem pengangkutan menggunakan *armroll truck* yang langsung dibuang ke TPA sejauh 22 km setiap sekali seminggu.
- Residu dari TPS 3R dan sampah lain-lain akan diangkut menuju TPA.

Rekomendasi Sistem Pengelolaan Sampah

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengembangan, maka sistem pengelolaan sampah yang dapat diterapkan untuk kawasan wisata ini adalah seperti berikut:

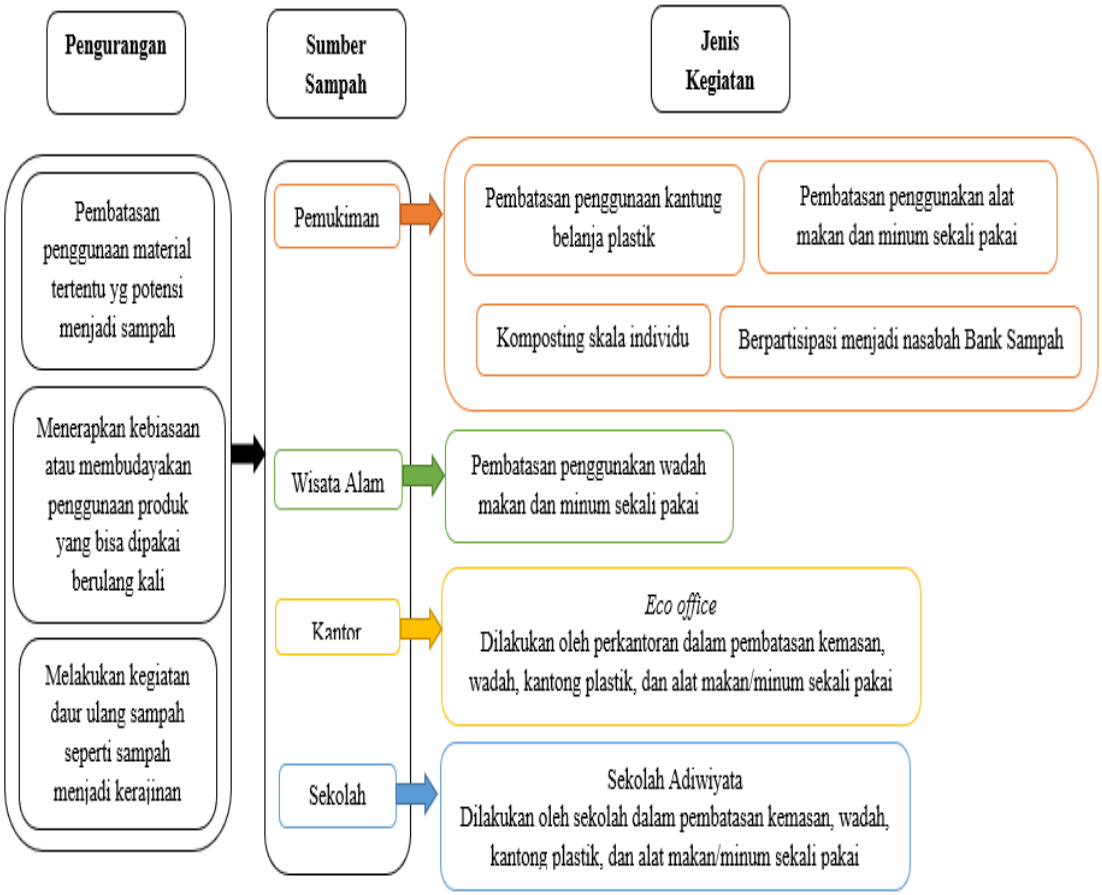
1. Tingkat pelayanan 100% dengan pemilahan dari sumber.
2. Daerah terlayani 100% dengan daerah pelayanan seluruh fasilitas yang berada di Kawasan Gunung Padang
3. Pemilahan dan pewadahan. Dipilah berdasarkan kategori sampah mudah terurai, sampah daur ulang, dan sampah residu. Pewadahan yang digunakan: (a) wadah komunal berupa drum sampah kapasitas 150 L untuk pemukiman dan fasilitas umum dengan tiga pemilahan yaitu sampah mudah terurai, sampah daur ulang dan sampah residu; (b) wadah komunal berupa drum sampah kapasitas 60 L untuk Objek Wisata Gunuang Padang dengan dua pemilahan yaitu sampah mudah terurai, sampah daur ulang.
4. Pengumpulan, dengan pola Individual tidak langsung, dimana: (a) alat pengumpul berupa becak motor dengan kapasitas 1,5 m^3 dan keranjang motor dengan kapasitas 0,25 m^3; (b) sumber dilayani: seluruh pemukiman dan fasilitas yang ada; (c) Frekuensi pengumpulan setiap hari; (d) ritasi 5 kali sehari untuk Kelurahan Batang Arau dan 8 kali sehari di Kelurahan Bukit Gado-Gado.
5. Pengolahan, dilakukan di TPS 3R dan Bank Sampah berupa pengomposan, penjualan kerajinan barang dan daur ulang sampah.
6. Pemindahan dengan container, dan pengangkutan menggunakan sistem HCS dari kontainer kapasitas 6 m^3 menggunakan *armroll truck* dari TPS 3R ke TPA Air Dingin.
7. Aspek non teknis, untuk peraturan perlu pengoptimalan peraturan tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah. Pembiayaan pengelolaan sampah dapat dari penghuni, pengelola kawasan, dan juga pihak ketiga yang ikut serta. Perlu dibuat kepengurusan Lembaga Kelompok Swadaya Masyarakat pengelola sampah dan TPS 3R di Kawasan Gunung Padang. Peran serta masyarakat perlu ditingkatkan melalui program bank sampah, menjaga kebersihan lingkungan, aktif dalam kegiatan pengurangan, pengumpulan, pemilahan dan pengolahan sampah serta pemberian usul dan pendapat dalam upaya peningkatan pengelolaan sampah.

Skenario pengelolaan sampah yang akan dilakukan di Kawasan Gunung Padang dapat dilihat pada **Gambar 5 dan Gambar 6**

KESIMPULAN

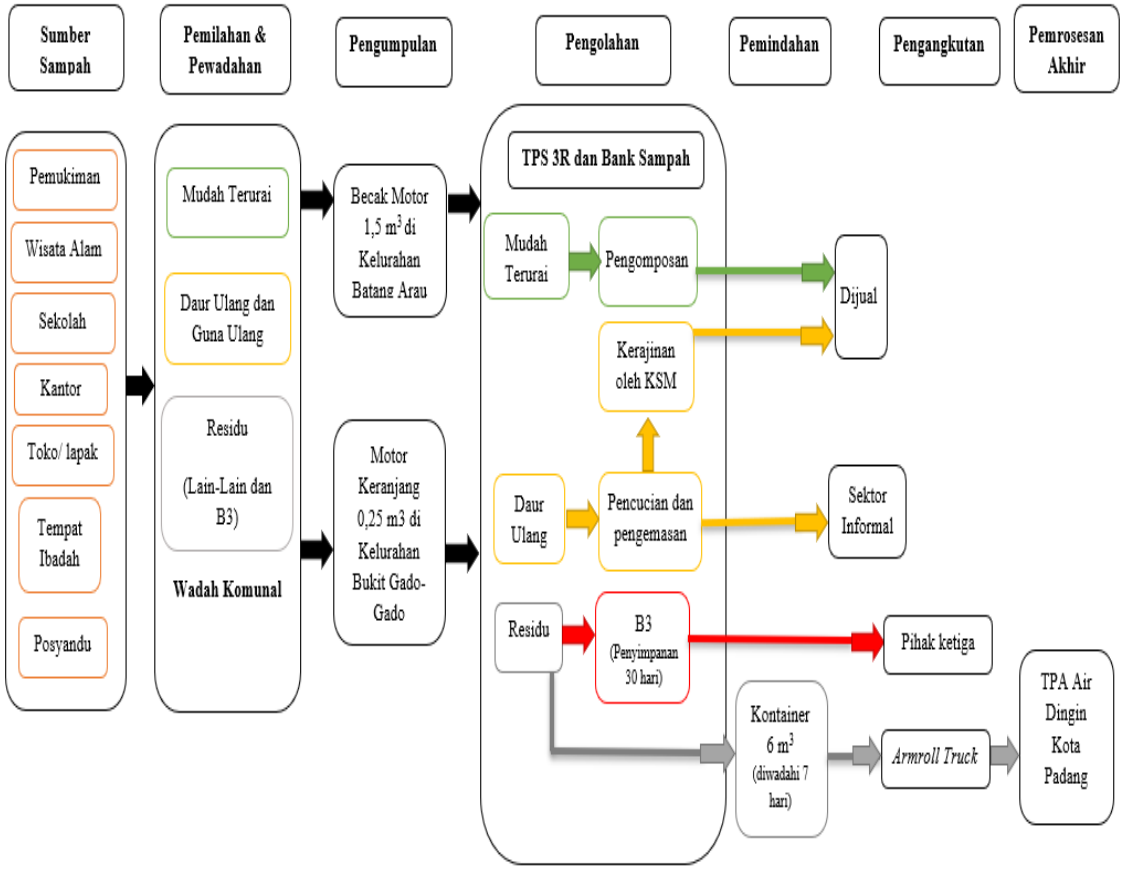
Evaluasi pengelolaan sampah eksisting Kawasan Gunung Padang meliputi kegiatan pengurangan oleh masyarakat di Kawasan Gunung Padang belum dilakukan. Karena kurangnya kepedulian masyarakat terharap pengelolaan sampah. Sedangkan penanganan sampah sudah dilakukan namun belum maksimal. Sistem pemilahan dan pewadahan di Kawasan Gunung Padang belum memadai. Masyarakat tidak melakukan pemilahan sampah yang mengakibatkan sampah tercampur. Pewadahan yang tersedia tidak mencukupi untuk menampung timbulan sampah yang dihasilkan masyarakat. Sistem pengumpulan di Kawasan Gunung Padang dengan skala kawasan tidak tersedia. Sebagian masyarakat mengumpulkan sampah di kontainer yang berada di Kelurahan Batang Arau. Sistem pengangkutan sampah menggunakan *armroll truck* ke TPA Air dingin Kota Padang sejauh 22 km. Sistem pengolahan sampah di Kawasan Gunung Padang dilakukan secara mandiri oleh masyarakat dengan cara dibakar dan dibuang sembarangan. Berdasarkan perencanaan sistem dan manajemen persampahan Kawasan Gunung Padang yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yaitu timbulan sampah Kawasan Gunung Padang sebesar 2,622 l/o/h atau 0,126 kg/o/h. Komposisi sampah terdiri dari 38% sampah makanan, 13% sampah halaman, 14%

kertas, 18% plastik kemasan, 13% botol minuman, 0,71% stryoform, 0,49% pembalut dan 0,36% kemasan obat. Bedasarkan komposisi yang diperoleh dari hasil penelitian ini didominasi dengan sampah yang berpotensi di daur ulang. Sampah yang dihasilkan ini dapat dimanfaatkan kembali melalui proses pengolahan sampah untuk dapat digunakan Kembali sebagai sampah daur ulang. Pemanfaatan ini bergantung kepada fasilitas yang tersedia di Kawasan Gunung Padang Kota Padang serta partisipasi masyarakat di kawasan tersebut.



Gambar 5. Skema Pengurangan Sampah Kawasan Gunung Padang

Sistem pengelolaan sampah yang direkomendasikan meliputi kegiatan pengurangan dan penanganan sampah berupa aspek teknis opersional dan aspek non teknis. Kegiatan pengurangan yang dapat dilakukan seperti pembatasan kemasan, wadah, kantong plastik, dan alat makan/minum sekali pakai yang dilakukan pada kantor (*eco office*) atau pada sekolah (sekolah adiwiyata), komposting skala individu dan berpartisipasi menjadi nasabah Bank Sampah. Kegiatan penanganan meliputi pemilahan dan pewadahan, pengumpulan ke TPS 3R dan Bank Sampah, pengolahan di TPS 3R, pemindahan sampah ke kontainer, dan pengangkutan sampah ke TPA Air Dingin. Aspek non teknis perlu dibuatkan aturan hukum pengelolaan sampah kawasan Gunung Padang, lembaga KSM, pembiayaan dari pemerintah dan swasta, serta peningkatan partisipasi dari masnyarakat dan pengunjung dalam memilah dan membuang sampah pada tempat yang sudah disediakan.



Gambar 6. Skema Pengelolaan Sampah Kawasan Gunung Padang

Kajian ini dapat dilanjutkan dengan penentuan kebutuhan fasilitas pengelolaan sampah untuk periode tahun rencana kedepannya. Selain itu bisa juga dikaji dampak lingkungan dari operasional sistem pengelolaan sampah dengan pendekatan metode Life Cycle Assessment, supaya terwujud pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Asteria, D., dan Heruman, H. (2016). *Bank Sampah Sebagai Alternatif Strategi Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat Di Tasikmalaya (Bank Sampah (Waste Banks) as an Alternative of Community-Based Waste Management Strategy in Tasikmalaya)*. Universitas Indonesia.

Badan Pusat Statistik. (2020). *BPS Kota Padang* tentang *Kota Padang Dalam Angka 2020.*

Badan Standar Nasional. (1994). *SNI 19-3964-1994* tentang *Metode Pengambilan Sampel, Pengukuran Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*.

Badan Standar Nasional. (2002). *SNI-19-2454-2002* tentang *Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan.*

Badan Standar Nasional. (2008). SNI 3242:2008 tentang *Pengelolaan Sampah di Permukiman.*

Mulasari, S.A. (2014). *Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan Sampah Domestik*: Yogyakarta. Tugas Akhir.Sarjana. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan

Peraturan Daerah Kota Padang No. 4 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang Tahun 2010-2030. Lembaran Daerah Provinsi Sumatera Barat Tahun 2012 Nomor 46.

Peraturan Daerah Kota Padang No. 21 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah. Lembaran Daerah Kota Padang Tahun 2012 Nomor 21.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/Prt/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 470.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2010 tentang Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 587.

Sahil J, Al Muhdar, M.H.I., Rohman F., Syamsuri, I. (2016). *Sistem Pengelolaan dan Upaya Penanggulangan Sampah Di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate*. Bioedukasi. Vol 4, No.2.

Sidik, M. A. (2011). *Peran Adipura Pada Pelaksanaan Sistem Pengelolaan Sampah Di Indonesia*. Pusat Pengkajian Inovasi Teknologi. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008 tentang *Pengelolaan Sampah*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Kajian Pengolahan Sampah Dari Aktivitas Katering di Kota Padang

Yommi Dewilda[1], Revi Alfino[1]

[1]Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

E-mail: yommidewilda@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Usaha katering merupakan salah satu sumber sampah makanan. Sampah makanan mempunyai dampak terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis timbulan, komposisi, karakteristik dan potensi daur ulang sampah dari aktivitas usaha katering di Kota Padang, serta menentukan alternatif pengolahan sampah menurut Food Recovery Hierarchy. Sampling timbulan dan penentuan jumlah sampel dilakukan berdasarkan SNI 19-3964-1994 yang dilakukan selama delapan hari berturut-turut, dengan lokasi pengambilan sampel pada 9 lokasi katering di Kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan satuan timbulan rata-rata sampah katering di Kota Padang adalah sebesar 0,099 kg/porsi/hari dalam satuan berat dan sebesar 0,252 l/porsi/hari dalam satuan volume. Timbulan sampah katering di Kota Padang sebesar 8.309 l/h. Komposisi sampah katering di Kota Padang tahun 2019 terdiri sampah organik sebesar 77,43%, sampah plastik sebesar 10,18%, sampah tissue/kertas sebesar 10,17% dan sampah lain-lain sebesar 2,22%. Rata-rata berat jenis sampah katering sebesar 0,380 kg/l, kadar air 32,66%, kadar volatile 65,69%, kadar abu 1,07%, fixed carbon 0,58%, rasio C/N 28,38 dan fraksi biodegradabilitas 65,44%. Pengolahan sampah makanan dari katering di Kota Padang dapat dikelola berdasarkan Food Recovery Hierarchy dilakukan dengan reduksi di sumber sebesar 10,86%. Mendonasikan makanan belum bisa diterapkan pada katering. Memberi pakan hewan sebesar 5,94%, penggunaan industri 27,49%, pengomposan 42,00%. Sampah yang tidak bisa diolah akan dibuang ke TPA sebesar 13,71%.

Kata kunci : hirarki sampah makanan, karakteristik. komposisi, timbulan, potensi daur ulang, sampah makanan katering

ABSTRACT

The catering business is the one of food waste source. Food waste can have an impact on the environment. This study aims to analyze the generation, composition, characteristics and potential of waste recycling from catering business activities in the city of Padang, and determine alternative waste management from catering business activities in the city of Padang according to the Food Recovery Hierarchy. The sampling generation and determination of the number of samples was carried out based on SNI 19-3964-1994 which was carried out for eight consecutive days with sampling locations at 9 locations including caterers in the Padang City. The results showed the average generation unit of catering waste in Padang City was 0.099 kg / portion / day in units of weight and 0.252 l / portion / day in units of volume. The collection of catering waste in the city of Padang is 8,309 l / h. The composition of catering waste in Padang in 2019 consisted of 77.43% organic waste, 10.18% plastic waste, 10.17% tissue / paper waste and 2.22% miscellaneous waste. The average density of catering waste is 0.380 kg / l, water content is 32.66%, volatile content is

65.69%, ash content is 1.07%, fixed carbon is 0.58%, C/N ratio is 28.38 and fraction biodegradability 65.44%. Food waste processing from catering in Padang can be managed based on Food Recovery Hierarchy done with a reduction in the source of 10.86%. Donating food cannot be applied to catering. Animal feed 5.94%, industrial use 27.49%, composting 42.00%. Waste that cannot be processed will be disposed of in the landfill at 13.71%.

Keywords : characteristic, composition, food recovery hierarchy, food waste of catering, generation

PENDAHULUAN

Katering menjadi salah satu bisnis yang terus berkembang seiring waktu. Home industri yang satu ini memberikan keuntungan maksimal sehingga banyak diminati. Menurut Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu tercatat sebanyak 8 katering yang terdaftar di Kota Padang pada Bulan Januari 2018 sampai dengan September 2019. Namun karena keterbatasan data yang dimiliki dinas tersebut, digunakan google maps untuk memperoleh informasi untuk mengetahui jumlah katering yang ada di Kota Padang dan didapatkan jumlah usaha katering sebanyak 86. Jasa katering biasanya digunakan untuk kegiatan pesta seperti syukuran, hantaran, khitanan, acara keagamaan, seminar, rapat, event organizer, pesta ulang tahun dan berbagai macam kegiatannya lainnya.

Saat ini katering tidak hanya menyediakan masakan yang berbau tradisional namun menu yang bertaraf internasional juga dapat disajikan, dengan berbagai bentuk dan variasi yang baru dan menarik serta ditambah dengan pelayanan untuk semua kegiatan pesta atau acara event. Dengan kemudahan tersebut dan banyaknya pilihan menu yang ditawarkan oleh produsen membuat konsumen cendrung untuk mengunakan jasa katering. Jadi usaha jasa katering merupakan salah satu sumber dari berbagai macam sumber penghasil sampah di Kota Padang. Hal ini akan berpotensi menyebabkan timbulnya sampah yang cukup besar dari sektor ini, terutama potensi timbulnya limbah dari sampah makanan (food waste).
Menurut Food Agriculture Organization (FAO) sampah makanan adalah sampah yang dihasilkan pada saat proses pembuatan makanan maupun setelah kegiatan makan yang berhubungan dengan perilaku penjual dan konsumennya. Berdasarkan laporan bertajuk "Food Sustainable Index" kajian The Economist Intellegent Unit bersama Barilla Center For Food and Nutrition Foundation (2018), Indonesia menempati peringkat kedua sebagai negara yang menghasilkan sampah makanan terbanyak di dunia. Mereka mencatat, setiap penduduk Indonesia rata-rata membuang sekitar 300 kg makanan per tahun. Jumlah ini lebih besar 23 kilogram daripada negara adidaya seperti Amerika Serikat.

Sampah dari aktivitas usaha katering adalah sampah yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi yang sebagian besar merupakan sampah makanan. Hal ini didukung dari penelitian Metawe Thamagasorn (2018) yang bertujuan untuk mengidentifikasi jumlah limbah makanan yang dihasilkan dari proses produksi katering penerbangan dapur halal untuk mengidentifikasi limbah makanan. Penelitian ini menemukan bahwa limbah sayuran menyumbang 40-50 persen dari total makanan yang dihasilkan dalam operasi. Meskipun proses penyajian makanan tidak menghasilkan limbah makanan dengan jumlah tertinggi, tetapi dalam hal kelayakan, proses ini menghasilkan jumlah makanan terbuang yang paling tinggi (bagian yang dapat dimakan). Negara-negara di Asia, seperti Jepang telah melakukan upaya pengelolaan sendiri untuk jenis sampah makanan semenjak dibuatnya undang undang baru pada tahun 2000 (Tanaka, 2008), sedangkan di Indonesia khususnya Kota Padang, pengelolaan sampah makanan masih disatukan dengan sampah kota.

Pengelolaan limbah katering perlu dilakukan agar tidak mencemari lingkungan. Penelitian dari aktivitas katering Kota Padang belum pernah dipublikasikan . Penelitian ini menganalisis timbulan, komposisi, karakteristik dan potensi daur ulang sampah makanan yang dihasilkan katering di Kota Padang. Hasil dari perhitungan tersebut digunakan untuk mengkaji pengolahan yang tepat untuk sampah yang dihasilkan dari aktivitas usaha katering. Karakteristik berupa kadar air, Rasio C/N, biodegradabilitas, dan pH dijadikan perbandingan untuk kriteria desain pengolahan sampah dari aktivitas usaha katering di Kota Padang

MATERIAL DAN METODA

Pengumpulan Data

Pengumpulan data ada dua jenis yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait, dan sumber-sumber lainnya yang relevan. Data primer diperoleh dari hasil sampling, hasil pengukuran serta penyebaran kuisioner.

Jumlah Sampel

Menentukan bahwa sampel yang diambil telah mewakili dari restoran, maka dibuktikan dengan evaluasi jumlah survei menggunakan rumus berdasarkan SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Menurut Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu tercatat sebanyak 8 katering yang terdaftar di Kota Padang. Namun karena keterbatasan data yang dimiliki dinas tersebut, digunakan google maps untuk memperoleh informasi untuk mengetahui jumlah katering yang ada di Kota Padang dan didapatkan jumlah katering sebanyak 86. Dengan angka tersebut, maka jumlah titik sampel yang didapatkan adalah:

$$S = Cd\sqrt{Ts}$$

$$S = 1 * \sqrt{86}$$

$$= 9$$

Penentuan Lokasi Sampling

Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah pada penentuan lokasi sampling ditetapkan 9 usaha katering karena sudah mewakili untuk keseluruhan katering yang ada di Kota Padang. Klasifikasi katering terbagi atas 3 golongan yaitu berdasarkan kriterianya (Kepmenkes 715/Menkes/SK/V/2003):

1. Golongan A1
   Melayani kebutuhan masyarakat umum, dengan pengolahan makanan yang menggunakan dapur rumah tangga dan dikelola oleh keluarga.
2. Golongan A2
   Melayani kebutuhan masyarakat umum, dengan pengolahan yang menggunakan dapur rumah tangga dan memperkerjakan tenaga kerja.
3. Golongan A3
   Melayani kebutuhan masyarakat umum, dengan pengolahan yang menggunakan dapur khusus dan memperkerjakan tenaga kerja.

Berdasarkan klasifikasi tersebut diambil 3 usaha katering untuk masing-masing golongan, dari jumlah lokasi sampling yaitu 9 usaha katering yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Jumlah Sampling

No.	Gol. A1	T.K	Gol. A2	T.K	Gol. A3	T.K
1	Kat. A	-	Kat. D	8	Kat. G	60
2	Kat. B	-	Kat. E	20	Kat. H	10
3	Kat. C	-	Kat. F	16	Kat. I	12

Keterangan:
Gol = Golongan
T.K = Tenaga Kerja
Kat. = Katering

Sampling timbulan, komposisi, karakteristik dan potensi daur ulang sampah

Berdasarkan SNI 19-3964-1994 sampling dilakukan 8 hari berturut-turut pada lokasi yang sama. Waktu pengambilan sampel di masing-masing katering dilakukan setelah sampel sampah berada selama 24 jam di

katering tersebut. Teknis sampling untuk katering ini dilakukan dengan cara meminta pegawai katering untuk mengumpulkan sampah yang dihasilkan saat mengolah makanan di dapur. Peneliti menjemput sampah di lokasi sampling dan membawa ke tempat melakukan pengukuran. Sampah yang berasal dari aktivitas mengolah makanan di dapur tersebut dikumpulkan pada satu wadah untuk dihitung timbulan, komposisi, karakteristik dan potensi daur ulang sampahnya.

Pengukuran berat dan volume sampah dan timbulan sampah

Menimbang berat sampah masing-masing dalam kantong plastiksehingga didapatkan berat sampat dalam satuan kg. Untuk mencari volume sampah yaitu dengan menuang sampah dalam wadah pengukur volume sehingga didapatkan volume sebelum pemadatan. Untuk mencari volume setelah pemadatan sampah yang ada pada wadah pengukuran volume diangkat setinggi 30 cm dan dihentakkan sebanyak tiga kali. Timbulan sampah dapat dihitung dari hasil penimbangan berat dan pengukuran volume dibagi dengan jumlah porsi yang disediakan per harinya

Pengukuran komposisi sampah

Pengukuran komposisi sampah dilakukan berdasarkan penelitian Fauzi (2018) yaitu komponen sampah langsung diukur di lapangan dengan melakukan pemisahan berdasarkan komponennya yaitu sampah organik (sisa makanan, daun, sisa bahan makanan, kulit buah, sayur, cangkang telur dan tulang), sampah plastik (botol plastik, plastik kemasan, kantong plastik, sedotan dan sendok plastik), sampah kertas/ tissue (tissue, kertas pengemas makanan dan wadah kertas dan karton) dan sampah lain-lain (sampah styrofoam, pecahan kaca, sisa rokok, kaleng dan botol). Persen pada komposisi sampah diperoleh dari berat masing-masing komponen sampah yang telah ditimbang beratnya dan dibagi dengan berat total sampah keseluruhan.

Analisis potensi daur ulang sampah berdasarkan literatur dari buku
Penentuan potensi daur ulang sampah berdasarkan (Damanhuri dan Padmi, 2016) yaitu dilakukan dengan pemilahan sampah-sampah yang dapat didaur ulang menurut komposisinya. Selanjutnya sampah ditimbang dan dicatat berat serta persen sampah yang berpotensi untuk didaur ulang .

Perhitungan karakteristik fisik sampah

Karakteristik fisik sampah meliputi perhitungan berat jenis sampah (kg/l). Data yang dibutuhkan untuk menghitung berat jenis sampah telah didapat dari pengukuran timbulan sebelumnya. Perhitungan berat jenis menggunakan data berat sampah dan volume sampah setelah dikompaksi, maka berat jenis sampah dinyatakan dengan hasil bagi dari berat dan volume sampah di masing-masing sumber.

Analisis di laboratorium

Sebelum sampah makanan dianalisis di laboratorium, menurut SNI 19-3964-1994 sampah diambil 2 kg yang terdiri dari masing-masing jenis sampah berdasarkan berat masing-masing komponen sampah lalu dimasukkan ke dalam kantong plastik yang ditutup rapat sebelum dibawa ke laboratorium. Kemudian dilakukan uji laboratorium sesuai dengan prosedur yang ada. Analisis laboratorium yang dilakukan yaitu untuk mendapatkan karakteristik kimia dan biologi sampah makanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Satuan Timbulan dan Timbulan Sampah Katering di Kota Padang

Satuan timbulan sampah dapat dilhat dari Tabel 2. Satuan timbulan rata-rata sampah katering di Kota Padang dalam satuan berat sebesar 0,099 kg/porsi/h dan dalam satuan volume sebesar 0,252 l/porsi/h. Sampah katering sebagian besar berasal dari sisa bahan masakan yang dihasilkan saat proses produksi. Satuan timbulan dalam satuan berat terbesar yaitu pada katering E. Perbedaan nilai timbulan yang didapatkan disebabkan oleh jenis bahan baku yang digunakan untuk proses produksi dan jumlah porsi pesanan. Satuan timbulan dalam satuan volume terbesar yaitu pada katering B karena pada saat pengkuran sampah didominasi oleh sampah plastik kemasan dan karton, seperti plastik kemasan minyak goreng serta karton yang digunakan untuk menyimpan bahan masakan. Hal ini menyebabkan sampah membutuhkan ruang/volume wadah sehingga nilai rata-rata timbulan volume yang didapatkan besar

Timbulan sampah katering di Kota Padang dalam satuan berat dan volume dicantumkan dalam Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa timbulan sampah dari golongan A1 dalam satuan berat sebesar 19,32 kg/h dan dalam satuan volume 61,91 l/h. Golongan A2 dalam satuan berat sebesar 35,22 kg/h dan dalam satuan volume 100,84 l/h. Golongan A3 dalam satuan berat sebesar 44,12 kg/h dan dalam satuan volume sebesar 127,08 l/h. Perbandingan timbulan sampah dari ketiga golongan tersebut didapatkan timbulan sampah paling besar terdapat pada golongan A3. Hal ini disebabkan rata-rata jumlah porsi pesanan lebih besar dibandingkan dengan golongan A1 dan A2 sehingga timbulan sampah yang dihasilkan pada golongan A3 lebih besar.

Timbulan sampah katering yang dihasilkan di Kota Padang dalam satuan berat sebesar 2.829 kg/h atau 2,83 ton/h dan dalam satuan volume sebesar 8.309 l/h atau 8,31 m3/h. Timbulan dalam satuan berat terbesar yaitu dihasilkan oleh katering F dimana sampah yang dihasilkannya berasal dari sisa bahan masakan yang dihasilkan saat proses produksi di dapur. Besarnya timbulan sampah yang dihasilkan katering dipengaruhi oleh jumlah porsi pesanan. Timbulan sampah yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah porsi pesanan, yaitu semakin banyak jumlah porsi pesanan maka timbulan sampah yang dihasilkan saat mengolah makanan di dapur juga akan semakin banyak. Selain itu jenis masakan yang dimasak dan bahan baku yang digunakan juga mempengaruhi timbulan sampah.

Tabel 2. Satuan Timbulan Sampah Katering di Kota Padang

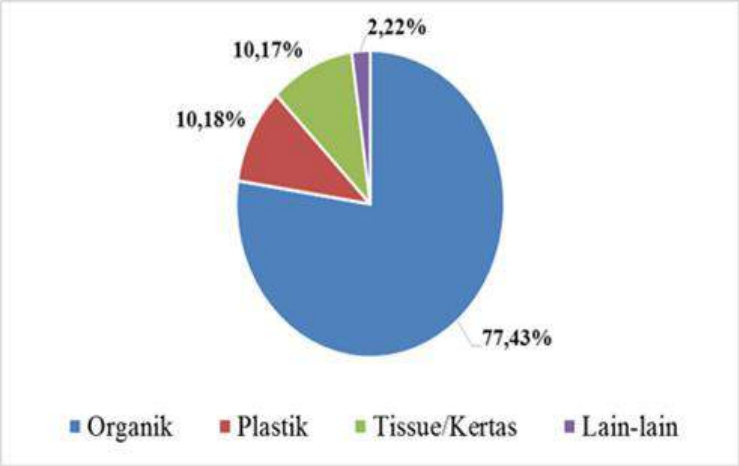
Go	Katering	Satuan Berat (kg/porsi/h)	Satuan Volume (l/porsi/h)
A1	A	0,081	0,228
	B	0,093	0,348
	C	0,085	0,253
A2	D	0,074	0,259
	E	0,131	0,326
	F	0,074	0,205
A3	G	0,051	0,140
	H	0,077	0,210
	I	0,087	0,302
Rata-rata		**0,099**	**0,252**

Tabel 3 Timbulan Sampah dalam Satuan Berat dan Volume di Kota Padang

Gol.	Katering	Timbulan perhari (kg/h)	Timbulan Perhari (l/h)
A1	A	19,60	55,34
	B	21,51	80,42
	C	16,84	49,97
A2	D	22,17	77,58
	E	21,24	52,91
	F	62,26	172,04
A3	G	43,17	117,92
	H	60,00	162,38
	I	29,19	100,94
Rata-rata		**32,89**	**96,61**
86 Katering		**2.829**	**8.309**

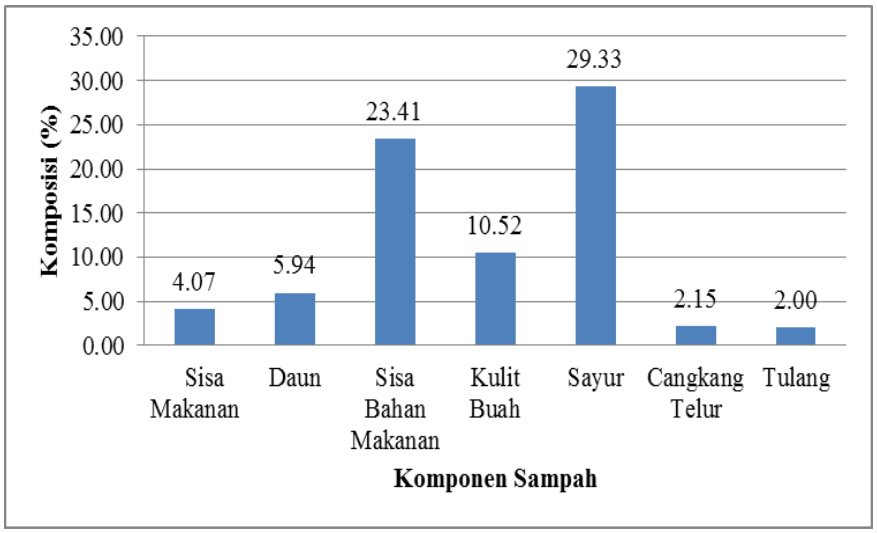
Komposisi Sampah Katering di Kota Padang

Komposisi sampah katering di Kota Padang dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil penelitian terhadap komposisi sampah katering di Kota Padang menunjukkan bahwa komposisi terbanyak adalah sampah organik dengan persentase 77,43%, sampah plastik sebesar 10,18%, sampah tissue/kertas 10,17% dan sampah lain-lain 2,22% . Persentase sampah organik bisa dilihat pada Gambar 1



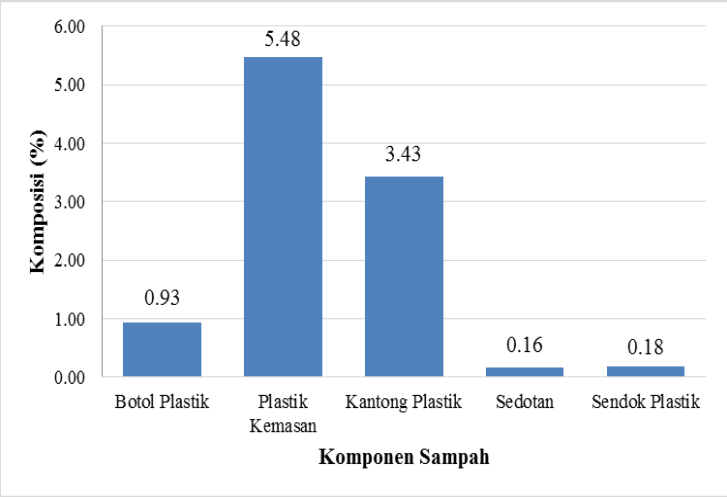
Gambar 1. Komposisi sampah katering di Kota Padang

Untuk sampah organik komponen terbesar merupakan sampah sayur-sayuran yang berasal dari sisa produksi sebesar 29,33%. Selanjutnya sampah sisa bahan makanan 23,41%, sisa makanan 4,07%, kulit buah 10,52%, daun 5,94%, tulang 2,00% dan cangkang telur 2,15%. Untuk sampah plastik komponen terbesar merupakan sampah plastik kemasan sebesar 5,48%. Selanjutnya kantong plastik 3,43%, botol plastik 0,93%, sedotan 0,16% dan sendok plastik 0,18%. Persentase sampah plastik bisa dilihat pada Gambar 2.



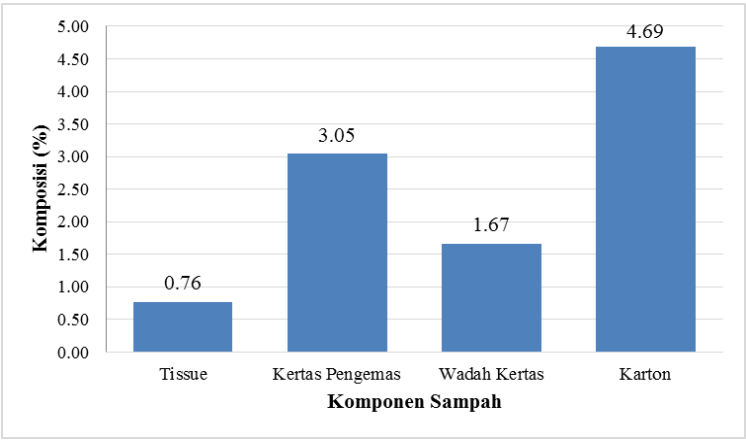
Gambar 2. Komposisi Sampah Organik

Komponen sampah plastik terbesar merupakan sampah plastik kemasan sebesar 5,48%. Selanjutnya kantong plastik 3,43%, botol plastik 0,93%, sedotan 0,16% dan sendok plastik 0,18%. Persentase sampah plastik bisa dilihat pada Gambar 3



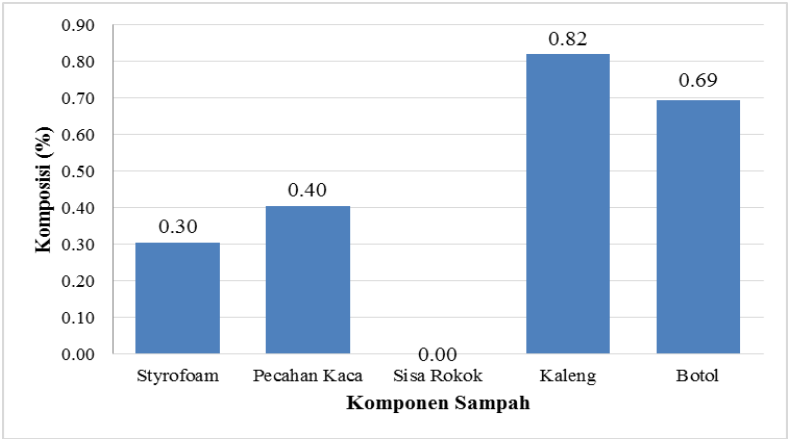
Gambar 3. Persentase Sampah Plastik

Komponen sampah kertas terdiri sampah karton sebesar 4,69%., kertas pengemas 3,05%, wadah kertas 1,67%, dan tissue 0,76%. Persentase sampah tissue/ kertas bisa dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Persentase Sampah Kertas

Komponen sampah lain-lain merupakan sampah kaleng sebesar 0,82%, sampah botol 0,69%, styrofoam 0,30%, pecahan kaca 0,40% dan tidak ada sisa rokok. Persentase sampah lain-lain bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Persentase Sampah Lain-Lain

Potensi Daur Ulang Sampah Katering di Kota Padang

Persentase komposisi sampah katering yang didapatkan berdasarkan komponen sampah dari penelitian berguna untuk penentuan potensi daur ulang dari masing-masing komponen. Penentuan potensi daur ulang dari masing-masing komponen sampah didapatkan dengan membandingkan berat masing-masing komponen yang dapat didaur ulang dengan berat total masing-masing komponen sampah. Potensi daur ulang berdasarkan sumber sampah dikelompokkan atas potensi daur ulang sampah basah dan potensi daur ulang sampah kering. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan berat masing-masing komponen sampah basah yang dapat didaur ulang dengan total berat sampah dari masing-masing sumber sampah. Komponen sampah yang dapat didaur ulang dari katering di Kota Padang adalah sampah kertas, plastik, kaca, logam dan organik.

Tabel 4. Rekapitulasi Potensi Daur Ulang Sampah Katering di Kota Padang

Jenis Sampah	Layak kompos	Dapat didaur ulang (%)	Tidak dapat didaur ulang (%)
Kertas (%)	-	46,19	53,81
Plastik (%)	-	96,70	3,30
Kaca (%)	-	70,35	29,65
Non Ferrous (%)	-	100,00	-
Rata-rata		**78,31**	**21,69**

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa potensi daur ulang sampah katering di Kota Padang yang dapat didaur ulang adalah sebesar 78,31%, sedangkan sampah yang tidak layak didaur ulang untuk katering di Kota Padang adalah sebesar 21,69%. Potensi daur ulang terbesar terdapat pada sampah yang ditemukan yaitu logam non ferrous yang bisa di daur ulang. Potensi daur ulang sampah kedua terbesar adalah sampah plastik.

Karakteristik Sampah Katering di Kota Padang

Karakteristik Fisika

Karakteristik fisika yang dianalisis adalah berat jenis. Manfaat dari analisis berat jenis sampah adalah untuk memperhitungkan pemilihan jenis kapasitas peralatan pengumpul dan pemindahan sampah yang membutuhkan data berat dan volume sampah yang akan dikelola. Hasil perhitungan berat jenis sampah dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa rata-rata berat jenis sampah katering adalah 0,380 kg/l. Kandungan air yang ada pada sampah katering berasal dari sampah sisa makanan, sayur-sayuran dan buah-buahan. Berat jenis sampah makanan terbesar adalah katering H dengan nilai sebesar 0,436 kg/l. Hal ini disebabkan komposisi sampah katering H didominasi oleh sisa bahan makanan dan sayur-sayuran yang cukup berat sehingga memiliki kadar air yang besar sehingga mempengaruhi besarnya nilai berat jenisnya .

Tabel 5 Berat Jenis Sampah Katering di Kota Padang

Gol.	Katering	Berat Jenis (kg/liter)
A1	A	0,397
	B	0,313
	C	0,374
A2	D	0,328
	E	0,397
	F	0,423
A3	G	0,408
	H	0,436
	I	0,344
Rata-rata		**0,380**

Karakteristik Kimia dan Biodegradabilitas

Analisis kadar air, volatile, abu dan fixed carbon dilakukan terhadap berbagai jenis sampah yaitu organik dan kertas. Perhitungan kadar air, volatil dan fixed carbon dilakukan di Laboratorium Buangan Padat Jurusan Teknik Lingkungan. Data hasil perhitungan yang dilakukan setelah penelitian dapat dilihat pada Tabel 6. Menurut SNI 19-7030-2004 tentang Standar Kualitas Kompos nilai maksimum kadar air sampah organik yang digunakan untuk kompos adalah 50 %, sehingga dapat diketahui bahwa sampah katering layak dijadikan kompos.

Tabel 6 Kadar Air, Volatile, Abu dan Fixed Carbon, C/N, fraksi biodegradabilitas

Karakteristik Kimia	(%)
Kadar Air	32,66
Kadar *Volatile*	65,69
Kadar Abu	1,07
Kadar *Fixed Carbon*	0,58
C/N	28,38
Fraksi Biodegradabilitas	65,44%

Kajian Pengolahan Makanan Katering di Kota Padang

Dalam penelitian ini, kajian awal kelayakan pengolahan sampah katering di Kota Padang berdasarkan pada pengolahan sampah yaitu daur ulang, pengomposan dan anaerobic digestion yang mengacu kepada karakteristik fisika, kimia dan biologi sampah katering Kota Padang, serta hirarki menurut Food Recovery Hierarchy (US EPA,2016).

Sampah yang dihasilkan dari aktivitas usaha katering di Kota Padang sebagian besar berasal dari sampah makanan. dengan komposisi sampah organik 77,43% dan sampah anorganik sebesar 22,57%. Komponen sampah organik tersebut berupa sampah sisa makanan, daun, sisa bahan makanan, kulit buah, sayur, cengkang telur, dan tulang. Sampah makanan yang tersebut dihasilkan saat proses mengolah makanan di dapur.

1. Reduksi di Sumber
   Hasil penelitian yang dilakukan katering di Kota Padang dapat mereduksi sampah sebesar 10,86% yaitu 11,76 l/h dari sampah plastik, sampah kertas dan sampah lain-lain yang dapat didaur ulang yang dihasilkan katering di Kota Padang. Katering di Kota Padang sebagian besar belum melakukan pemilahan sampah sebagai upaya dalam mereduksi sampah di sumber. Hal ini disebabkan kurangnya pengetahuan terhadap pengolahan dari sampah makanan yang dihasilkan. Komponen sampah yang mempunyai nilai tinggi untuk dimanfaatkan kembali, berdasarkan kondisi eksisting dan penelitian Fauzi (2018) adalah kertas, plastik, aluminium dan botol yang bisa untuk didaur ulang. Masing-masing katering dapat menjual sampah kertas, plastik, aluminium dan botol yang dihasilkannya ke lapak-lapak sehingga sampah yang akan dibuang ke TPA semakin sedikit.
2. Mendonasikan Makanan
   Hasil penelitian yang dilakukan pada katering di Kota Padang pada umumnya katering belum mendonasikan makanan untuk mengurangi pembuangan makanan dengan membagikan makanan yang berlebih dan masih layak kepada masyarakat yang membutuhkan. Berdasarkan komposisi yang didapatkan pada penelitian sisa makanan yang dihasilkan katering sebesar 4,02%. Sisa makanan ini berasal dari makanan bersisa tenaga kerja pada katering. Tenaga kerja tersebut membuang sampah makanan dan disatukan dengan sampah dapur. Sehingga ditemukan sisa makanan. Mendonasikan sisa makanan pada katering belum bisa diterapkan. Hal ini disebabkan sisa sampah makanan yang ditemukan bukan sampah yang berasal dari sisa makanan berlebih dari pesanan. Sisa makanan yang berlebih biasanya diambil oleh pihak pemesan.
3. Memberi Makan Hewan

Hasil penelitian yang dilakukan pada katering di Kota Padang, belum melakukan memberi makan hewan dari sisa sampah makanan yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan katering di Kota Padang belum menemukan mitra dari pihak peternakan untuk menjemput sendiri sampah sisa bahan makanan dan sisa sayur-sayuran yang dihasilkan dari katering yang akan di berikan untuk pakan hewan ternak. Sampah katering yang dapat diberikan untuk pakan hewan ternak sebesar 5,94% yaitu 6,42 l/h yang berasal dari sampah daun.

Memberikan sampah sisa makanan untuk pakan ternak adalah tingkat ketiga dari hirarki pengelolaan sisa makanan menurut EPA. Petani telah melakukan ini selama berabad-abad. Dengan penanganan yang benar dan aman, siapa pun dapat menyumbangkan sisa makanan untuk pakan ternak. Sisa makanan untuk hewan dapat menghemat uang petani dan pemilik peternakan. Seringkali lebih murah untuk memberi makan sisa makanan hewan dari pada membawanya ke tempat pembuangan sampah. Katering juga dapat menyumbangkan makanan tambahan untuk hewan peliharaan.

4. Penggunaan Industri

Hasil penelitian yang dilakukan sebesar 27,49% sampah katering yang dapat digunakan untuk penggunaan industri yaitu 29,68 l/h dari komponen sampah sisa makanan dan sisa bahan makanan. Salah satu parameter yang akan mempengaruhi proses yang terjadi dalam anaerobic digester adalah rasio C/N. Menurut (Damanhuri dan Padmi, 2016) standar rasio C/N yang optimal untuk proses anaerobic digestion adalah 20-30, artinya bakteri memakan habis unsur C 20-30 lebih cepat darpada unsur N. Hal ini menunjukkan bahwa rasio C/N perlu diperhatikan dalam pembentukkan biogas. Dilihat dari nilai rasio C/N sampah katering di Kota Padang 28,38%, maka cocok untuk dilakukan pengolahan menggunakan anaerobic digester.

5. Pengomposan

Hasil penelitian didapatkan sebesar 42% sampah katering dapat dijadikan kompos yaitu 51,78 l/h dari komponen sampah sayuran, kulit buah dan cangkang telur. Pengomposan akan terlaksana dengan baik jika sampah yang akan dikompos memiliki rasio C/N berada diantara nilai 20-30 (Tchobanoglous dkk, 1993). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa rasio C/N sampah katering di Kota Padang yaitu sebesar 28,38 sehingga memenuhi persyaratan dari kriteria desain pengomposan. Berdasarkan hasil penelitian ini, karakteristik yang djadikan sebagai kriteria desain pengomposan dibatasi kepada kadar air, rasio C/N dan biodegradabilitas sampah. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar air untuk sampah yang akan dikompos maksimal 50%. Jika dibandingkan dengan kadar air sampah katering di Kota Padang (42,83%). Jadi sampah katering di Kota Padang memenuhi syarat pengomposan.

KESIMPULAN

Kesimpulan hasil penelitian kajian pengolahan sampah katering di Kota Padang sebagai berikut:

1. Satuan timbulan sampah kegiatan katering di Kota Padang dalam satuan berat adalah 0,099 kg/porsi/hari dan dalam satuan volume adalah 0,252 l/porsi/hari;
2. Komposisi sampah katering di Kota Padang terdiri sampah organik sebesar 77,43%, total sampah plastik sebesar 10,18%, sampah tissue/kertas sebesar 10,17% dan sampah lain-lain sebesar 2,22%;
3. Potensi daur ulang sampah katering di Kota Padang yaitu sampah kertas sebesar 46,19%, sampah plastik sebesar 96,70%, sampah kaca sebesar 70,35%, logam non ferrous sebesar 100% dan sampah organik sebesar 97,37%.
4. Karakteristik fisika rata-rata berat jenis sampah katering di Kota Padang adalah 0,380 kg/l. Hasil penelitian karakteristik kimia proximate analysis sampah katering di Kota Padang untuk kadar air adalah 32,66%; kadar volatile 65,69%; kadar abu 1,07%; kadar fixed carbon 0,58%, rasio C/N 28,38. Hasil penelitian uji biodegradabilitas sampah organik Katering di Kota Padang didapatkan rata-rata fraksi biodegradabilitas sampah organik sebesar 65,44%;
5. Alternatif pengolahan sisa makanan menurut Food Recovery Hierarchy (US EPA,2016) yang dapat diterapkan katering di Kota Padang yaitu dengan melakukan reduksi di sumber sebesar 10,86%. Mendonasikan makanan belum bisa diterapkan pada katering. Memberi pakan hewan 5,94%, penggunaan industri 27,49%, pengomposan 42,00%, serta akhir dari pengelolaan dibuang ke TPA sebesar 13,71%.

DAFTAR PUSTAKA

Ahsan, Estimasi Sisa Makanan dari Paket Sajian Makanan Kotak. Bogor: IPB,2016

Badan Standardisasi Nasional. Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan, Indonesia. Nomor Publikasi: SNI-19-3964-1994

Badan Standardisasi Nasional, Spesifikasi Timbulan Sampah untuk Kota Kecil dan Sedang, Indonesia.Nomor Publikasi: SNI-19-3983-1995

Badan Standardisasi Nasional. Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, Indonesia. Nomor Publikasi: SNI-19-2454-2002

Brigita, G dan Rahardyan, B. Analisa PengelolaanSampahMakanan di Kota Bandung. Bandung: ITB 2013

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, Tata Cara Penyelenggaraan Umum Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R Berbasis Masyarakat di Kawasan Pemukiman 2014

Damanhuri, E. dan Padmi, T, Pengelolaan Sampah Terpadu. Bandung: Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung (ITB), 2016

Departemen Pekerjaan Umum–Direktorat Jenderal Cipta Karya, Pengembangan Penyehatan Lingkungan Pemukiman. Jakarta, 2017

Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu, Katering yang terdaftar di Kota Padang. Padang, 2018

Fauzi . Kajian Pengolahan Sampah Makanan Restoran di Kota padang Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, 2018

Finn, S M. A Public-Private Initiative to Reduce Food Waste: A Framework for Local Communities. Graduate Studies Journal of Organizational Dynamics. Vol. 1 (1), 2011

Hayati, R. Analisis Karakteristik Biologi Sampah Kota Padang. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, 2013

Metawe Thamagasorn, An analysis of food waste from a flight catering business for sustainable food waste management: A case study of halal food production process, 2018

Mezardiana, A M dan Rahardyan, B. Studi Awal Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Food Waste. Bandung: ITB, 2013

Mattias Eriksson,dkk, Quantification of food waste in public catering services – A case study from a Swedish municipality, 2017

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3/PRT/M/2013. Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, 2013

Slamet R, Pengembangan pengelolaan sampah perkotaan dengan pola pemanfaatan sampah berbasis masyarakat. Teknik Lingkungan. Padang:UNAND, 2016

Tanaka, M. Basic Characteristic of Food Waste and Food Ash on Steam Gasification. Industrial & Engineering Chemistry Research. Vol. 47. Issues 7. Page 2.414-2.419, 2008

U.S. EPA, Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM), 2016

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Kajian Awal Sistem Pengelolaan Sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek

Rizki Aziz[1], Yuni Eka Putri[1]

[1]Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia.

E-mail: rizkiaziz@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Bukik Chinangkiek menjadi salah satu tempat wisata unggulan di Kabupaten Solok sejak tahun 2017. Peningkatan jumlah pengunjung tentunya meningkatkan jumlah sampah yang dihasilkan dan diperlukan pengelolaan sampah yang baik. Pengelolaan sampah di kawasan wisata Bukik Chinangkiek masih menerapkan sistem pengelolaan yang lama yaitu kumpulkan, angkut dan buang, sehingga perlu dikaji penerapan sistem pengelolaan sampah baru berbasis reduce-reuse-recycle (3R). Pengelolaan sampah memerlukan data dasar sampah yang meliputi timbulan, komposisi, dan potensi daur ulang, serta data kondisi pengelolaan sampah yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah serta menganalisis sistem yang ada untuk menentukan kebutuhan pengembangannya. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan pembangkitan pada tahun 2019 sebesar 0,763 m^3/hari atau dalam satuan 0,416 L/orang/hari. Komposisi terbesar adalah sisa makanan (32%) dengan potensi daur ulang 100%. Kebutuhan pengembangan pengelolaan sampah meliputi tempat sampah individu dan komunal, pengumpulan sampah pola perorangan tidak langsung, pengolahan sampah di pusat daur ulang dengan kompos takakura, dan daur ulang sampah, pengangkutan sampah sisa dan pengolahan sampah akhir di TPA Regional Kota Solok.

Kata kunci : Kawasan wisata Bukik Chinangkiek, pengelolaan sampah, pengolahan sampah, pusat daur ulang, sampah wisata

ABSTRACT

Composting Bukik Chinangkiek has been one of the leading tourist attractions in Solok Regency since 2017. The increase in the number of visitors has certainly increased the amount of waste generated and proper waste management is necessary. The management of solid waste in the Bukik Chinangkiek tourism area still applies the old method of management system, namely collect, transport and dispose of, so it is necessary to study the implementation of a new waste management system based on reduce-reuse-recycle (3R). Waste management requires basic data on waste including generation, composition, and recycling potential, as well as data on the existing conditions of waste management. This study aims to measure and analyze the waste generation, composition and recycling potential and to analyze the existing system to determine its development needs. Based on the calculation, it was found that the generation in 2019 was 0.763 m^3/day or in unit of 0.416 L/person/day. The largest composition is food waste (32%) with 100% recycling potential. Waste management development needs include individual and communal waste compartment, indirect individual pattern waste collection, waste processing at recycling center with

takakura composting, and waste recycling, transportation of residue waste and final waste processing at the Solok City Regional Landfill.

Keywords : Bukik Chinangkiek tourism area, recycling center, tourism waste, waste management, waste processing

PENDAHULUAN

Pariwisata berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 50 tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisataan Nasional merupakan kegiatan yang memiliki keterkaitan lintas sektor dan lintas skala usaha. Berkembangnya kegiatan pariwisata akan menggerakkan berlapis-lapis mata rantai usaha yang terkait di dalamnya sehingga akan menciptakan efek ekonomi multi ganda (multiplier effect) yang akan memberikan nilai manfaat ekonomi yang sangat berarti bagi semua pihak yang terkait. Arah kebijakan pengembangan tanggung jawab terhadap lingkungan yang terdapat dalam Rencana Induk Pembangunan Kepariwisataan Nasional atau disebut RIPPARNAS tahun 2010-2025 diwujudkan dalam bentuk pengembangan manajemen usaha pariwisata yang mengacu kepada prinsip-prinsip pembangunan pariwisata berkelanjutan, yang salah satunya dengan permasalahan sampah.

Permasalahan sampah di kawasan wisata sudah menjadi perhatian para peneliti di tingkat nasional dan internasional. Beberapa penelitian telah dilakukan pada berbagai jenis lokasi wisata, mulai dari wisata alam, ataupun objek wisata lainnya di kawasan terbangun, diantara penelitian itu adalah resort wisata di hutan Kashmir (Bhat dkk, 2014), wisata pulau di Langkawi (Shamshiry dkk, 2011), desa wisata di Malang (Purmada dkk, 2016), wisata bukit di Sintang (Naltaru dkk, 2014), wisata gunung (Oktiasari, 2018) dan wisata pantai di China (Liu dkk, 2017), dan juga wisata pelabuhan (Wijaya dan Trihadiningrum, 2014), serta wisata kota di Vietnam (Hoang dkk, 2017). Untuk lokasi wisata Sumatera Barat sudah ada beberapa penelitian yang berlokasi pada pantai (Aziz and Mira, 2019; Aziz dkk, 2020; Aziz, et al. 2021), danau (Aziz dan Putra, 2019), lembah (Aziz et al., 2020), desa wisata (Aziz et al., 2020), dan wisata kota (Jefri dan Aziz, 2018, serta Aziz dkk, 2019).

Kabupaten Solok, Sumatera Barat memiliki 23 Kawasan Wisata salah satunya yaitu Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek. Bukik Chinangkiek ini merupakan salah satu Kawasan Wisata yang terletak di atas bukit di Jorong Tampunik Nagari Singkarak Kecamatan X Koto Singkarak. Bukik Chinangkiek ini memiliki luas ±30 Ha. Bukik Chinangkiek ini dijadikan wisata rekreasi keluarga dengan berbagai fasilitas diantaranya villa penginapan, waterpark, drypark, adventure park dan panorama alam Danau Singkarak. Fasilitas tersebut dapat memberikan daya tarik wisatawan untuk berkunjung.

Berdasarkan data dari Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Solok tahun 2019 (BPS, 2020) jumlah pengunjung wisata Bukik Chiangkiek tahun 2017 adalah 712 orang terdiri dari 24 orang wisatawan mancanegara dan 684 orang wisatawan nusantara. Pada tahun 2018 meningkat menjadi 2.181 orang pengunjung terdiri dari 71 orang wisatawan mancanegara dan 2.110 orang wisatawan nusantara. Banyaknya wisatawan yang datang tentunya juga banyak sampah yang dihasilkan. Akan tetapi, meningkatnya jumlah kunjungan wisatawan belum dilengkapi dengan pengelolaan sampah yang baik di Kawasan Wisata ini seperti masih kurangnya ketersediaan sarana dan prasarana untuk menampung sampah yang dihasilkan. Selain itu, kurangnya kesadaran pengunjung terhadap lingkungan sehingga banyak sampah yang berserakan di sekitaran Kawasan Wisata tersebut.

Menurut Permen PU No. 21 tahun 2006 tentang Kebijakan dan Strategis Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan (KSNP-SPP), dengan pola penanganan sampah yang berorientasi pada pengurangaan dan pemanfaatan sampah di sumber sehingga sampah yang dibuang ke TPA dapat dikurangi untuk mencapai target pemerintah dalam mereduksi sampah di sumber sehingga mencapai angka 20% sebelum dibuang ke TPA.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pengelola, pengolahan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek ini belum ada. Kawasan pariwisata tersebut masih melakukan pengelolaan sampah dengan metode lama yaitu mengumpulkan sampah dari tempat sampah dan langsung diangkut ke TPA tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Pengangkutan sampah ke TPA biasanya dilakukan setiap sekali seminggu. Namun sekarang pengangkutan sampah ke TPA tidak dilaksanakan lagi karena Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek sudah tidak dilayani lagi oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Solok. Berdasarkan

survey lapangan, sampah yang telah dikumpulkan oleh petugas kebersihan Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek hanya ditumpuk di dekat kontainer yang ada disana. Maka dari itu, perlu dilakukan perencanaan sistem pengelolaan sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek ini.

Mengacu pada Undang-Undang No 18 Tahun 2008 dan PP No 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah dimana pengelolaan sampah pariwisata terdiri dari perencanaan pengelolaan sampah, pengurangan sampah disumber dan pengolahan sampah. Bentuk perencanaan sistem pengelolaan sampah Kawasan Wisata dapat diwujudkan meliputi aspek teknis operasional yaitu pewadahan, pengumpulan, pemanfaatan, pengolahan, pemindahan, pengangkutan dan pemrosesan akhir serta aspek non teknis berupa aspek kelembagaan, peraturan/ legalitas, pembiayaan dan aspek peran serta masyarakat. Pengurangan sampah diwujudkan dengan keterlibatan aktif masyarakat maupun pihak pengelola sampah. Pengurangan sampah sendiri dilakukan dengan proses 3R (Reduce, Reuse dan Recycle).

Perencanaan sistem pengelolaan sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek ini diharapkan dapat mengatasi masalah sampah Wisata Bukik Chinangkiek, dan menjadi acuan dalam pengelolaan persampahan Kabupaten Solok yang lebih baik sesuai dengan aspek teknis dan non teknis yang berlaku serta menjadi kawasan wisata edukasi, yaitu wisata sambil mengenalkan dan mengajarkan bagaimana cara pengelolaan sampah suatu kawasan wisata. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur dan menganalisis timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek. Selanjutnya dapat menganalisis sistem pengelolaan sampah untuk dapat ditentukan kebutuhan sistem pengelolaan sampah yang sesuai untuk Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek meliputi aspek teknis dan non teknis..

METODOLOGI

Kajian ini dilakukan melalui tahapan studi literatur, pengumpulan data skunder dan primer, dan kajian awal sistem pengelolaan sampah. Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan dan mempelajari teori yang mendukung dalam rancangan sistem pengelolaan sampah wisata Kawasan Bukik Chinangkiek yang bersumber dari buku teks, jurnal dan penelitian sebelumnya tentang jumlah timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah serta peraturan-peraturan yang berlaku dan terkait dengan ketentuan umum dan teknis rancangan sistem pengelolaan persampahan.

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan analisis dokumen yang bertujuan untuk memperoleh data-data mengenai kondisi fisik wilayah (batas administrasi dan kondisi geografis), kondisi eksisting pengelolaan persampahan Kawasan Bukik Chinangkiek berupa aspek teknis pengelolaan sampah (sumber sampah, pewadahan, pengumpulan, pengangkutan dan pengolahan) dan aspek non teknis pengelolaan sampah (aspek hukum/ peraturan, kelembagaan, pembiayaan dan peran serta masyarakat).
Pengumpulan data primer dilakukan untuk memperoleh data timbulan, komposisi dan potensi daur ulang sampah sebagai acuan untuk perencanaan pengelolaan persampahan di Kawasan Bukik Chinangkiek. Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengukur timbulan, komposisi sampah dan potensi daur ulang sampah, wawancara dan penyebaran kuisioner.

Sampling dilakukan di semua fasilitas yang ada pada Kawasan Bukik Chinangkiek, berdasarkan SNI 19-3694-1994 jumlah sampel yang berasal dari fasilitas umum yang tidak tercantum pada daftar diambil 10% dari jumlah keseluruhan atau sekurang-kurangnya 1 (satu). Jenis fasiltas yang ada sebanyak 11 buah dengan jumlah total 93 buah, dan jumlah titik sampling sebanyak 15 buah.

Pengukuran timbulan, komposisi sampah sesuai SNI 19-3964-1994 Tentang Metoda Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Komposisi Sampah Perkotaan dan potensi daur ulang sampah dengan memperhatikan sampah yang dapat didaur ulang dan memiliki nilai jual pada sektor informal.

Berdasarkan SNI 19-3964-1994 sampling untuk Kawasan Bukik Chinangkiek dilakukan 8 hari berturut-turut pada lokasi yang sama dan untuk waktu pengambilan sampel dilakukan selama 24 jam. Tahapan pelaksanaan sampling di Kawasan Bukik Chinangkiek dalam kajian ini dengan membagikan kantong plastik yang telah diberi tanda ke lokasi titik sampling sehari sebelum sampling dilakukan. Kemudian sampah dimasukkan ke kantong plastik terhitung mulai pukul 09.00 sampai dengan pukul 09.00 keesokan harinya (24 Jam). Selanjutnya kantong plastik yang telah berisi sampah dari masing-masing titik sampling dikumpulkan dan diangkut ke lokasi pengukuran.

Tahapan pengukuran timbulan sampah dilakukan dengan cara menimbang berat sampah masing-masing dalam kantong plastik, catat berat sampah tersebut (Bs). Selanjutnya tuang secara bergiliran sampel tersebut

ke wadah pengukur volume dan catat volumenya (Va). Kemudian Hentakkan wadah pengukur ke tanah sebanyak 3 kali dengan cara mengangkatnya setinggi 20 cm. Akhirnya ukur dan catat tinggi sampah dalam kotak tersebut, lalu hitung volume sampah.

Komposisi sampah langsung diukur di lapangan dengan melakukan pemisahan sampah yaitu sisa makan, plastik, halaman/daun kering, kaleng, kertas/kardus, besi atau logam, tekstil dan lainnya. Persen komposisi sampah diperoleh dari berat masing-masing komponen sampah yang telah ditimbang beratnya dan dibagi dengan berat total sampah keseluruhan. Ukur dan catat tinggi dari total komposisi sampah semua fasilitas dalam kompaktor, lalu hitung volume komposisi sampah.

Dan pengukuran potensi daur ulang sampah dilakukan dengan pemilahan sampah-sampah yaitu sampah sisa makan, plastik, halaman/ daun kering, kaleng, kertas/kardus, besi atau logam, tekstil dan lainnya. Selanjutnya sampah ditimbang dan dicatat berat dan persen sampah yang berpotensi didaur ulang sesuai data komponen sampah yang dibeli oleh pelaku bisnis sampah.

Formula dalam perhitungan timbulan sampah, komposisi, dan potensi daur ulang adalah sebagai berikut:

a. Rumus timbulan per hari:
   =Volume sampah (L) /jumlah unit penghasil sampah (m^2/orang)
b. Rumus komposisi (% berat):
   =[berat komponen sampah (kg) /berat total sampah yang diukur (kg)] x 100%
c. Rumus potensi daur ulang (%):
   = [berat komponen dapat didaur ulang/berat total sampah dari sumber]x 100 %"

Wawancara dilakukan dengan pengelola kebersihan Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dan bagian pengelolaan sampah Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Solok. Sedangkan kuisioner diberikan kepada pengunjung dan pedagang yang ada di Kawasan Bukik Chinangkiek.

Analisis sistem pengelolaan sampah dilakukan melalui identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengembangan dilakukan dengan cara membandingkan kondisi eksisting pengelolaan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dengan kriteria sistem pengelolaan sampah yang berlaku di Indonesia. Kriteria sistem pengelolaan mengacu kepada SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan, Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Persampahan, dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, Indonesia. Analisis akan diakhiri dengan rekomendasi sistem pengelolaan persampahan Kawasan Bukik Chinangkiek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Timbulan, Komposisi, Dan Potensi Daur Ulang Sampah

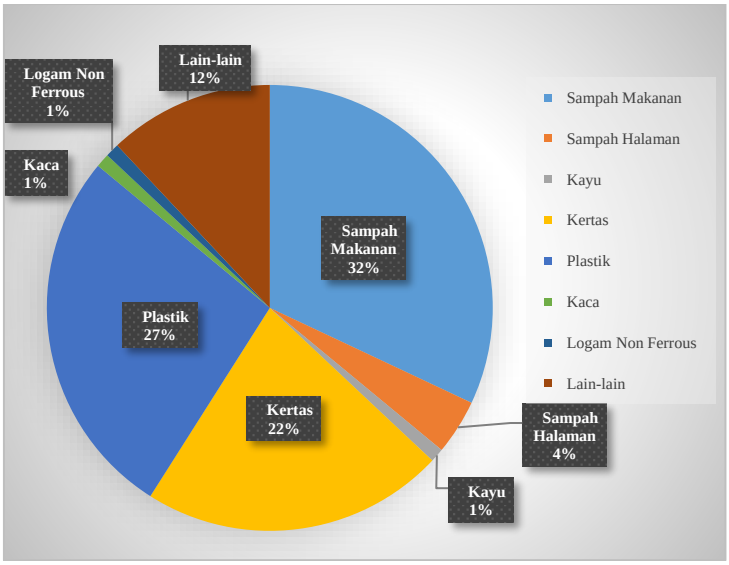
Timbulan yang ada di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek berkaitan dengan peruntukan fasilitas tersebut yang terdiri dari sarana komersil dan fasilitas pariwisata. Perhitungan jumlah satuan timbulan sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa satuan timbulan sampah terbesar berasal dari sampah villa sebesar 2,101 L/orang/hari atau 0,087 kg/orang/hari. Satuan timbulan sampah terkecil dihasilkan dari pos security sebesar 0,114 L/orang/hari atau 0,007 kg/orang/hari, sehingga timbulan sampah dari kawasan wisata ini yang terbesar sebanyak 399,25 L/hari atau 16,45 kg/hari. Secara keseluruhan, satun timbulan sampah rata-ratanya adalah 0,416 L/orang/hari atau 0,025 kg/orang/hari, sedangkan timbulan sampah dari kawasan wisata ini adalah 763,40 L/hari atau 44,90 kg/hari.

Komposisi sampah yang terdapat di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek berbeda-beda yang terdiri dari sampah basah, sampah kering dan lain-lain. Komposisi sampah terbesar yang dihasilkan dari Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek yaitu sampah makanan dengan persentase 32%. Persentasi komposisi terendah adalah sampah kayu, kaca dan logam non ferrous yaitu 1%. Komposisi sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Timbulan Sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek

Fasilitas	Satuan timbulan		Timbulan	
	(L/o/h)	(kg/o/h)	(L/h)	(kg/h)
Villa	2,101	0,087	399,25	16,45
Pos *Security*	0,114	0,007	1,72	0,11
Mushalla	0,187	0,024	30,64	3,97
Café	0,189	0,016	22,17	1,88
Waterboom	0,242	0,025	12,82	1,31
Gazebo	0,375	0,032	121,20	10,45
Parkiran	0,147	0,011	14,42	1,07
Kantor	0,427	0,027	2,56	0,16
Aula	0,398	0,027	20,72	1,42
Wahana Permainan	0,176	0,011	77,39	4,66
Toilet Umum	0,215	0,012	60,51	3,43
Rerata	**0,416**	**0,025**		
Total			**763,40**	**44,90**



Gambar 1. Persentase Komposisi Sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa komposisi sampah terbesar adalah sampah makanan sebesar 32 %, plastik 27%, dan kertas 22% dari keseluruhan berat sampah.

Berdasarkan potensi daur ulang, sampah yang dihasilkan dari Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek memiliki potensi daur ulang 100% untuk sampah makanan, logam dan kaca. Adapun sampah kertas memiliki potensi daur ulang sebesar 25%, dan sampah plastik sebesar 81%.

Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Eksisting

Identifikasi permasalahan sistem pengelolaan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek didasarkan pada hasil evaluasi kondisi eksisting sistem pengelolaan sampah yang tidak sesuai dengan kriteria pengelolaan sampah berdasarkan SNI 19-2454-2002, Undang-Undang No. 18 Tahun 2008, dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3/PRT/M/2013. Adapun permasalahan yang ada yaitu Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek termasuk dalam daerah pelayanan sampah Kabupaten Solok, tetapi pihak wisata tersebut tidak memenuhi persyaratan yang diberikan oleh Dinas Lingkungan Hidup dan sudah tidak

dilayani lagi. Selain itu Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek seharusnya termasuk pada skala pengelolaan kawasan karena hanya melayani daerah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek saja.

Untuk fasilitas, pewadahan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek menerapkan sistem pewadahan komunal dan individual. Wadah sampah belum terdapat di seluruh fasilitas yang ada di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek. Sistem pengumpulan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dalam keadaan tercampur meskipun wadah yang disediakan sudah sesuai jenis sampah. Sedangkan untuk pengolahan, Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek belum melakukannya. Terakhir, untuk pemindahan dan pengangkutan sampah sudah dilakukan menggunakan mobil truck yang langsung dibuang ke TPA setiap sekali seminggu. Akan tetapi pengangkutan tidak dilayani lagi oleh Dinas Lingkungan Hidup.

Sedangkan untuk kebutuhan pengembangan sistem pengelolaan sampah di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dapat berupa (a) pewadahan yang digunakan adalah tiga jenis wadah yaitu untuk sampah basah, sampah kering dan sampah lain-lain dengan warna berbeda untuk setiap jenisnya. (b) pengumpulan dapat menggunakan alat angkut berupa becak motor. Pengumpulan setiap jenis sampah akan dipisah dengan periode pengumpulan setiap hari. Pola pengumpulan yang direncanakan adalah pola individual tidak langsung. (c) pengolahan sampah akan dilakukan di Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R dengan pendekatan pengomposan dan daur ulang; (d) residu dari TPS 3R dan sampah lain-lain akan diangkut menuju TPA.

Rekomendasi Sistem Pengelolaan Sampah

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan kebutuhan pengembangan, maka sistem pengelolaan sampah yang dapat diterapkan untuk kawasan wisata ini adalah seperti terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sistem Pengelolaan Sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek

No.	Tahapan	Sistem Pengelolaan Sampah
1.	Tingkat Pelayanan	100% dengan pemilahan dari sumber
2.	Daerah Pelayanan	100% dengan daerah pelayanan seluruh fasilitas yang berada di antara Kawasan Wisata
3.	Pemilahan dan Pewadahan	Dipilah berdasarkan kategori sampah layak kompos, sampah daur ulang, dan sampah lain-lain Pewadahan yang digunakan: a. Wadah individual berupa *Trash bag* b. Wadah komunal berupa bin sampah kapasitas 60 L
4.	Pengumpulan	Individual tidak langsung a. Alat pengumpul: Becak motor, kapasitas 1,5 m^3 b. Sumber dilayani: kawasan wisata Bukik Chinangkiek c. Frekuensi pengumpulan: setiap hari d. Ritasi: 2 kali sehari
5.	Pengolahan	Dilakukan pengolahan di TPS 3R berupa pengomposan, penjualan kerajinan barang dan daur ulang sampah
6.	Pemindahan dan Pengangkutan	Sistem HCS dari kontainer kapasitas 6 m^3 dipindahkan ke *pick up* diTPS 3R menuju TPA.
7.	Peraturan	Pengoptimalan peraturan tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah
8.	Pembiayaan	Berasal dari pihak pengelola Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek
9.	Institusi	Dikelola langsung oleh pihak pengelola
10.	Peran Serta Masyarakat	Menjaga kebersihan wisata, menjual hasil pengomposan dan kerajinan dari daur ulang, memperbanyak himbauan mengenai pengelolaan sampah dan menerapkan membayar belanja dengan menukarkan sampah yang dihasilkan

Dari Tabel 2 dapat dilihat sistem pengelolaan sampah yang dapat diterapkan di Kawasan Wisata Bukik Chinagkiek adalah pola pewadahan yang digunakan yaitu pewadahan individual berupa trush bag dan pewadahan komunal berupa bin fiberglass dengan volume 60 L yang terdiri dari tiga jenis pemilahan sampah yang diletakkan di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek. Wadah berwarna hijau untuk sampah

basah, kuning untuk sampah kering dan abu-abu untuk sampah lain-lain. Pengumpulan sampah dilakukan setiap hari di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek menggunakan becak motor kapasitas 1,5 m^3.

Untuk pengolahan yang dilakukan adalah pengomposan, membuat kerajinan dan daur ulang sampah. Dari aspek non teknis yang bisa disiapkan adalah membentuk stuktur kelembagaan di TPS 3R terdiri dari ketua, sekretaris, bendahara, dan petugas operasional. Menetapkan sumber pembiayaan dalam perencanaan sistem pengelolaan persampahan Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek berasal penjualan hasil pengolahan TPS 3R. Selain itu perlu peraturan terkait di Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek, dan peran serta masyarakat dan upaya pengelola wisata dalam sistem pengelolaan sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek dengan membuang sampah pada tempat yang sudah disediakan sesuai jenisnya, menjual kompos ke petani sekitar, menjual kerajinan hasil daur ulang, memperbanyak himbauan seperti baliho dalam pengelolaan sampah di kawasan wisata.

KESIMPULAN

Berdasarkan perencanaan sistem dan manajemen persampahan Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yaitu timbulan sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek sebesar 0,416 l/o/h atau 0,025 kg/o/h, sedangkan komposisi utama sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek terdiri dari sebesar 32 %, plastik 27%, dan kertas 22%. Potensi daur ulang sampah Kawasan Wisata Bukik Chinangkiek sebesar 100% untuk sampah makanan, logam dan kaca, sedangkan sampah kertas memiliki potensi daur ulang sebesar 25%, dan sampah plastik sebesar 81%.

Model sistem pengelolaan sampah yang dapat diterapkan di Kawasan Wisata Bukik Chinagkiek untuk aspek teknis operasional terdiri dari terdiri dari pemilahan dan pewadahan yang terdiri atas sampah layak kompos, sampah daur ulang, dan sampah lain-lain. Wadah yang digunakan berupa Trash bag untuk individual dan bin sampah 60 L untuk wadah komunal. Pengumpulan menggunakan becak motor kapasitas 1,5 m^3 dengan ritasi 2 kali sehari. Pengolahan sampah dilaikukan pada TPS 3R dengan kegiatan pengomposan, pembuatan kerajinan barang dan daur ulang sampah. Pemindahan menggunakan kontainer 6 m^3 dan pengangkutan residu dengan pick up ke TPA. Untuk aspek non teknis perlu disiapkan peraturan, kelembagaan, keuangan, dan peran serta masyarakat.

Kajian ini dapat dilanjutkan dengan penentuan kebutuhan fasilitas pengelolaan sampah untuk periode tahun rencana kedepannya. Selain itu bisa juga dikaji dampak lingkungan dari operasional sistem pengelolaan sampah dengan pendekatan metode Life Cycle Assessment, supaya terwujud pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Universitas Andalas yang telah menyediakan pendanaan untuk penelitian ini dengan hibah nomor: T/10/UN.16.17/PT.01.03/PRK-RD/2020.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, R. and Mira. (2019) Study of recycling potential of solid waste of tourist area in Pariaman City. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 602 012059.

Aziz, R. dan Putra, M. (2019) Kajian Awal Sistem Pengelolaan Sampah Kawasan Wisata Danau Singkarak, Sumatera Barat. Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan Tropis, Pekanbaru, pp.113-119.

Aziz, R., Dewilda, Y., dan Putra, M. R. (2019) Kajian Awal Pengolahan Sampah Kawasan Wisata Minang Fantasi Waterpark (MiFan) Dan Wisata Pusat Dokumentasi Informasi Kebudayaan Minangkabau (PDIKM) Kota Padang Panjang. Prosiding 6 th ACE Conference. 29 Oktober 2019, Padang, Sumatra Barat.

Aziz, R., Dewilda, Y., dan Putri, B.E.(2020) Kajian Awal Pengolahan Sampah Kawasan Wisata Pantai Carocok Kota Painan. Jurnal Sains dan Teknologi. Vol. 20, No.1.

Aziz, R., Mahmuda, Ruslinda, Y., and Dewilda, Y. (2020) Characteristic of Solid Waste of Harau Valley Tourism Area. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 990, 012014.

Aziz, R., Ruslinda, Y., and Okavianus, N. (2019) Development of Sustainable Solid waste management system of Air Manis Tourism Area for Supporting Sustainable Tourism in Padang City, West Sumatra, Indonesia. ASEAN/Asian Academic Society International Conference Proceeding Series, 611-617.

Aziz, R., Ruslinda, Y., Yeni, Y.S., and Dewilda, Y. (2021) Solid Waste Management System Model of Village Tourism Area of Nagari Tuo Pariangan, Indonesia. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1041, 012030.

Bhat, R.A., Nazir, R., Ashraf, S., Ali, M., Bandh, S.A., and Kamili, A.N. (2014) Waste Manage Res. 32 165– 169, 2014.

BPS Kabupaten Solok (2019) Kabupaten Solok Dalam Angka

BSN (1994) SNI 19-3964-1994 Tentang Metoda Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan Komposisi Sampah Perkotaan

BSN (2002) SNI 19-2454-2002 Tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan.

Hoang, M.G., Fujiwara, T., and Pham Phu, S.T. (2017) Journal of JSCE. 5 123-132.

Jefri, K. M., dan Aziz, R. (2018) Studi Potensi Daur Ulang Sampah Kawasan Wisata Taman Marga Satwa dan Budaya Kinantan (TMSBK) dan Kawasan Wisata Taman Panorama dan Lobang Jepang (TPLJ) di Kota Bukittinggi, 5th ACE Conference. Padang.

Liu, J., Zhang, J., and Fu, Z. (2017) Tourism eco-efficiency of Chinese coastal cities e Analysis based on the DEA-Tobit model. Ocean & Coastal Management 148, 164-170.

Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, Indonesia. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3/PRT/M/2013.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Petunjuk Teknis Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R. Direktorat Jenderal Cipta Karya. Indonesia.

Naltaru, M., Purmaini, R., dan Irsan, R. (2014) Perencanaan Sistem Pengelolaan Sampah di Kawasan Wisata Bukit

Kelam Kabupaten Sintang, Tugas Akhir Universitas Tanjungpura, Pontianak.

Oktiasari, R. (2018) Evaluasi Pengelolaan Sampah Wisata Gunungpring Kecamatan Muntilan Kabupaten Magelang Jawa Tengah Dengan Metode Zero Waste Index, Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Pemerintah Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Jakarta

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 21 Tahun 2006 Tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengolahan Persampahan. Jakarta.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 50 tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisataan Nasional. Jakarta.

Shamshiry, E., Nadi, B., BinMokhtar, M., Komoo, I., Hashim, H.S., and Yahaya, N. (2011) Integrated Models for Solid Waste Management in Tourism Regions: Langkawi Island, Malaysia, Journal of Environmental and Public Health Volume 2011, Article ID 709549, 5 pages doi:10.1155/2011/709549

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. Jakarta

Wijaya, I.W. dan Trihadiningrum, Y. (2014) Strategi Penanganan Sampah di Objek Wisata Eks Pelabuhan Buleleng, Bali. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Potensi Paparan Kebisingan Di Kawasan Bengkel Kebon Handil Kota Jambi

Resti Ayu Lestari[a], Rikki Suprianto Aritonang[b]

[a]Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas Kampus Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia
[b] Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Jambi Jl. Tri Barata KM 11, Mestong, Jambi 36364, Indonesia

E-mail: restiayul@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Bengkel Kebon Handil merupakan kawasan kegiatan pelayanan kendaraan bermotor terbesar di Provinsi Jambi. Jasa servis kendaraan motor menggunakan beberapa alat seperti kompresor, grinder, mesin las, mesin bubut, dan lain-lain. Alat-alat ini berpotensi menimbulkan kebisingan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Ada empat titik pengambilan sampel di kawasan ini. Pengambilan data dilakukan selama satu hari kerja (08.00 – 18.00 WIB) dengan menggunakan Sound Level Meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ekivalen kebisingan pada siang hari (Ls) di semua titik pengukuran berkisar antara 78 – 82 dBA. Nilai tersebut lebih dari 70 dBA yang merupakan baku mutu maksimum nilai kebisingan untuk kawasan industri sebagaimana diatur dalam KEP-48/MENLH/11/96. Oleh karena itu, diperlukan manajemen kebisingan untuk mengurangi nilai kebisingan di kawasan tersebut. Bentuk pengendalian kebisingan yang dapat dilakukan adalah dengan membuat pembatas dengan menggunakan beberapa tanaman.

Kata kunci : Area, industri, Kebon Handil, kebisingan

ABSTRACT

The Kebon Handil workshop is the largest motor vehicle service activity area in Jambi Province. The service process uses some tools such as compressors, grinders, welding machines, lathes, and others. These tools had potential to make a noise. The research used quantitative method. There were four sampling points in this area. Data collection wass carried out for one working day (08.00 – 18.00 WIB) by using a Sound Level Meter. The results showed that the equivalent noise value during the day (Ls) at all measurement points ranged from 78 – 82 dBA. This value was more than 70 dBA which wass the maximum quality standard for noise values for industrial areas as stipulated in KEP-48/MENLH/11/96. Thus, noise management was needed to reduce the noise value in the area. The form of noise control that can be done is to make a barrier by using some plants..

Keywords : Area, industry, Kebon Handil, noise

PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor industri di suatu daerah akan mendatangkan keuntungan ekonomi bagi daerah tersebut. Akan tetapi, disamping dampak postif yang dirasakan, maka juga dapat menimbukan dampak negatif seiring dengan meningkatnya potensi bahaya yang ditimbulkan.

Salah satu bentuk potensi bahaya tersebut adalah kebisingan yang sering dihadapi oleh masyarakat dalam beraktivitas sehari-hari (Suryani, 2015). Kebisingan dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan pada tingkat dan waktu tertentu dan dapat berpotensi mengakibatkan gangguan kesehatan manusia dan menimbulkan ketidaknyamanan (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 48, 1996).

Bising tergolong kepada bentuk pencemaran suara yang paling banyak dikeluhkan oleh masyarakat di dunia sejak tahun 1970-an dan cenderung meningkat dari tahun ke tahun sampai saat ini. Disamping itu, diperkirakan 600 juta orang lebih di dunia terpapar oleh kebisingan di tempat mereka beraktivitas (Buksh, 2018).

Paparan bising yang terus menerus dapat menyebabkan stress yang diawali dengan rasa yang tidak nyaman dan bersifat psikis. Gangguan kenyamanan ini merupakan respon awal yang dirasakan banyak orang ketika terpapar bising yang pada akhirnya dapat berkembang menjadi penyakit dan kematian (Hartono, 2014).

Kebisingan tersebut dapat berasal dari kendaraan bermotor, suara mesin yang digunakan dan sumber lainnya yang dapat menimbulkan suarai. Secara umum, paparan kebisingan yang terus menerus dapat mengakibatkan timbulnya gangguan pendengaran, penyakit jantung, dan stress (Hani, 2010). Terganggunya sistem pendengaran dapat berakibat pada kelancaran pekerjaan atau aktivitas sehari-hari terutama terkait dengan komunikasi ((Nugroho & Wiyadi, 2009).

Untuk mencegah dampak negatif tersebut dan juga menciptakan kenyamanan bagi masyarakat setempat, maka pemerintah menetapkan baku mutu nilai kebisingan untuk peruntukan wilayah atau lingkungan tertentu yang tertuang pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 tahun 1996. Berdasarkan peraturan ini, untuk kawasan industri, nilai kebisingan yang diperbolehkan maksimal adalah adalah 70 dBA. Jika suatu kawasan industri mempunyai tingkat kebisingan diatas baku mutu, maka perlu dilakukan upaya pengendalian kebisingan. Bentuk pengendalian tersebut dapat berupa isolasi sumber, pembuatan penghalang, dan beberapa Tindakan lainnya tergantung dari kondisi kawasan tersebut.

Pasar bengkel Kebon Handil merupakan pasar bengkel motor terbesar di Provinsi Jambi yang menjual onderdil motor, dan jasa untuk memasang atau memperbaiki kendaraan roda dua. Kegiatan utama yang dilakukan di lingkungan area kerja Pasar Bengkel Kebon Handil tersebut yaitu servis ringan dan berat. Servis ringan mencakup mencuci karburator, ganti oli, ganti ban, ganti kanvas rem dan lain-lain. Servis berat mencakup bongkar mesin, press.

Pasar Bengkel Kebon Handil terletak di daerah Kel. Kebon Handil, Kec. Jelutung Kota Jambi. Proses kegiatan pasar bengkel kebon handil dilakukan di luar ruangan terus-menerus, setiap hari dengan watu operasional selama 10 jam/hari. mulai pukul 08:00-18:00 WIB. Jumlah bengkel yang ada sebanyak 40 bengkel yang terdiri dari beberapa jenis bengkel variasi motor dan bengkel onderdil motor. Bengkel variasi motor yang berada pada area Pasar Bengkel Kebon Handil sebanyak 12 bengkel, Sedangkan bengkel onderdil motor sebanyak 28 bengkel. Luas dari pasar bengkel Kebon Handil yaitu seluas 3,5 Hektar.

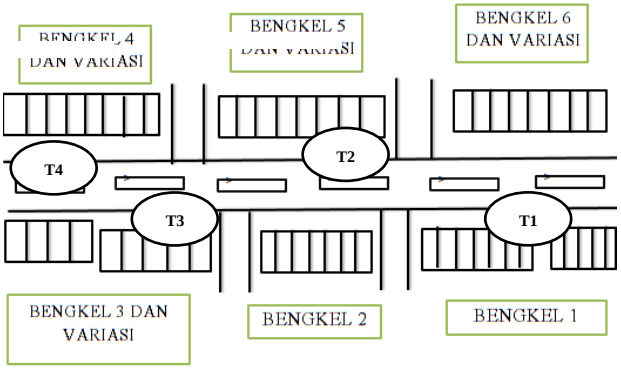
Kegiatan di Pasar Bengkel Kebun Handil menimbulkan kebisingan yang berpotensi menimbulkan gangguan terhadap pekerja maupun masyarakat. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap nilai kebisingan di kawasan industri ini sehingga dapat dilakukan Tindakan untuk mengelola kebisingan jika nilai yang ada sudah melewati baku mutu yang telah ditetapkan.

METODOLOGI

Teknik Pengumpulan Data

a. Survei Lokasi
Pasar Bengkel Kebon Handil Jambi, merupakan salah satu central onderdil motor dan variasi yang berada dikota jambi di kec. Jelutung, kel. Kebon Handil Kota Jambi. Permasalahan yang terjadi pada industri ini salah satunya adalah tentang tingkat kebisingan yang berpotensi mempengaruhi kesehatan, kenyamanan dan produktivitas dari pekerja maupun masyarakat yang dating ke kawasan ini.

b. Lokasi Penelitian
Penelitian ini berlokasi di Pasar bengkel Kebon Handil merupakan industri yang menjual onderdil motor, dan jasa untuk memasang atau memperbaiki kendaraan roda dua. Terdapat empat titik pengukuran tingkat kebisingan di kawasan ini yang sudah ditentukan untuk mendapatkan hasil yang presisi. **Gambar 1** menunjukkan titik pengukuran kebisingan.



Gambar 1. Titik Pengukuran Kebisingan

c. Pengumpulan Data
Data yang dikumpulkan adalah nilai kebisingan di Pasar Bengkel Kebon Handil Jambi selama jam operasi di Pasar Bengkel tersebut. Alat yang digunakan adalah *Sound Level Meter* (SLM) dengan berbagai ketentuan penggunaannya (SNI 05-2962-1992, 1992).
Pengukuran tingkat kebisingan bersumber dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor: KEP-48/MENLH/11/96 Tentang Baku Tingkat Kebisingan. Pengambilan data nilai intensitas bising dilakukan setiap selang 10 menit untuk masing-masing waktu pengukuran. Pembacaan data dilakukan setiap 5 detik.
Waktu pengukuran tingkat kebisingan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:
- L1 dilakukan pada jam 09.00 mewakili jam 08.00 – 10.00
- L2 dilakukan pada jam 11.00 mewakili jam 10.00 – 12.00
- L3 dilakukan pada jam 13.00 mewakili jam 12.00 – 14.00
- L4 dilakukan pada jam 15.00 mewakili jam 14.00 – 16.00
- L5 dilakukan pada jam 17.00 mewakili jam 16.00 – 18.00

d. Penentuan Nilai Kebisingan
Data nilai kebisingan yang sudah didapatkan dari pengukuran menggunakan SLM kemudian diolah untuk mendapatkan nilai tingkat kebisingan ekuivalen (Leq) di setiap rentang waktu pengukuran tersebut. Leq didapatkan dengan menggunakan Persamaan (1).

$$Leq = 10 \text{ Log } \frac{1}{T}\sum\{T_1 10^{0,1Li}\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap nilai kebisingan selama jam operasional untuk dibandingkan dengan baku mutu nilai kebisingan peruntukan kawasan berdasarkan Kep-48/MenLH/11/1996 yaitu senilai 70 dBA untuk peruntukan kawasan perdagangan dan jasa.
Proses yang dilakukan selanjutnya adalah menghitung nilai Ls dengan cara mengolah data dari waktu pengambilan interval L1 – L5 (siang hari) menggunakan Persamaan (2)

$$Ls = 10 \log 1/16 \{T1.10^{0,1\ L1} + \ldots + T5.10^{0,1\ L5}\} \ldots\ldots (2)$$

e. Analisis Data
Analisis data dilakukan dengan melakukan evaluasi nilai tingkat kebisingan dengan membandingkan nilai Ls dengan baku tingkat kebisingan yang ditetapkan pada Kep-48/MenLH/11/1996 dengan

toleransi +3 dBA. Jika nilai tingkat kebisingan melewati baku mutu yang ditetapkan, maka dilakukan rekomendasi untuk meminimalisir nilai kebisingan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Kebisingan Ekuivalen (Leq)

Tingkat tekanan kebisingan ekuivalen bertujuan untuk menyetarakan tingkat tekanan suara yang berfluktuatif dalam jangka waktu tertentu dengan tingkat suara yang steady selama selama periode waktu yang sama. Perhitungan Leq ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1.

Area produksi atau kegiatan perbengkelan menggunakan alat seperti, kompresor, gerinda (gergaji besi), mesin las, mesin bubut, dan lain-lain. Selain itu, sumber kebisingan lainnya adalah kegiatan lalu lintas yang padat disekitar kawasan pasar bengkel Kebon Handil. Pemilihan titik sampling berada di sekitar area pasar bengkel Kebon Handil, dengan titik sampling sejumlah 4 titik.

Pengambilan data intensitas kebisingan di masing-masing titik dilakukan pada interval waktu tertentu. Interval waktu yang digunakan adalah selama 10 menit dengan waktu pembacaan setiap 5 detik untuk masing-masing ketentuan waktu pengukuran yang tercantum pada KEMENLH KEP-48/MENLH/11/96 Tentang Baku Mutu Tingkat Kebisingan. Nilai Leq kebisingan pada masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 1.

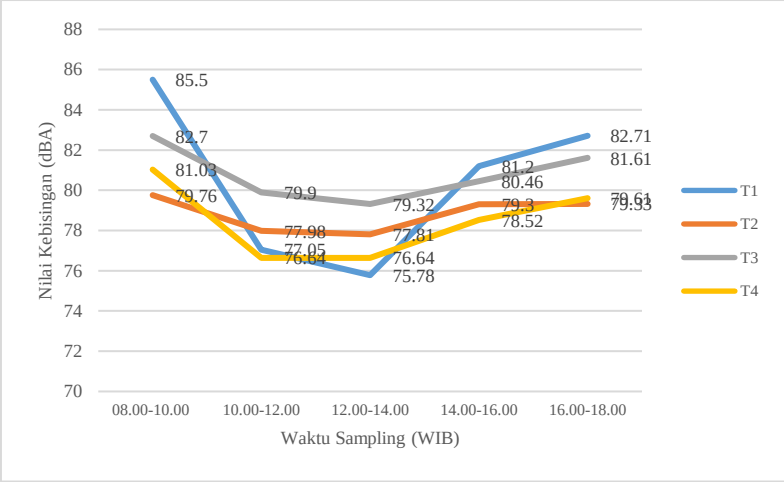
Tabel 1. Nilai Leq Kebisingan Pasar Bengkel Kebun Handil

No	Titik Sampling	(08.00 – 10.00 WIB)	(10.00 – 12.00 WIB)	(12.00 – 14.00 WIB)	(14.00 – 16.00 WIB)	(16.00 – 18.00 WIB)
		L1 (dBA)	L2 (dBA)	L3 (dBA)	L4 (dBA)	L5 (dBA)
1	T1	85,50	77,05	75,78	81,2	82,71
2	T2	79,76	77,98	77,81	79,30	79,33
3	T3	82,70	79,90	79,32	80,46	81,61
4	T4	81,03	76,64	76,64	78,52	79,61

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa pada titik 1 nilai intensitas kebisingan tertinggi sebesar 85,50 dBA dan yang terendah 75,78 dBA dengan nilai rata-rata 80,45 dBA. Pada titik 2, nilai intesitas kebisingan tertinggi adalah 79,76 dBA dan yang terendah 77,81 dBA sehingga, memiliki rata-rata intensitas kebisingan 78,84 dBA. Pada titik 3 nilai intensitas kebisingan tertinggi yaitu 82,70 dBA dan nilai terendah adalah 79,32 dBA dengan rata-rata kebisingan 80,80 dBA. Pada titik 4 nilai intensitas kebisingan tertinggi adalah 81,03 dBA dan nilai intensitas terendah sebesar 76,64 dBA sehingga nilai rata-rata 78,49 dBA. Dapat disimpulkan bahwa intensitas kebisingan pada di kawasan Bengkel Kebon Handil berkisar antara 75- 86 dBA.

Menurut KEP-/48/MELH/11/1996, Intensitas kebisingan pada area kerja bengkel Pasar Kebon Handil melebih nilai baku mutu ambang batas nilai intensitas kebisingan sebesar 70 dBA. Intensitas kebisingan yang melewati ambang batas dapat memengaruhi kesehatan karyawan dan pelanggan yang terpapar bising secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama.

Nilai intensitas kebisingan yang dihasilkan pada pukul 08:00-18:00 dipengaruhi oleh mesin padan aktivitas bengkel dan juga lalu lintas di kawasan bengkel tersebut. Variasi nilai kebisingan pada setiap waktu dan masing-masing titik dapat dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Fluktuasi Nilai Kebisingan (Leq)

Tingkat Kebisingan Siang (Ls)

Nilai kebisingan siang didapatkan dengan menggunakan nilai Leq yang ada pada Tabel 1. Perhitungan Ls dilakukan dengan menggunakan persamaan 2. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

Titik sampling 1

Ls =10 Log $\frac{1}{T}\sum\{T_1 10^{0,1Li}\}$

Ls =10 Log $\frac{1}{10}((2x10^{0,1x85,5}) + (2x10^{0,1x77,05}) + (2x10^{0,1x75,78}) + (2x10^{0,1x81,2}) + (2x10^{0,1x82,71}))$

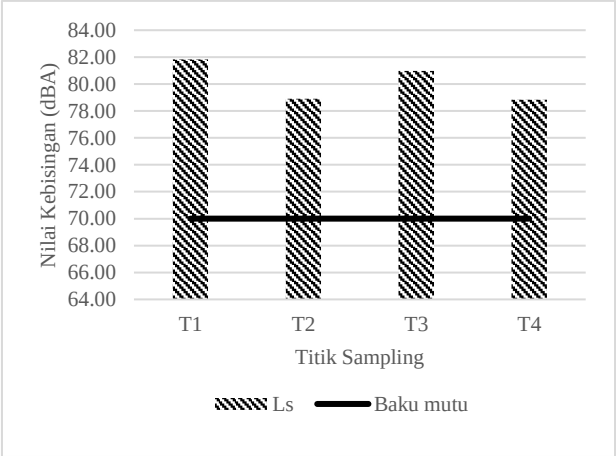
Ls = 81,83 dBA

Perhitungan yang sama dilakukan untuk setiap titik sehingga didapatkan hasil kebisingan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Ls Kebisingan Pasar Bengkel Kebon Handil

No	Titik Sampling	Ls (dBA)	Baku Mutu (dBA)	Keterangan
1	T1	81,83	70 (KEP-48/MENLH/11/96)	melewati
2	T2	78,91		melewati
3	T3	80,97		melewati
4	T4	78,83		melewati

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa intensitas kebisingan pada siang hari di semua titik pengukuran melewati baku mutu yang ditetapkan Pemerintah pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 48 tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan, yaitu sebesar 70 dBA. Perbandingan nilai kebisingan di masing-masing titik pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Nilai Kebisingan Ls Pasar Bengkel Kebun Handil

Intensitas kebisingan yang dihasilkan oleh kegiatan pada area kerja pasar Kebon Handil berkisar antara 78-81 dBA. Paparan bising yang diterima para pekerja dan pengunjung tersebut dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan seperti gangguan psikologis (agresif, stabilitas mental, semangat kerja menurun), gangguan fisiologi (gangguan komunikasi dan gangguan keseimbangan) dan gangguan patologis (gangguan pada telinga sebagai indra pendengar) (Bruyere, 2009). Sebuah penelitian menyimpulkan bahwa nilai kebisingan pada industri permesinan yaitu sekitar 97 dBA, sedangkan industri pengolahan bijih plastik sekitar 92 dB dan industri konveksi sekitar 65 dB ((Raharjo, 2014)

Kebisingan di Kawasan bengkel Kebon Handil bersumber dari mesin produksi dan lalu lintas. Nilai intensitas kebisingan yang dihasilkan berbeda ini dikarenakan jenis mesin produksi, yang di pakai untuk kegiatan produksi berbeda ukuran dan kapasitasnya sehingga kebisingan yang ditimbulkan tidak sama.

Nilai intensitas kebisingan pada siang hari (jam operasional bengkel) pada titik 1 adalah 81,83 dBA. Nilai kebisingan yang tinggi pada titik ini disebabkan padatnya bengkel yang berada di kawasan tersebut dan pada daerah ini sangat dekat pada jalan raya yang kepadatan lalu lintas cukup tinggi. Pada titik 2 nilai kebisingan yang dihasilkan sebesar 78,91 dBA. Nilai intensitas kebisingannya ini lebih rendah dibandingkan dengan titik 1,3 dan 4.

Titik 3 berada dekat dengan persimpangan jalan yang tidak mempunyai lampu merah/lampu lalu lintas sehingga menanmbah nilai kebisingan yang terukur. Hal ini mengakibatkan persimpangan tersebut mengalami kemacetan. Sedangkan pada titik 4, nilai intensitas kebisingan adalah 78,91 dBA. Pada titik ini terdapat cukup banyak bengkel variasi/variasi plat motor, dan dekat dengan jalan raya. Kegiatan pada bengkel variasi tidak banyak menghasil intensitas kebisingan ini dikarenakan kegiatan bengkel tersebut termasuk dalam kegiatan servis ringan. Nilai intensitas kebisingan nya lebih rendah dibandingkan dengan nilai kebisingan titik sampel 1 dan 3.

Rekomendasi Pengendalian Kebisingan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa nilai kebisingan pada siang hari (Ls) berada di atas baku mutu yang ditetapkan untuk kawasan industri di dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 48 tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian untuk mengurangi nilai paparan kebisingan di kawasan kebon handil ini. Rekomendasi yang diberikan adalah pemasangan barrier dari tanaman. Pemilihan tanaman disebabkan karena ketersediaan lahan yang sedikit untuk membangun tembok penghalang.

Pepohonan dapat mengurangi bunyi dengan cara menyerap bunyi oleh bagian-bagian tumbuhan seperti daun, cabang dan ranting. Jenis tumbuhan yang paling efektif untuk mengurangi suara adalah yang mempunyai tajuk tebal, daun yang lentur dengan daun yang rindang (Widagdo, 1998). Hal ini berkaitan dengan kemudahan daun untuk bergerak karena angin dan energi suara (Liesa, 2001).

Bunyi yang berbenturan dengan tanaman penghalang ini akan mengalami berbagai jenis reaksi seperti dipantulkan, diserap, disebarkan, dibelokkan atau diteruskan oleh dedaunan. Semakin kecil bidang penahan yang berupa rumpun dedaunan, maka semakin besar kemungkinan bunyi melewati vegetasi (Liesa, 2001). Tanaman pereduksi kebisingan yang efektif dapat mengurangi tingkat kebisingan 10-15 dBA (Kalansuriya, A, & U, 2009).

Berdasarkan kriteria tersebut, maka jenis vegetasi yang dapat dijadikan tanaman peredam kebisingan dan ditanam di sekitar kawasan bengkel Kebon Handil ini adalah teh-tehan pangkas (*Acalypha sp*), Puring (*Codiaeum variegatum*), Pucuk Merah (*Oleina syzygium*), Kembang Sepatu (*Hibiscus rosa-sinensis*) dan, Bougenville (*Bougenville sp*) (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, 2012). Hal ini terkait dengan ruang penanaman Kawasan bengkel terbatas sehingga dibutuhkan tanaman yang kecil dan rimbun sebagai peredam kebisingan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, didapatkan bahwa nilai kebisingan di kawasan bengkel Kebon Handil, Jambi melewati baku mutu kebisingan lingkungan untuk kawasan industri menurut KepMenLH/ 48/1996 sebesar 70 dBA. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan kebisingan berupa pembuatan barrier dengan menanam pepohonan.

DAFTAR PUSTAKA

Bruyere, H. J. (2009). *100 case Studies in Pathophysiology.* USA: Lippincott Williams & Wilkin.

Buksh, N. (2018). Occupational Noise Exposure and Its Impact on Worker's Health. *International Journal of Public Health and Clinical Sciences*, 16-25.

Hani, A. (2010). *Fisika Kesehatan.* Yogyakarta: Nuha Medika.

Hartono. (2014). Studi tentang Gastrointertinal Disordes pada Wanita yang Mengalami Stres Bising Pesawat Udara di Sekitar Bandara Adi Soemarmo Boyolali.. *Wacana*, 1-12.

Kalansuriya, C., A, P., & U, S. (2009). Effect of roadside vegetation on The Reduction of Traffic Noise levels. *Journal of Technical Sessions*, 1-6.

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 48. (1996). *Baku Tingkat Kebisingan.* Jakarta.

Liesa, A. (2001). *Peranan Vegetasi Dalam Mereduksi Kebisingan Jalan Raya.* Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.

Nugroho, P., & Wiyadi, H. (2009). Anatomi dan FIsiologi Pendengaran Perifer. *Jurnal THT*, 76-85.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, N. (2012). *Pedoman Penanaman Pohon pada Sistem Jaringan Jalan.* jakarta.

Raharjo, R. (2014). *Tertib Berlalu Lintas.* Yogyakarta: Shafa Media.

SNI 05-2962-1992. (1992). *Alat Ukur Bunyi.* Jakarta.

Suryani, N. (2015). *Analisis pengaruh tingkat Kebisingan dan Getaran.* Surabaya: Universitas Airlangga.

Widagdo, S. (1998). *Studi Tentang Reduksi Kebisingan Menggunakan Vegetasi dan Kualitas Visual lanskap Jalan Tol Jagorawi.* Bogor: IPB University.

NOMENKLATUR

T	: Periode pengukuran
T_1, T_2, T_n	: Waktu pengukuran ke 1, 2, 3, dst
L_1, L_2, L_n	: Kebisingan pada waktu 1, 2, 3, dst
L_{eq}	: Kebisingan Ekuivalen (dBA)
Ls	: Kebisingan Siang (dBA

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Pengaruh Kondisi Pandemi Terhadap Pengurangan Emisi CO_2eq dari Aktivitas Kampus di Fakultas Teknik Universitas Riau

Aryo Sasmita, Elvi Yenie, Miftahul Ulum

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Riau

E-mail: aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan universitas menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berdampak langsung dan tidak langsung yang menyebabkan pemanasan global. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung nilai emisi CO_2eq yang dihasilkan dari aktivitas Fakultas Teknik Universitas Riau pada masa pandemi dan saat kondisi normal dan menganalisis nilai emisi CO_2eq yang dihasilkan dari aktivitas Fakultas Teknik Universitas Riau pada masa pandemi dan saat kondisi normal. Metode yang digunakan adalah dengan mengelompokkan aktivitas ke dalam 3 ruang lingkup berdasarkan The Green House Protocol (GHG). Lingkup 1 dari penggunaan kendaraan operasional kampus dan konsumsi LPG kantin. Lingkup 2 dari konsumsi listrik. Lingkup 3 dari penggunaan kendaraan dosen, staff, dan mahasiswa, timbulan sampah dan pemakaian kertas. Hasil penelitian emisi CO_2eq yang dihasilkan dari aktivitas FT-UNRI saat normal yaitu 2.585.24 tonCO_2eq/thn dan saat pandemi yaitu 508,59 tonCO_2eq/thn. Berdasarkan nilai tersebut didapat bahwa sekitar 80,33% penurunan emisi CO_2eq di FT-UNRI saat masa pandemi.

Kata kunci : emisi CO_2eq, pandemi Covid-19, Fakultas Teknik Universitas Riau

ABSTRACT

University activities produce greenhouse gas emissions that have direct and indirect impacts that cause global warming. The purpose of this study was to calculate the value of CO_2eq emissions resulting from the activities of the Faculty of Engineering, University of Riau during the pandemic and during normal conditions and to analyze the value of CO_2eq emissions generated from the its academic activities. The method used is to group activities into 3 scopes based on The Green House Protocol. Scope 1 of the use of campus operational vehicles and canteen LPG consumption. Scope 2 of electricity consumption. Scope 3 of the use of vehicles for lecturers, education personel, and students, waste generation and paper used. The results of the study of CO_2eq emissions resulting from Faculty of Engineering University of Riau activities when normal were 2.585,24 tonCO_2eq/yr and during a pandemic it was 508,59 tonCO_2eq/yr. Based on this value, it was found that 80,33% reduction in CO_2eq emissions from educational activities at FT-UNRI during the pandemic period.

Keywords : CO_2eq emission, pandemi Covid-19, Faculty of Engineering Universitas Riau

PENDAHULUAN

Pemanasan global adalah proses peningkatan suhu rata-rata pada atmosfer dan daratan bumi. Pemanasan global dapat terjadi karena adanya efek pada gas rumah kaca (GRK) (Prihatmaji dkk, 2016). Gas-gas yang dikategorikan sebagai gas rumah kaca dan mempunyai potensi menyebakan pemanasan global adalah gas karbon dioksida (CO2), metana (CH4), dan dinitrogen oksida (N2O), sulfur heksafluorida (SF6), perfluoro karbon (PFCs), nitrogen trifluorida (NF3), hidrofluorida karbon (HFCs) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Peningkatan emisi GRK merupakan masalah yang cukup serius, dimana gas karbon dioksida (CO_2) adalah komponen utama yang memiliki konsentrasi yang tinggi di udara. Dengan meningkatnya konsentrasi GRK di udara, maka akan menyebabkan semakin banyaknya gelombang panas yang dipantulkan dari permukaan bumi yang diserap oleh atmosfer. Peningkatan GRK secara signifikan bersumber dari kegiatan manusia (antropogenik) terutama dari sektor energi yaitu kegiatan pemanfaatan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam (Nurhayat dan Handika, 2019).

Keberadaan universitas memiliki dampak terhadap lingkungan akibat dari aktivitas dan berbagai macam kegiatan yang terjadi di dalamnya. Besarnya aktivitas dan kegiatan yang dilakukan di lingkungan universitas tentu akan berpengaruh terhadap besar emisi yang akan dihasilkan. Menurut Wiedmann dan Minx (2008), kebutuhan akan alat transportasi dan penggunaan energi listrik di kawasan kampus menjadi semakin penting sehingga menjadi ketergantungan akan bahan bakar fosil pun semakin meningkat. Berbagai kegiatan terjadi di dalam universitas menghasilkan emisi gas CO_2 yang berdampak langsung maupun tidak langsung bagi lingkungan. Kegiatan-kegiatan tersebut adalah kegiatan perkuliahan dan pemakaian laboratorium, administrasi kampus, dan kegiatan lainnya (Alshuwaikhat dan Abubakar, 2008).

Pada akhir tahun 2019, muncul sebuah virus yang merupakan virus jenis baru. *Wolrd Health Organization* (WHO) memberi nama penyakit tersebut sebagai *Coronavirus Disease*/COVID-19 (Mellynia dkk, 2020). Virus corona ini membuat banyaknya aktivitas menjadi terhambat ataupun berhenti sementara. Aktivitas yang awalnya bertatap muka menjadi serba daring (*online)* pada semua bidang pekerjaan maupun pendidikan, termasuk salah satunya yaitu Fakultas Teknik Universitas Riau (FT-UNRI).

FT-UNRI memiliki jumlah populasi sebanyak 3.872 orang, dengan 3.620 mahasiswa/mahasiswi, 167 dosen pengajar, dan 85 tenaga kependidikan. Fakultas Teknik memiliki 5 (lima) jurusan yang tersedia, yaitu Jurusan Teknik Kimia, Jurusan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Sipil, dan Jurusan Arsitektur. Kegiatan perkuliahan, pemakaian laboratorium, administrasi kampus, kegiatan kantin serta timbulan sampah merupakan kegiatan yang menghasilkan emisi CO_2 di kawasan FT-UNRI. Pada saat kondisi pandemi kegiatan yang sama sekali tidak dilakukan yaitu kegiatan perkuliahan dikampus dan kegiatan kantin.

Penggunaan laboratorium dan administrasi kampus hanya dilakukan sesuai jadwal yang sudah mendapatkan izin dari pihak kampus, serta para karyawan juga hanya dianjurkan masuk kerja kurang lebih 3 sampai 4 hari dalam seminggu. Sehingga perubahan yang terjadi saat pandemi yaitu kegiatan tersebut dapat mengurangi emisi CO_2 yang dihasilkan dari aktivitas FT-UNRI. Penelitian Pengaruh Kondisi Pandemi terhadap Emisi CO_2eq yang Dihasilkan dari Aktivitas di Fakultas Teknik Universitas Riau belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar jumlah emisi GRK yang dihasilkan dari aktivitas Fakultas Teknik Universitas Riau.

Penelitian ini bertujuan membandingkan emisi yang dihasilkan dari aktivitas FT-UNRI saat kondisi pandemi dan saat kondisi normal.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan yang dilakukan di FT-UNRI. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengelompok kan aktivitas berdasarkan ruang lingkup menurut *The Green*

House Protocol (GHG Protokol) yang diinisiasi oleh *World Resources Indonesia*. Metode ini mengadopsi metodologi dari IPCC, faktor emisi yang digunakan dalam metodologi dihasilkan dari berbagai penelitian di Indonesia yang telah di peer reviwed dan dari peneltian internasional (Sari et al, 2021). Pembagian yaitu lingkup 1 dari aktivitas transportasi kendaraan operasional kampus dan penggunaan bahan bakar LPG, lingkup 2 dari aktivitas konsumsi listrik dan lingkup 3 dari aktivitas transportasi, timbulan sampah dan penggunaan kertas oleh dosen, tenaga kependidikan, dan mahasiswa.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer pada penelitian ini dilakukan dengan pendataan secara langsung di lapangan melalui wawancara dan membagikan kuesioner. Data primer yang dibutuhkan berupa konsumsi penggunaan LPG, jenis bahan bakar, jenis kendaraan dan pembelian bahan bakar, konsumsi listrik, dan penggunaan kertas. Data sekunder diperoleh melalui dokumen yang dimiliki oleh Fakultas Teknik berupa jumlah dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa, jenis kendaraan, jenis bahan bakar dan jumlah pembelian bahan bakar kendaraan operasional kampus, timbulan sampah saat normal dan timbulan sampah saat pandemi.

Jumlah responden dari dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa FT-UNRI. Menurut Arikunto (2002), pengambilan jumlah sampel pada responden yang ada maka dapat diambil 10%.

$$n = N \times 10\% \quad (1)$$

dimana :
n = Jumlah sampel wilayah studi (jiwa)
N = Jumlah total masing-masing dari jumlah dosen, *tenaga kependidikan* dan mahasiswa (jiwa)

Data jumlah responden yang diperlukan adalah dosen 17 orang, tenaga kependidikan 10 orang dan mahasiswa sebanyak 362 orang.

Data-data yang di tanyakan dalam kuisioner antara lain jarak dari tempat tinggal ke kampus

Pengolahan Data

Pada penelitian ini menggunakan persamaan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2006) dan faktor emisi konsumsi bahan bakar dan timbulan sampah dari Kementerian Lingkungan Hidup (2012), faktor emisi penggunaan kertas dari EPA Victoria (2013), faktor emisi konsumsi listrik dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2016).

Perhitungan emisi CO_2eq dilakukan dengan persamaan yang teredia di *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006), sebagai berikut :

Lingkup 1

Perhitungan emisi CO_2eq pada lingkup satu meliputi aktivitas transportasi kendaraan operasional kampus dan penggunaan LPG pada kantin. Perhitungan emisi CO_2eq lingkup satu dilakukan dengan persamaan:

$$\text{Emisi } CO_2 = \text{Konsumsi BB} \times \text{NK} \times \text{FE} \times \text{GWP} \quad (2)$$

keterangan :

Emisi CO_2	=	Jumlah total emisi (KgCO2eq)
Konsumsi BB	=	Konsumsi bahan bakar (L)
FE	=	Faktor emisi ($KgCO_2/MJ$)
NK	=	Nilai kalor bahan bakar (MJ/l)
GWP	=	*Global Warming Potential* ($CO_2 = 1$)

Lingkup 2

Perhitungan emisi CO_2eq dari lingkup dua meliputi aktivitas konsumsi listrik. Perhitungan emisi CO_2eq lingkup dari konsumsi listrik dilakukan dengan persamaan:

Emisi CO_2 = Konsumsi Listrik x FE x GWP (3)

keterangan :

Konsumsi listrik	=	Konsumsi Pemakaian alat-alat listrik (KWh)
FE	=	Faktor emisi konsumsi listrik ($KgCO_2$/KWh)

Emisi Konsumsi listrik berasal dari penggunaan alat-alat listik di Gedung C, Laboratorium, Gedung Pulp and paper, Ruang Unit Kegiatan Mahasiswa, Kantin, dan Mushola FT. dilakukan pendataan konsumsi listrik untuk setiap peralatan yang digunakan, yaitu jumlah, kebutuhan *watt*/jam, dan lama penggunaan/hari baik untuk kondisi pandemi dan kondisi normal. Penggunaan peralatan di perkantoran juga disesuaikan dengan jadwal WFO (*work from office*) tenaga kependidikan.

Lingkup 3

Perhitungan emisi CO_2eq pada lingkup tiga meliputi aktivitas transportasi oleh dosen, *tenaga kependidikan* dan mahasiswa, penggunaan kertas, serta timbulan sampah. Perhitungan aktivitas transportasi dosen, *tenaga kependidikan* dan mahasiswa menggunakan persamaan sebelumnya yaitu pada persamaan (2). Data-data yang ditanyakan dalam kuisioner antara lain jarak dari tempat tinggal ke kampus, berapa kali datang kekampus dan pemakaian bahan bakar setiap minggunya saat pandemi dan saat normal

Perhitungan emisi CO_2eq dari pemakaian kertas dilakukan dengan persamaan:

Emisi CO_2 = Pemakaian kertas x FE x GWP (4)

keterangan :

Pemakaian kertas	=	Jumlah kertas yang digunakan (kg)
FE	=	Faktor emisi pemakaian kertas (1,22 $KgCO_2$eq/kg)

Data pemakaian kertas setiap minggunya diperolah berdasarkan dari pengisian kuisioner.

Menghitung emisi dari timbulan sampah Fakultas Teknik dengan menggunakan persamaan:

Timbulan sampah = jumlah jiwa x rata-rata timbulan sampah/hari x hari/minggu (pandemi/normal) (5)

keterangan :

Jumlah jiwa	=	Jumlah jiwa yang ada (jiwa)
Rata-rata timbulan sampah	=	Rata-rata timbulan sampah (Kg/hari)
Hari/minggu	=	Jumlah hari dalam seminggu saat normal ataupun saat pandemi (hari/minggu)

Perhitungan emisi CO_2eq dari timbulan sampah dihitung dengan Persamaan:

Emisi CH_4 = Timbulan Sampah x FE x GWP (6)

keterangan :
Data timbulan sampah Fakultas Teknik universitas Riau diperolah dari penelitian yang dilakukan Febria, dkk. (2014) dan diolah menggunakan data aktivitas dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa terbaru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Emisi CO_2eq Lingkup 1

Perhitungan emisi CO2eq dari lingkup 1 meliputi emisi dari aktivitas penggunaan kendaraan operasional kampus dan konsumsi bahan bakar LPG kantin. Dari data yang dikumpulkan kendaraan operasional FT-UNRI adalah 2 Mobil yang menggunakan bahan bakar berupa *pertalite* dengan konsumsi bahan bakar rata-

rata 110 Liter/bulan saat kondisi pandemi, dan 130 Liter/Bulan saat kondisi normal. Kantin FT-UNRI memiliki 3 warung, dengan rata-rata penggunaan LPG masing-masing adalah 12 Kg/bulan, 24 Kg/bulan dan 18 Kg/bulan saat kondisi normal.

Tabel 1. Perhitungan Emisi CO_2eq Total lingkup 1.

Sumber emisi	Normal (kgCO_2eq/thn)	Pandemi (kgCO_2eq/thn)
Kendaraan Operasional Kampus	30.726,06	28.394,32
Konsumsi LPG kantin	1.719,15	0
Total	32.445,21	28.394,32

Berdasarkan Tabel 1 bahwa total emisi CO_2eq yang dihasilkan dari lingkup 1 saat kondisi normal lebih besar daripada kondisi pandemi. Tabel 1 menunjukkan bahwa emisi CO_2eq dari penggunaan kendaraan operasional kampus saat kondisi normal lebih banyak mengkonsumsi bahan bakar yang di pengaruhi oleh banyaknya kegiatan yang dilakukan, sehingga membutuhkan jumlah bahan bakar yang besar pula. Sedangkan saat pandemi, konsumsi bahan bakar lebih sedikit karena kegiatan yang dilakukan tidak banyak dibandingkan saat kondisi normal.

Perhitungan emisi CO_2eq untuk konsumsi LPG kantin pada saat masa pandemi tidak ada, dikarenakan pada saat masa pandemi aktivitas kantin ditutup, sehingga emisi CO_2eq dari penggunaaan LPG saat masa pandemi sekali tidak.

Perhitungan Emisi CO_2eq Lingkup 2

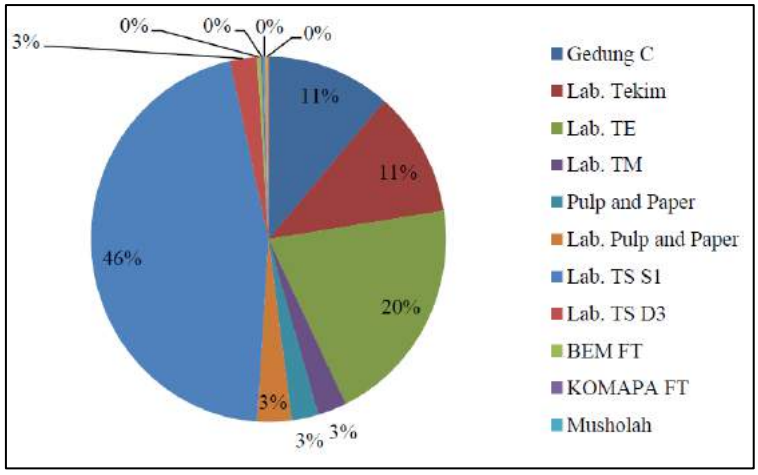
Berikut ini merupakan hasil perhitungan emisi CO2eq dari aktivitas konsumsi listrik di FT-UNRI pada saat kondisi normal dan saat kondisi pandemic apat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Emisi CO_2eq Konsumsi Listrik FT-UNRI

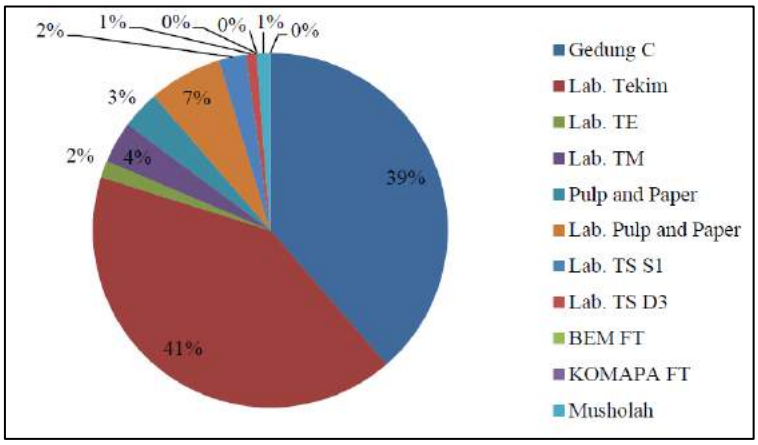
Kondisi	Konsumsi listrik kwh/thn	Total Emisi kgCO2eq/thn
Normal	2.739.786,67	2.279.502,51
Pandemi	30.479,43	304.306,67

Berdasarkan total penggunaan listrik tersebut, pada saat kondisi pandemi terlihat bahwa konsumsi listriknya lebih rendah dibanding saat kondisi normal hal ini dikarenakan aktivitas perkuliahan tidak dilaksanakan di kampus, serta banyaknya sarana lain yang tutup seperti laboratorium, kantin, BEM FT serta komapala FT dan lainnya. Atmaja, dkk (2018) mengatakan bahwa semakin banyak pemakaian alat elektronik dan daya yang digunakan akan semakin besar emisi CO_2eq yang dihasilkan. Emisi CO_2 dari konsumsi listrik termasuk emisi karbondioksida yang bersifat tidak langsung (sekunder) yang dihasilkan dari peralatan-peralatan elektronik yang dapat berfungsi dengan menggunakan daya listrik (Sasmita, dkk. 2018).

Dapat dilihat pula Gambar 1 dan Gambar 2 yang menunjukkan emisi CO_2eq konsumsi listrik per gedung saat kondisi normal dan kondisi pandemic.



Gambar 1. Emisi CO_2eq dari Konsumsi Listrik Per Gedung saat Kondisi Normal.



Gambar 1. Emisi CO_2eq dari Konsumsi Listrik Per Gedung saat Kondisi pandemi.

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2 bahwa penghasil emisi CO_2eq dari konsumsi listrik terbesar saat kondisi normal adalah dari laboratorium teknik sipil S1 FT-UNRI sebanyak 46%, sedangkan penghasil emisi CO_2eq dari konsumsi listrik terbesar saat kondisi pandemi adalah dari laboratorium teknik kimia FT-UNRI sebanyak 41%. Jika dilihat dari fungsi ruangan, laboratorium FT-UNRI memiliki fungsi dan kegiatan yang banyak membutuhkan energi listrik, seperti penggunaan alat-alat laboratorium, pencahayaan, pendingin ruangan, dan penyimpanan sampel uji.

Perhitungan Emisi CO_2eq Lingkup 3

Perhitungan emisi CO_2eq dari lingkup 3 meliputi aktivitas penggunaan kendaraan oleh dosen, *tenaga kependidikan*, dan mahasiswa, timbulan sampah, dan penggunaan kertas oleh dosen, *tenaga kependidikan*, dan mahasiswa. Data aktivitas transportasi dan penggunaan kertas oleh dosen, *tenaga kependidikan*, dan mahasiswa diperoleh dari hasil kuesioner yang telah disebar secara *online* menggunakan *google form*. Data timbulan sampah FT-UNRI saat kondisi normal dan kondisi pandemi diperoleh melalui studi literatur penelitian sebelumnya.

Berikut ini merupakan hasil perhitungan emisi CO_2eq total dari lingkup 3 pada saat kondisi normal dan saat kondisi pandemi dapat dilihat pada Tabel 3.
Berdasarkan Tabel 3 total emisi CO_2eq yang dihasilkan dari lingkup 3 saat kondisi normal lebih besar daripada saat kondisi pandemi. Emisi CO_2eq dari penggunaan kendaraan, timbulan sampah, penggunaan kertas dipengaruhi oleh faktor kedatangan dosen, *tenaga kependidikan* dan mahasiswa ke kampus. Jika disaat normal kedatangan mahasiswa yaitu selama 6 hari per minggu, sedangkan saat kondisi pandemi rata-rata kedatangan hanya 2 hari per minggu, sehingga emisi dari penggunaan kendaraan menjadi lebih kecil. Adanya pandemi sejak bulan maret 2020 sehingga kegiatan belajar-mengajar diadakan dengan cara pembelajaran secara *online* sehingga tidak banyak menggunakan kertas dan menghasilkan sampah. Karena

berkurangnya penggunaan kertas dan sampah yang dihasilkan menyebabkan emisi yang dihasilkan pun ikut berkurang.

Tabel 3. Emisi CO_2eq Total dari Lingkup 3 saat Normal dan saat Pandemi

Sumber emisi	Normal (kgCO2eq/thn)	Pandemi (kgCO2eq/thn)
Kendaraan Dosen, Tenaga kependidikan, dan Mahasiswa	253.135,28	168.248,58
Timbulan Sampah	3.911	30,08
Penggunaan Kertas	16.234,88	7.608,84
Total	273.281,16	175.887,50

Total Emisi CO_2eq

Total emisi CO_2eq didapat dari penjumlahan total emisi CO_2eq dari lingkup 1 penggunaan kendaraan operasional kampus dan konsumsi LPG kantin, lingkup 2 konsumsi listrik, dan lingkup 3 penggunaan kendaraan oleh dosen, *tenaga kependidikan,* dan mahasiswa, timbulan sampah FT-UNRI, dan penggunaan kertas oleh dosen, tenaga kependidikan, dan mahasiswa yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Total Emisi CO_2eq dari aktivitas Fakultas Teknik UR Kondisi Normal dan Kondisi Pandemi

Ruang Lingkup	Emisi saat normal ($kgCO_2eq/thn$)	Emisi saat pandemi ($kgCO_2eq/thn$)
Lingkup 1	32.445,21	28.394,32
Lingkup 2	2.279.502,51	304.306,67
Lingkup 3	27.3281,16	175.887,50
Total	2.585.238,88	508.588,49

Berdasarkan Tabel 4 bahwa total emisi $kgCO_2eq$ yang dihasilkan dari semua ruang lingkup saat kondisi normal sebesar 2.585.238,88 $kgCO_2eq/thn$ atau 2.585,24 $tonCO_2eq/thn$, lebih besar daripada saat kondisi pandemi sebesar 508,59 $tonCO_2eq/thn$. Hal ini dikarenakan adanya pandemi sejak bulan Maret 2020 sehingga kegiatan belajar-mengajar diadakan dengan cara pembelajaran jarak jauh, maka nilai total emisi CO_2eq saat masa pandemi lebih sedikit dibanding saat kondisi normal.

Emisi CO_2eq terbesar yang dihasilkan oleh FT-UNRI saat normal dan saat kondisi pandemi adalah dari lingkup 2 yaitu dari aktivitas penggunaan listrik. Hal ini juga terjadi pada penelitian Abdul-Azeez (2015) dan Sagala, dkk. (2017) bahwa pemakaian listrik di kampus adalah yang paling banyak menghasilkan emisi GRK. Konsumsi listrik di FT-UNRI sendiri memuat dari kegiatan perkuliahan, administrasi kampus, kegiatan laboratorium dan sarana publik. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian Azizah, dkk. (2017) dan Nurhayat dan Handika (2019) yang hasilnya emisi terbesar berasal dari lingkup 3.

Pengaruh Kondisi Pandemi terhadap Emisi CO_2

Pandemi *covid-19* juga membawa pengaruh yang sangat besar bagi dunia pendidikan. Menurut Abidah (2020) dampak penyebaran *covid-19* kini mulai memasuki dunia pendidikan. Institusi-institusi pendidikan diharapkan untuk tidak melaksanakan kegiatan seperti biasanya, hal ini diharapkan dapat mengurangi penyebaran *covid- 19.* Meski diistilahkan penutupan, tetapi tidak berarti bahwa aktivitas di institusi pendidikan juga dihentikan. Penutupan perguruan tinggi maupun sekolah hanya dilakukan secara fisik, dalam artian bahwa gedung sekolah dan kampus ditutup tetapi kegiatan pembelajaran dan kegiatan yang bersifat administratif lainnya tetap dikerjakan secara jarak jauh. Guru dan dosen tetap melaksanakan pembelajaran secara daring, sementara siswa atau mahasiswa dapat belajar secara *online* dari rumah masing-masing (Firman dan Rahayu, 2020).

Fakultas Teknik UNRI adalah salah satu institusi pendidikan yang juga menerapkan pembelajaran secara jarak jauh, dimana mahasiswa dan dosen melakukan pembelajaran secara *online*. Untuk tenaga kependidikan FT-UNRI sendiri diperbolehkan bekerja dikampus kendati harus mematuhi protokol kesehatan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Dari hasil kuesioner yang diisi oleh dosen, tenaga kependidikan, dan mahasisiwa FT-UNRI, bahwa rata-rata kedatangan dosen, *tenaga kependidikan,* dan mahasiswa pada saat masa pandemi hanya 2 hari dalam seminggu, dan untuk rata-rata kedatangan dosen, tenaga kependidikan dan mahasiswa saat kondisi normal yaitu 5 hari dalam seminggu.

Total emisi CO2eq yang dihasilkan dari semua ruang lingkup saat kondisi normal sebesar 2.585.238,88 kgCO_2eq/thn dan saat kondisi pandemic sebesar 508.588,49 kgCO_2eq/thn. Berdasarkan nilai tersebut didapat bahwa sekitar 80,33% penurunan emisi CO_2eq pada FT-UNRI saat masa pandemi. Kondisi pandemi ini memaksa adanya pengurangan aktivitas manusia yang berarti juga berkurangnya penggunaan energi, sehingga secara otomatis hal tersebut juga berkontribusi terhadap penurunan emisi GRK. Proses jeda penggunaan energi dalam pembelajaran di rumah selama masa *covid-19* di perguruan tinggi berpotensi turut menyumbang pengurangan emisi GRK dalam jumlah yang besar. Suatu hal positif tentunya apabila pengurangan emisi GRK melalui pembelajaran di rumah ini dapat menjadi satu kebiasaan baru yang bisa diterapkan meskipun setelah pandemi *covid-19* selesai (Fauzi, 2020).

Untuk lebih menekan angka emisi CO_2eq dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain :

1. Mematikan komputer ketika ditinggalkan selama 60 menit atau lebih (Sagala, dkk.2017). Dengan jumlah komputer sebanyak 318 unit dapat meminimalisasi emisi sebesar 1,068 ton CO2eq.
2. Menerapkan sistem car free day di area kampus bagi dosen, tenaga kependidikan, dan mahasiswa yang bertempat tinggal ≤2 km akan berjalan kaki ke kampus. Melalui penerapan alternatif ini, dapat meminimalisasi sebesar 92,733 tonCO_2eq.
3. Mengusulkan kepada mahasiswa, dosen dan tenaga kependidikan untuk dapat mengganti penggunaan kendaraan bermotor (mobil dan sepeda motor) dengan menggunakan sepeda ke kampus untuk jarak ≤ 3 km dari tempat tinggal.
4. Mengusulkan untuk melakukan efisiensi energi untuk konsumsi listrik dengan mengatur suhu ruangan sebesar 24°C-25°C. Rozaq, dkk. (2019) Penggunaan Air conditioner paling hemat terjadi pada setting suhu Air conditioner pada suhu 24°C.dikarenakan pada suhu tersebut pengguna merasa nyaman tidak terlalu dingin dan daya listrik yang digunakan lebih hemat.

KESIMPULAN

Total emisi CO_2eq yang dihasilkan dari aktivitas kampus di Fakultas Teknik Universitas Riau saat pandemi adalah 508.59 tonCO_2eq lebih kecil daripada saat kondisi normal sebesar 2.585,24 tonCO_2eq. Adanya pandemi *covid-19* berpengaruh terhadap penurunan emisi CO_2eq dari kegiatan pendidikan di FT-UNRI sebesar 80,33%

DAFTAR PUSTAKA

Abdul-Azeez, I. & Ho, C. (2015) Realizing Low Carbon Emission in the University Campus towards Energy Sustainability. *Open Journal of Energy Efficiency*, 4, 15-27. doi: 10.4236/ojee.2015.42002.

Abidah, A., Hidaayatullaah, H. N., Simamora, R. M., Fehabutar, D., & Mutakinati, L. (2020). The Impact of Covid-19 to Indonesian Education and Its Relation to the Philosophy of "Merdeka Belajar". *Studies in Philosophy of Science and Education*, 1(1), 38-49. doi.org/10.46627/ sipose.v1i1.9.

Alshuwaikhat, H.M. & Abubakar, I. (2008). An Integrated Approach To Achieving Campus Sustainability: Assesment Of The Current Campus Environmental Managament Practices. *Journal Of Cleaner Production*, 16, 1777-1785. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002

Arikunto, S. (2002). *Prosedur Penelitian suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Renika Cipta.

Atmaja, W.K., Nasiruddin, & Sriwinarno, H. (2018). Identifikasi Dan Analisis Jejak Karbon (Carbon Footprint) Dari Penggunaan Listrik Di Institut Teknologi Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(2), 1-10.

Azizah, T.N., Andarani, P., & Samadikun, B.P. (2017). Kajian Jejak Karbon dan Pemetaannya dari Aktivitas Kampus di Fakultas Ilmu Budaya Universitas Diponegoro. Jurnal Teknik Lingkungan, 6(1), 1-9.

EPA (environmental protection authority) Victoria. (2013). *Greenhouse Gas Emission Factors For Office Copy Paper.*Carlton: EPA Victoria.

Fauzi, M. (2020). Strategi Pembelajaran Masa Pandemi COVID-19. *Jurnal Al-Ibrah*, 2(2), 120-145.

Febria, S., Darmayanti, L., & Asmura, J. (2014). Studi Timbulan dan Komposisi Sampah sebagai Dasar Perencanaan Sistem Pengelolaan Sampah di Kampus Bina Widya Universitas Riau. *JOM Teknik dan Sains,* 1(2), 1-11

Firman, F., & Rahayu, S. (2020). Pembelajaran *online* di tengah pandemi covid-19. *Indonesian Journal of Educational Science (IJES),* 2(2), 81-89. https://doi.org/10.31605/ ijes.v2i2.659

IPCC. *(2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume II:Energy.* Japan: IGES

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Diktorat Jendral Ketenagalistrikan. (2016). *Faktor Emisi GRK Sistem Interkoneksi Tenaga Listrik Tahun 2016.* Htpps://www.djk.esdm.go.id/index.php/layananinfo-pub/2016-01-08-03-54-21/faktor-emisi-pembangkit-listrik.

Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. *Buku II – Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengadaan Dan Penggunaan Energi*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

Mellynia, R., Trisiana, A., Viyani, N. N., Safitri, F., Handayani, N. T., & Sholehah, I. N. (2020). Bersatu Melawan Covid 19 dengan Hidup Sehat dalam Perspektif Pendidikan Kewarganegaraan. *Jurnal Global Citizen*, 9(1), 24-38. DOI: http://dx.doi.org/10.33061/jgz.v9i1.3882

Nurhayat & Handika, R.A. (2019). Prediksi Jejak Karbon Fakultas Sains dan Teknologi Kampus Pinang Masak Universitas Jambi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(2), 51-58. DOI:10.33087/daurling.v2i2.27

Prihatmaji, Y.P., Fauzy, A., Rais, S., & Firdaus, F. (2016). Analisis *Carbon Footprint* Gedung Perpustakaan Pusat, Rektorat, dan Laboraturium MIPA UII Berbasis Vegetasi Eksisting sebagai Produksi Emisi Gas Rumah Kaca. *Asian Journal Of Innovation And Entrepreneurship* (AIJE), 1(2): 148 – 155.

Rozaq, M.A., Sukoco, B., Nugroho, D. (2019). Analisa Pengaruh Setting Suhu Air Conditioner Terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Air Conditioner Kapasitas 5 PK TYPE PSF 5001. *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) 2*. Semarang, 18 Oktober 2019.

Sagala, S., Sutrisno, E., & Andarani, P. (2017). Kajian Jejak Karbon dari Aktivitas Kampus di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1-9.

Sasmita, A., Asmura, J., & Andesgur, I. (2018). Analisis Carbon Footprint yang Dihasilkan dari Aktivitas Rumah Tangga di Kelurahan Limbungan Baru Kota Pekanbaru. *Jurnal Teknik WAKTU*, 16(1), 96-105. https://doi.org/10.36456/waktu. v16i1.1494

Sari, D., M. Rizki, B. Nathania, M. Ahmad, P.G. Gan, N. Noor. (2021). *Indonesia Zero Emissions Application (EMISI): Methodology for Calculating Individual Emissions from Food, Clothing, Electricity Consumption, and Solid Waste*. Jakarta, Indonesia: World Resources Institute. Available online at: https://doi.org/10.46830/writn.20.00095.

Wiedmann, T. & Minx, J. (2008). *A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends. Chapter 1, Hal. 1-11*. Hauppauge NY, USA: Nova Science Publishers.

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Pengaruh Paparan Insektisida Organofosfat terhadap Tingkat Konsumsi Oksigen dan Perubahan Perilaku Ikan Air Tawar: Sebuah Tinjauan

Shafira Atikah Hamdani[1], Taufiq Ihsan[2], Tivany Edwin[2]

[1]Program Pascasarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung
[2]Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas

E-mail: shafiraatikahh99@gmail.com

ABSTRAK

Kajian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh paparan insektisida organofosfat terhadap tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku ikan air tawar. Organofosfat merupakan salah satu jenis insektisida yang sangat beracun dan dapat membahayakan organisme akuatik, termasuk ikan air tawar. Uji yang dilakukan untuk melihat gejala awal keracunan ikan air tawar akibat organofosfat adalah uji subletal. Salah satu bentuk pemeriksaan uji subletal ialah tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku. Hasil kajian menunjukkan terjadi penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan air tawar selama 14-30 hari dengan variasi konsentrasi paparan yaitu 8 x10-4 ppm - 2,5x10-1 ppm sebesar 0,159 – 0,8 mgO2/L dan perubahan tingkah laku selama 14-28 hari dengan variasi konsentrasi paparan yaitu 1,46 x10-6 ppm - 3,10 ppm akibat paparan insektisida organofosfat. Hal ini dikarenakan terhambatnya aktivitas enzim asetilkolinestrase yang menyebabkan difusi oksigen menjadi terganggu, serta rusaknya insang yang diakibatkan oleh insektisida. Perubahan tingkah laku yang terjadi ialah berlebihnya sekresi lendir, perubahan pola renang, gerak sirip serta gerak operkulum. Durasi paparan, konsentrasi pencemar dan spesies merupakan faktor yang dapat mempengaruhi uji subletal tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku ikan air tawar. Rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemerintah dan petani adalah agar menggunakan insektisida ramah lingkungan atau teknologi ramah lingkungan serta monitoring kesehatan lingkungan perairan pada lahan pertanian secara menyeluruh dan berkelanjutan.

Kata kunci : Organofosfa, uji subletal, ikan air tawar, laju konsumsi oksigen, kelakuan

ABSTRACT

This review was conducted to analyse the effect of organophosphate insecticides on changes in oxygen consumption levels and behaviour in freshwater fish. Organophosphates were a highly toxic type of insecticide that could harm aquatic organisms, including freshwater fish. The test that was carried out to see the early symptoms of freshwater fish poisoning due to organophosphates was sublethal tests. One form of the sublethal test was a change in oxygen consumption rate and behaviour. The results showed a decrease in the oxygen consumption rate of freshwater fish for 14-30 days with a variation in exposure concentration 8 x10-4 ppm - 2,5x10-1 ppm with a reduction of 0,159 – 0,8 mgO2/L and a behaviour change for 14-28 days with variations in exposure concentration of 1,46 x10-6 ppm - 3,10 ppm due to exposure to organophosphorus insecticides. This could happen to the inhibition of acetylcholinesterase enzyme activity, which causes oxygen diffusion to be disrupted and gill damage caused by insecticides. Behaviour changes

that occur were excess mucus secretion, changes in swimming patterns, fin and operculum motion. The duration of exposure, the concentration of pollutants, and species could affect the sublethal tests on changes in oxygen consumption rates and freshwater fish behaviour. Recommendations that can be given to the government and farmers are to use an environmentally friendly insecticides or an environmentally friendly technology and also monitoring the health of the aquatic environment on agricultural land thoroughly and sustainably.

Keywords : Organophosphate, sublethal test, freshwater fish, oxygen consumption rate, behaviour

PENDAHULUAN

Hingga pada abad ke-21, insektisida golongan organofosfat merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Organofosfat merupakan insektisida yang bersifat sangat beracun. Organofosfat dapat menyebabkan perubahan gugus fosfat pada enzim asetilkolinestrase (AChE) pada ujung saraf dimana enzim ini memiliki peran yang sangat penting dalam mengkontrol transmisi impuls saraf, sel otot, sel sekresi dan sistem saraf pusat (USEPA, 2008). Insektisida organofosfat yang paling banyak digunakan ialah dengan bahan aktif *parathion, chlorpyrifos, diazinon, malathion, methyl paration* (Adebayo.dkk, 2020).

Terkait dampak pada organisme akuatik akibat paparan insektisida organofosfat di perairan, salah satu yang dapat terkena dampak yakni ikan air tawar. Ikan air tawar merupakan komoditas perikanan air tawar yang saat ini banyak menghasilkan devisa. Usaha perikanan air tawar diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan kebutuhan akan pemenuhan gizi (Khairuman dan Amri, 2003). Spesies ikan air tawar, seperti ikan mas, nila, dan lele, diperkirakan mewakili sekitar 62% dari total produksi akuakultur dunia pada 2030 (FAO, 2018). Pencemaran insektisida yang berdampak pada perairan budidaya perikanan air tawar dapat mengakibatkan kematian ikan, penurunan produktivitas, dan kualitas ikan sebagai sumber protein hewani (Koesoemadinata, 2000).

Uji toksisitas subletal merupakan salah satu metode paling umum yang dilakukan untuk mengetahui gejala awal keracunan pada hewan perairan. Insektisida organofosfat dapat masuk ke dalam tubuh ikan terutama melalui insang dan merusak organ pernafasan sehingga laju konsumsi oksigen akan menurun (Chebbi dan David, 2010). Penelitian uji subletal mengenai paparan insektisida organofosfat terhadap tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku ikan air tawar telah banyak dilakukan seperti pengaruh paparan subletal diazinon terhadap tingkat konsumsi oksigen ikan mujair (Damayanty, 2013), pengaruh paparan klorpirifos terhadap perubahan tingkah laku ikan nila (Ihsan dkk, 2018; Ihsan dkk, 2019) dan lainnya. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dikaji lebih mendalam agar didapatkan gambaran secara umum bagaimana dampak dari insektisida organofosfat ini terhadap tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku ikan air tawar sehingga pencegahan dapat dilakukan, dengan cara melakukan kajian literatur terkait.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kajian Literatur Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Akibat Paparan Insektisida Organofosfat pada Ikan Air Tawar

Tingkat konsumsi oksigen merupakan parameter penting untuk mengamati efek zat beracun pada ikan. Zat beracun yang masuk ke dalam tubuh ikan akan mengganggu proses pernapasan (Ihsan dkk, 2019). Konsumsi oksigen akan mengontrol aktivitas metabolisme dan perubahan tingkat konsumsi oksigen telah digunakan sebagai indikator stres pada organisme yang terpapar polutan (Dharmalata dan Josi, 2002).

Berdasarkan **Tabel 1** dapat dilihat perubahan tingkat konsumsi oksigen pada ikan air tawar yang telah terpapar insektisida organofosfat. Ikan air tawar yang digunakan ialah ikan nila, ikan mas india, ikan mujair dan ikan belanak. Paparan dilakukan pada rentang waktu 14-30 hari dengan variasi konsentrasi paparan terkecil yaitu $8x10^{-4}$ ppm dan terbesar $2{,}5x10^{-1}$ ppm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, paparan insektisida organofosfat pada spesies ikan air tawar yang berbeda menunjukkan kecenderungan yang sama dalam penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan. Namun hal ini berbeda dengan tingkat konsumsi oksigen ikan tanpa adanya paparan insektisida. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ihsan dkk (2019),

Maharajan dkk (2013), Damayanty (2013) dan Sathicl (2019), menunjukkan perlakuan konsentrasi kontrol dengan tidak memberikan paparan insektisida organofosfat tingkat konsumsi oksigen cenderung stabil dan meningkat pada ikan air tawar.

Tabel 1. Rekapitulasi Kajian Literatur Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Peneliti	Jenis hewan uji	Jenis Organofosfat	Nilai LC_{50}	Konsentrasi Paparan	Lama Paparan	Hasil
Ihsan, dkk (2019)	Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)	Klorpirifos	0,076 ppm	1/14 LC_{50} ($5x10^{-3}$ppm)	14 hari	Tingkat konsumsi oksigen nila menurun sebesar 0,159 mgO_2 / L.
				1/7 LC_{50} ($1,1x10^{-2}$ppm)		Tingkat konsumsi oksigen nila menurun sebesar 0,213 mgO_2 / L.
Maharajan, dkk (2013)	Ikan Mas (*Catla catla*)	Profenofos	0,016 ppm	1/20 LC_{50} ($8x10^{-4}$ppm)	15 hari	Tingkat konsumsi oksigen menurun 0,5 mgO_2 / L.
				1/10 LC_{50} ($1,6x10^{-3}$ppm)		Tingkat konsumsi oksigen menurun 0,7 mgO_2 / L.
Damayanty dan Abdul Ghani (2013)	Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*)	Diazinon	2,5 ppm	2,5% LC_{50} ($6,25x10^{-2}$ ppm)	30 hari	Tingkat konsumsi oksigen menurun 0,39 mgO_2 / L.
				5% LC_{50} ($1,25x10^{-1}$ ppm)		Tingkat konsumsi oksigen menurun 0,62 mgO_2 / L
				10% LC_{50} ($2,5x10^{-1}$ppm)		Tingkat konsumsi oksigen menurun 0,8 mgO_2 / L
Sathicl, dkk (2019)	Ikan Belanak (*Muqil Cephalus*)	Monokrotofos	0,4 ppm	1/10 LC_{50} ($4x10^{-2}$ ppm)	15 hari	Tingkat konsumsi oksigen menurun sebesar 0,367 mgO_2 / L

Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Nila dan Ikan Mujair Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Ihsan dkk (2019) dapat dilihat telah terjadi penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan nila selama 14 hari. Paparan klorpirifos yang semakin lama akan menyebabkan tingkat konsumsi oksigen semakin berkurang. Hal ini dikarenakan insektisida klorpirifos adalah racun saraf yang akan merusak sistem pernafasan dan saraf nila. Hal ini akan mempengaruhi proses difusi oksigen yang menghasilkan penurunan tingkat konsumsi oksigen (Padmanabha dkk. 2015).

Berdasarkan hasil penelitian Damayanti dan Abdul Ghani (2013) dapat dilihat bahwa telah terjadi penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan mujair selama 30 hari. Hal ini dikarenakan disorganisasi pernafasan yang disebabkan oleh oksigen sebagai bahan pernafasan yang dibutuhkan oleh sel untuk berbagai reaksi metabolisme. Peranan pernafasan dan konsumsi oksigen adalah parameter fisiologis yang penting untuk menilai toksisitas racun karena merupakan indikator yang penting untuk pengeluaran energi selama metabolisme (Tilak dan Swarna, 2009).

Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Mas Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Maharajan dkk (2013) dapat dilihat bahwa telah terjadi penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan mas (*Catla catla*) setelah terpapar insektisida profenofos selama 15 hari. Setelah hari ke-5, 10 dan 15, racun menyebabkan tingkat konsumsi oksigen menurun dengan meningkatnya konsentrasi profenofos. Tingkat konsumsi oksigen menurun diakibatkan oleh tidak beraturannya tindakan pernafasan. Hal ini disebabkan oleh pecahnya epitel pernafasan dari jaringan insang (Tilak dan Swarna, 2009).

Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Belanak Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Satchil dkk (2019) dapat dilihat bahwa telah terjadi penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan belanak (*Mugil cephalus*) setelah terpapar insektisida monokrotofos selama 15 hari. Tingkat konsumsi oksigen ikan yang diberi pestisida menunjukkan penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi. Penurunan tingkat konsumsi oksigen dapat dikaitkan dengan kerusakan insang (Palanichamy dan Baskaran, 1995).

Mekanisme Perubahan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektida Organofosfat

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Damayanty (2013), menurunnya tingkat konsumsi oksigen adalah diakibatkan oleh disorganisasi pernafasan yang disebabkan oleh oksigen sebagai bahan pernafasan yang dibutuhkan oleh sel untuk berbagai reaksi metabolisme. Organofosfat merupakan salah satu insektisida yang beracun bagi ikan dan organisme non-target air serta memiliki racun saraf yang kuat, karena mereka menghambat aktivitas enzim asetilkolinesterase (Nikam. dkk, 2011). Terhambatnya aktivitas enzim asetilkolinestrase untuk menghidrolisis asetilkolin menyebabkan terjadinya akumulasi asetilkolin. Akumulasi asetilkolin pada tempat-tempat reseptor menyebabkan sel-sel efektor menerima sinyal yang terus-menerus, yang mengakibatkan ikan mengalami kejang-kejang, gerakan yang tidak terkoordinasi. Selain itu penurunan tingkat konsumsi oksigen dengan cepat juga dapat disebabkan oleh rusaknya fungsi insang yang diakibatkan oleh bahan kimia xenobiotik (Hartl dkk, 2001).

Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektisida Organofosfat Durasi Paparan

Faktor penting yang mempengaruhi toksisitas adalah lamanya waktu pemaparan (durasi) bahan kimia terhadap organisme. Pemaparan yang lebih lama akan memberi dampak kronis yang lebih buruk terhadap organsime perairan (Rand dan Petrocelli, 1985). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ihsan dkk (2019) terhadap tingkat konsumsi oksigen ikan nila akibat paparan insektisida klorpirifos selama 14 hari telah terjadi penurunan sebesar (0,213 mgO_2/L) dan penelitian Damayanty dan Abdul Ghani (2013) terhadap ikan mujair akibat paparan insektisida diazinon selama 30 hari telah terjadi penurunan (0,8 mgO_2/L). Berdasarkan hal tersebut dapat dilihat bahwa penurunan tingkat konsumsi oksigen yang dialami oleh ikan mujair selama 30 hari lebih besar dibandingkan dengan ikan nila selama 14 hari.

Konsentrasi Pencemar

Menurut Landis dan Yu (2004) konsentrasi bahan pencemar merupakan faktor penting yang mempengaruhi toksisitas. Secara umum, semakin besar konsentrasi bahan kimia, maka respons yang ditimbulkan akan lebih buruk (Rand dan Petrocelli, 1985). Berdasarkan hasil penelitian Ihsan dkk (2019) dapat dilihat bahwa penurunan tingkat konsumsi oksigen yang dialami oleh ikan nila dengan konsentrasi 1/7 LC_{50} ($1{,}1x10^{-2}$ppm) sebesar 0,213 mgO_2/L, penurunan ini lebih besar dibadingkan dengan konsentrasi 1/14 LC_{50} ($5x10^{-3}$ppm) yaitu sebesar sebesar 0,159 mgO_2/L.

Berdasarkan hasil penelitian Maharajan dkk (2013) dapat dilihat bahwa penurunan tingkat konsumsi oksigen yang dialami oleh ikan mas dengan konsentrasi 1/10 LC_{50} ($1{,}6x10^{-3}$ppm) sebesar 0,7 mgO_2/L, penurunan ini lebih besar dibadingkan dengan konsentrasi 1/20 LC_{50} ($8x10^{-4}$ppm) yaitu sebesar sebesar 0,5 mgO_2/L. Berdasarkan hasil penelitian Damayanty dan Abdul Ghani (2013) dapat dilihat bahwa penurunan tingkat konsumsi oksigen yang dialami oleh ikan mas dengan konsentrasi 10% $LC5_{50}$ ($2{,}5x10^{-1}$ ppm) sebesar 0,8 mgO_2/L, penurunan ini lebih besar dibadingkan dengan konsentrasi 5% LC_{50} ($1{,}25x10^{-1}$ppm) yaitu sebesar sebesar 0,62 mgO2/L dan konsentrasi 2,5% LC_{50} ($6{,}25x10^{-2}$ppm) yaitu sebesar sebesar 0,39 mgO2/L.

Spesies

Pengaruh toksisitas toksikan akan berbeda untuk berbagai spesies biota, hal ini dikarenakan adanya perbedaan ketahanan dan kemudahan spesies biota menerima toksikan (Mangkoediharjo dan Samudro, 2009). Beberapa spesies mampu melindungi dirinya sendiri dari paparan bahan pencemar untuk waktu yang singkat (Rand dan Petrocelli, 1985). Berdasarkan 4 hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa ikan nila memiliki resistensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan ikan lainya.

dikarenakan penurunan konsumsi oksigen yang tidak terlalu besar dibandingkan ikan lainnya. Hal ini dikarenakan ikan nila dapat hidup pada rentang faktor pembatas yang luas sehingga memiliki daya toleransi yang lebih tinggi terhadap polutan (Zulfahmi.dkk, 2017).

Hasil Kajian Literatur Perubahan Tingkah Laku Akibat Paparan Insektisida Organofosfat pada Ikan Air Tawar

Efek dari subletal toksisitas pada ikan adalah perubahan kemampuan atau respons terhadap rangsangan alami, seperti respons terhadap salinitas dan suhu, kurangnya kemampuan berenang dan tekanan fisik, mengurangi tingkat pertumbuhan dan fisiologis, biokimia dan respons tingkah laku (Soemirat, 2003). Berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat perubahan tingkah laku pada ikan air tawar yang telah terpapar insektisida organofosfat. Ikan air tawar yang digunakan ialah ikan nila, ikan mas dan ikan lele. Paparan dilakukan pada rentang waktu 14-28 hari dengan variasi konsentrasi terkecil yaitu 1,46 $x10^{-6}$ ppm dan terbesar 3,10 ppm. Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian dapat disimpulkan bahwa insektisida organofosfat dapat menyebabkan beberapa perubahan tingkah laku ikan air tawar seperti perubahan gerak sirip, perubahan pola renang, sekresi lendir dan perubahan gerak operkulum.

Tabel 2. Rekapitulasi Kajian Literatur Perubahan Tingkah Laku Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Peneliti	Jenis Hewan Uji	Jenis Organofosfat	Nilai LC_{50}	Konsentrasi Paparan	Lama Paparan	Dampak Subletal			
						Lendir	Pola Renang	Gerak Sirip	Gerak Operkulum
Ihsan, dkk (2018)	Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)	Klorpirifos	7,6 $x10^{-2}$ ppm	1/14 LC_{50} ($5x10^{-3}$ ppm)	14 hari	√	√	√	√
				1/7 LC_{50} ($1,1x10^{-2}$ ppm)		√	√	√	√
Aitte (2018)	Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*)	Klorpirifos	3,54 ppm	0,1 ppm	15 hari	√	√	-	√
Sharmila dan Kavitha. (2018)	Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*)	Monokrotofos	15,53 ppm	1/10 LC_{50} (1,55 ppm)	28 hari	√	√	-	-
				1/5 LC_{50} (3,10 ppm)		√	√	-	-
Cheema dkk (2018)	Ikan Mas (*Chirhinus mrigala*)	Klorpirifos	4,4 x 10^{-1} ppm	1/20 LC_{50} (2 $x10^{-2}$ ppm)	21 hari	√	√	-	√
				1/10 LC_{50} (4 $x10^{-2}$ ppm)		√	√	-	√
				1/5 LC_{50} (8 $x10^{-2}$ ppm)		√	√	-	√
Saad dkk (2014)	Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)	Diazinon	14,6 x 10^{-6} ppm	10% LC_{50} (1,46 $x10^{-6}$ ppm)	28 hari	-	√	√	-
Nwani dkk (2013)	Ikan Lele (*Clarias gariepinus*)	Klorpirifos	8,6 x 10^{-1} ppm	1/5 LC_{50} (1,72 $x10^{-1}$ ppm)	15 hari	√	√	-	-
				1/10 LC_{50} (8,6 $x10^{-2}$ ppm)		√	√	-	-

Perubahan Tingkah Laku Ikan Nila Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Ihsan dkk (2018) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku ikan nila setelah terpapar insektisida klorpirifos selama 14 hari. Berdasarkan hasil penelitian Ihsan dkk (2018)

menyebutkan bahwa ikan yang terinfeksi telah mengurangi gerakan karena klorpirifos mempengaruhi sistem saraf dan mengganggu pergerakan otot sehingga ikan mulai melemah dan bergerak secara tidak teratur. Ikan nila mengalami penurunan jumlah gerak operkulum yang merupakan respon ikan untuk mengurangi daya serap racun melalui insang.

Sekresi berlebihan dari lendir akibat paparan klorpirifos adalah respons spesifik terhadap racun untuk mengurangi langsung kontak racun dengan kulit (Botte dkk, 2012). Selain itu klorpirifos juga bertindak sebagai racun kontak, ketika terkena langsung dengan tubuh ikan seperti pada sirip, respon ikan untuk perubahan gerakan sirip dapat dilihat secara visual, gerakan sirip dada kiri dan kanan berbeda (Padmanabha dkk, 2015). Ihsan dkk (2018) menyatakan bahwa adanya hubungan yang sangat kuat antara waktu pengamatan dan perubahan dalam tingkah laku ikan nila yaitu semakin lama dan semakin tinggi konsentrasi klorpirifos yang diberikan maka akan menyebabkan perubahan tingkah laku ikan nila semakin terlihat dengan jelas (Ihsan dkk, 2018).

Berdasarkan hasil penelitian Saad dkk (2014) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku setelah ikan nila terpapar insektisida diazinon selama 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian Saad dkk (2014) menyebutkan telah terjadi perubahan pola renang yang tidak teratur seperti tergantung secara vertikal di air dan seringkali tidak bergerak di dasar akuarium. Hal ini diakibatkan paparan insektisida diazinon dapat menginduksi stress yang tinggi terhadap ikan. Selain itu juga terjadinya perubahan gerak sirip yang diakibatkan sirip berkontak lansung dengan racun yang menyebabkan sirip yang membusuk hingga pergerakan yang tidak normal (Saad dkk, 2014).

Perubahan Tingkah Laku Ikan Mas Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Aitte (2018) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku setelah ikan mas terpapar insektisida klorpirifos selama 15 hari. Aitte (2018) menyebutkan bahwa terdapat perubahan tingkah laku ikan mas seperti gerakan berenang tidak teratur, hilangnya keseimbangan, gelisah, gerak operkulum dan sekresi lendir yang berlebihan menunjukkan bahwa ikan mas telah mengalami stres kimia ketika terpapar pestisida. Aitte menyebutkan dalam penelitiannya bahwa lama paparan akan menyebabkan perubahan tingkah laku yang meningkat seiring dengan peningkatan waktu (Aitte, 2018).

Berdasarkan hasil penelitian Sharmila dan Kavitha (2018) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku setelah ikan mas terpapar insektisida monokrotofos selama 28 hari. Sharmila dan Kavitha (2018) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa ikan mas mungkin telah mengembangkan mekanisme tertentu seperti sekresi lendir, berenang ke permukaan dan pengambilan udara baik untuk menghilangkan racun atau untuk melarikan diri dari racun. Pada lingkungan beracun, gerakan ikan menjadi tidak teratur, tidak menentu, gerakan berenang yang melesat dan hilangnya keseimbangan diikuti dengan menggantung secara vertikal dalam air. Hal tersebut disebabkan oleh penghambatan aktivitas asetilkolinestrase (AChE) yang mengarah ke akumulasi asetilkolin di sinaps kolinergik memastikan hiperstimulasi. Kelebihan sekresi lendir pada ikan adalah respons non-spesifik terhadap racun, membentuk penghalang antara tubuh dan media beracun, atau untuk meminimalkan efek iritasi. Pergerakan ikan mas dalam penelitian ini secara bertahap menurun ke- 28 jika dibandingkan dengan ikan kontrol (Sharmila dan Kavitha 2018).

Berdasarkan hasil penelitian Cheema dkk (2018) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku setelah ikan mas terpapar insektisida klorpirifos selama 21 hari. Cheema dkk (2018) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa ikan mas mengalami perubahan pola renang seperti berenang independen dan gerakan renang yang tidak menentu serta menggantung vertikal di air. Hal ini disebabkan karena klorpirifos dapat mempengaruhi saraf sehingga menyebabkan pola renang yang tidak teratur. Ikan mas mengalami peningkatan gerak operkulum untuk meningkatkan kecepatan pernafasan dalam mengambil oksigen. Ikan mas juga mengalami sekresi lendir berlebihan di seluruh tubuh, hal ini merupakan respons adaptif ikan mas terhadap sifat korosif pestisida (Cheema dkk, 2018).

Perubahan Tingkah Laku Ikan Lele Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Berdasarkan hasil penelitian Nwani dkk (2013) dapat dilihat telah terjadi perubahan tingkah laku setelah ikan lele terpapar insektisida klorpirifos selama 15 hari. Nwani dkk (2013) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa ikan lele mengalami perubahan pola renang yang tidak teratur seperti pola renang yang tersendat dan gerakan berenang ke permukaan. Selain itu ikan lele juga mengalami sekresi lendir berlebihan di seluruh tubuh. Perubahan perilaku yang diamati dikaitkan dengan efek neurotoksik klorpirifos

dengan penghambatan enzim asetilkhlonestrase (AChE). Penghambatan AChE mengganggu normal neurotransmisi dalam sinapsis kolinergik dan sambungan neuromuskuler dari sistem saraf, sehingga memengaruhi fungsi saraf (Santos Miron dkk, 2005). Perubahan tingkah laku semakin jelas terlihat seiring dengan bertambahnya durasi dan konsentrasi LC_{50} (Nweni dkk, 2013).

Mekanisme Perubahan Tingkah Laku Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektida Organofosfat

Mekanisme perubahan tingkah laku ikan air tawar akibat paparan organoposfat dapat dijabarkanss ebagai berikut:

1. Lendir
   Lendir atau *mucosa* merupakan zat yang diproduksi tubuh yang salah satu fungsinya untuk mempertahankan diri terhadap bahan asing (antigen), dengan cara memproduksi makrofag. Jika ada sesuatu benda atau bahan asing yang menempel di tubuh ikan, ikan akan mengeluarkan lendir untuk memfagosit antigen tersebut (Esti, 2015). Biasanya ikan memiliki sedikit lendir di tubuhnya namun ikan yang terpapar zat beracun dalam jumlah besar, produksi lendir akan terlihat dengan jelas. Sekresi berlebihan dari lendir adalah respons spesifik terhadap racun untuk mengurangi langsung kontak racun dengan kulit ikan (Botte.dkk, 2012).

2. Pola Renang
   Perubahan pola renang dapat digunakan sebagai deteksi awal terjadinya serangan toksik, karena pengamatan parameter ini relatif mudah yaitu pengamatan secara langsung tanpa melakukan nekropsi atau pembedahan. Beberapa perubahan pola renang yang biasa diamati untuk mengetahui adanya serangan parasit berupa perubahan gerakan pada kolom air (berenang di permukaan, melayang atau di dasar akuarium), perpindahan badan (lemah atau agresif), dan bentuk cara berenang (berulang, berputar dan tidak beraturan) (Esti, 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ihsan dkk pada tahun (2018) Ikan yang terinfeksi telah mengurangi gerakan karena insektisida organofosfat kloripifos sudah mempengaruhi sistem saraf dan mengganggu pergerakan otot sehingga ikan mulai melemah dan bergerak secara tidak teratur. Hal yang sama juga diutarakan dalam Halappa dan David (2009) yang melaporkan bahwa pergerakan ikan abnormal disebabkan oleh kurangnya koordinasi sistem saraf dan otot karena akumulasi asetilkolin secara sinaptik dan persimpangan neuromuskuler.

3. Gerak Sirip
   Sirip pada ikan berfungsi untuk mengatur kecepatan renang. Ikan yang sehat akan berenang aktif dan gesit ke segala arah dengan stabil. Apabila racun bersentuhan langsung dengan tubuh ikan seperti pada sirip, maka respon ikan terhadap perubahan gerak sirip dapat terlihat secara visual, gerakan sirip dada kiri dan kanan tidak sama (Padmanabha dkk, 2015).

4. Gerak Operkulum
   Operkulum pada ikan merupakan kepingan tulang yang terletak di belakang kepala untuk melindungi insang. Ikan mengambil oksigen terlarut dalam air dengan cara menyaring air yang masuk melalui mulut dan mengambil oksigen yang terlarut dalam air menggunakan insang. Bukaan operkulum ikan merupakan proses ikan menelan air dengan mulutnya dan menekannya melewati insang kemudian keluar melalui lubang di bawah operkulum. Gerakan operkulum untuk ikan normal teratur dan stabil (Pough.dkk, 2005).
   Ikan yang terpapar insektisida akan membuka operkulum dengan gerakan yang cepat untuk meningkatkan kecepatan pernafasan dan mengambil oksigen terlarut (Aitte, 2018).

   Namun, berdasarkan penelitian Ihsan dkk (2018) menunjukkan bahwa gerakan operkulum akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi insektisida. Hal ini merupakan respons ikan untuk mengurangi daya serap racun pada insang. Semakin tinggi konsentrasi zat toksik dan semakin lama waktu pemaparan zat toksik pada ikan akan menurunkan frekuensi bukaan operkulum. Hal ini berdampak pada ikan yang semakin sulit memperoleh oksigen sehingga bukaan operkulum ikan tersebut semakin cepat pada awal pemaparan dan berangsur-angsur menurun, sehingga dapat mengakibatkan kematian pada ikan karena kekurangan oksigen terlarut untuk proses respirasi (Sahetapy dan Borut, 2018). Respons yang dihasilkan oleh suatu senyawa sering bervariasi karena jenis yang berbeda dari hewan yang sama. Oleh karena itu hewan uji yang akan digunakan dipilih berdasarkan umur, jenis kelamin, berat badan, kondisi kesehatan dan keturunan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2016).

Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Tingkah Laku Ikan Air Tawar Akibat Paparan Insektisida Organofosfat

Faktor yang mempengaruhi perubahan tingkah laku ikan air tawar akibat paparan organoposfat adalah :

1. Durasi Paparan
   Faktor penting yang mempengaruhi toksisitas adalah lamanya waktu pemaparan (durasi) bahan kimia terhadap organisme. Pemaparan yang lebih lama akan memberi dampak kronis yang lebih buruk terhadap organsime perairan (Rand dan Petrocelli, 1985). Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh Ihsan dkk (2018) terhadap ikan nila akibat paparan insektisida klorpirifos selama 14 hari, perubahan tingkah laku ikan nila seperti sekresi lendir, perubahan pola renang, perubahan gerak sirip dan operkulum semakin terlihat jelas seiring dengan waktunya lama pemaparan.
2. Konsentrasi Pencemar
   Menurut Landis dan Yu (2004) konsentrasi bahan pencemar merupakan faktor penting yang mempengaruhi toksisitas. Secara umum, semakin besar konsentrasi bahan kimia, maka respon yang ditimbulkan akan lebih buruk (Rand dan Petrocelli, 1985). Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh Ihsan dkk (2018) terhadap ikan nila akibat paparan insektisida klorpirifos dengan konsentrasi paparan yang digunakan ialah 1/7 LC_{50} ($1{,}1x10^{-2}$ppm) dan 1/14 LC_{50} ($5x10^{-3}$ppm), dijelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi kloripirifos maka perubahan tingkah laku ikan nila akan semakin terlihat.
3. Spesies
   Pengaruh toksisitas toksikan akan berbeda untuk berbagai spesies biota, hal ini dikarenakan adanya perbedaan ketahanan dan kemudahan spesies biota menerima toksikan (Mangkoediharjo dan Samudro, 2009). Beberapa spesies mampu melindungi dirinya sendiri dari paparan bahan pencemar untuk waktu yang singkat (Rand dan Petrocelli, 1985).

Berdasarkan hasil penelitian tidak dapat disimpulkan spesien ikan yang memiliki resistensi paling tinggi terhadap perubahan tingkah laku karena tidak cukupnya data pada artikel ilmiah seperti nilai *scoring*. *Scoring* adalah ukuran standar dalam perubahan tingkah laku (Fitzgerald dan Gaza, 1993).

Berdasarkan hasil penelitian Aitte (2018) terhadap ikan mas akibat paparan insektisida klorpirifos selama 15 hari, dijelaskan bahwa durasi paparan dapat meningkatkan perubahan pada tingkah laku akibat zat toksik. Berdasarkan penelitian Sharmila dan Kavitha (2018) terhadap ikan mas akibat paparan insektisida monokrotofos selama 28 hari dijelaskan bahwa pergerakan ikan semakin menurun dan sekresi lendir yang semakin berlebih akibat paparan monokrotofos yang berkepanjangan. Berdasarkan hasil penelitian Cheema dkk (2018) terhadap ikan mas akibat paparan insektisida klorpirifos selama 21 hari, dijelaskan bahwa perubahan pola tingkah laku ikan mas terlihat secara jelas dengan peningkatan periode pemaparan klorpirifos. Berdasarkan penelitian Saad dkk (2014) terhadap ikan nila akibat paparan insektisida diazinon selama 28 hari dijelaskan bahwa paparan subletal diazinon menyebabkan kelainan perilaku yang semakin jelas seiring meningkatnya waktu paparan. Berdasarkan penelitian Nweni dkk (2013) terhadap ikan lele akibat paparan insektisida klorpirifos selama 15 hari dijelaskan bahwa perubahan tingkah laku semakin jelas terlihat seiring dengan bertambahnya durasi paparan.

Berdasarkan penelitian Sharmila dan Kavitha (2018) terhadap ikan mas akibat paparan insektisida monokrotofos dengan konsentrasi paparan yang digunakan ialah 1/5 LC_{50} (3,10 ppm) dan 1/10 LC_{50} (1,55 ppm), dijelaskan bahwa perubahan tingkah laku ikan terlihat jelas dengan meningkatnya konsentrasi subletal dibandingkan ikan kontrol. Berdasarkan penelitian Cheema dkk (2018) terhadap ikan mas akibat insektisida klorpirifos dengan konsentrasi paparan yang digunakan 1/20 LC_{50} ($2x10^{-2}$ppm), 1/10 LC_{50} ($4x10^{-2}$ppm) dan 1/5 LC_{50} ($8x10^{-2}$ppm), dijelaskan bahwa perubahan tingkah laku ikan mas terlihat signifikan pada konsentrasi paparan 1/5 LC_{50} ($8x10^{-2}$ppm) dibandingkan konsentrasi paparan lainnya dan nilai kontrol. Berdasarkan penelitian Nweni dkk (2013) terhadap ikan lele akibat insektisida klorpirifos dengan konsentrasi paparan yang digunakan ialah 1/5 LC_{50} ($1{,}72x10^{-1}$ppm) dan 1/10 LC_{50} ($8{,}6x10^{-2}$ppm) dijelaskan bahwa peningkatan konsentrasi paparan subletal menunjukkan perubahan tingkah laku ikan yang abnormal.

Pengaruh Paparan Insektisida Organofosfat Terhadap Tingkat Konsumsi Oksigen dan Perubahan Tingkah Laku Ikan Air Tawar

Peranan pernafasan dan konsumsi oksigen adalah parameter fisiologis yang penting untuk menilai toksisitas racun karena merupakan indikator yang penting untuk pengeluaran energi selama metabolisme (Tilak dan Swarna, 2009). Insektisida organofosfat ini mempunyai sifat toksik yaitu menghambat ikatan antara asetilkolin dan asetilkolinesterase (Soemirat, 2003). Penurunan konsumsi oksigen pada ikan berpotensi memiliki pengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan reproduksi spesies ikan di dalam sistem budidaya (Neto dan Steffenses, 1997).

Paparan insektisida organofosfat dapat mengakibatkan kelainan pada perilaku ikan yang dapat menyebabkan ikan mengalami kegagalan menyimpan energi dalam proses metabolisme, stress berat, dan hingga kematian ikan (Dube dan Hosetti, 2010). Perubahan tingkah laku ikan menunjukkan telah terjadinya penurunan kualitas air. Perubahan tingkah laku ikan merupakan respons terhadap efek toksik yang sangat berdampak pada kelangsungan hidup ikan. Oleh karena itu perubahan perilaku ikan yang kompleks akan bermanfaat sebagai indikator yang efisien untuk toksikologi perairan. Telah disadari bahwa respon perilaku ikan dapat memberikan indeks penting untuk penilaian ekosistem (Sharma, 2019). Menurunnya konsumsi oksigen pada ikan akan menyebabkan perubahan pola renang dan gerak operkulum ikan, hal ini dikarenakan ikan yang mengalami kekurangan oksigen akan mempercepat pergerakan operkulumnya disertai dengan pergerakan mengambil udara di permukaan air dan pergerakan ikan menjadi pasif (Reebs, 2009). Selain itu, lapisan lendir yang berlebih juga menandakan telah terjadi kerusakan histologis insang yang memicu terjadinya hipoksia. Peningkatan sekresi lendir oleh sel mukus yeng berlebihan dapat mengganggu proses pernafasan pada ikan karena proses osmosis oksigen tidak terjadi secara sempurna pada insang yang tertutup sekresi mukus. Akumulasi lendir tersebut merupakan gejala reaksi inflamatori insang terhadap polutan (Srivasta, 2010).

Rekomendasi Hasil Kajian

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan dapat terlihat bahwa belum adanya batas aman dalam penggunaan insektisida organofosfat terhadap perubahan tingkat konsumsi oksigen dan tingkah laku ikan air tawar. Oleh karena itu, rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemerintah dan petani ialah :

1. Penggunaan Insektisida Ramah Lingkungan
   Dampak penggunaan insektisida dapat diminimalkan dengan penggunaan insektisida ramah lingkungan dan monitoring kesehatan lingkungan perairan secara menyeluruh dan berkelanjutan (Adharini dkk, 2016). Salah satu insektisida ramah lingkungan ialah dengan menggunakan Agen Pengendali Hayati (APH). APH digunakan sebagai pengganti pestisida sintetik untuk memberantas hama tanaman. Dengan penggunaan APH, hama dan penyakit pada tanaman bisa hilang dan tidak meninggalkan residu pestisida pada hasil tanaman (Fitradi dan Putri, 2016). Keuntungan dalam penggunaan APH ini ialah memiliki tingkat keberhasilan pengendalian hama yang tinggi dengan biaya yang rendah dalam periode waktu lama dan pengendalian hayati tidak berpengaruh negatif terhadap manusia serta lingkungan (Wagiman, 2014).
2. Teknologi Ramah Lingkungan
   Salah satu teknologi ramah lingkungan ialah teknik bioremediasi. Bioremediasi bertujuan untuk memperbaiki tanah terkontaminasi sehingga kontaminan menjadi dapat diterima keberadaannya di lingkungan dengan menggunakan mikroba (Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian 2018). Salah satu contoh media teknologi bioremediasi ialah aplikasi arang aktif di tanah yang dapat menurunkan residu pestisida organoklorin (lindan, aldrin, dieldrin, DDT, endosulfan dan heptaklor), organofosfat (klorpirifos, diazinon) dan karbamat (karbofuran) dengan kisaran 70 - 90% (Fitriadi dan Putri, 2016).

KESIMPULAN

Paparan insektisida organofosfat dapat mengakibatkan terjadinya penurunan tingkat konsumsi oksigen pada spesies ikan air tawar seperti ikan nila, mas, mujair dan belanak sebesar 0,159 – 0,8 mgO_2/L selama 14-30 hari dengan variasi konsentrasi paparan yaitu 8 $x10^{-4}$ ppm - $2{,}5x10^{-1}$ ppm. Selain itu paparan insektisida organofosfat juga dapat mengakibatkan perubahan tingkah laku pada spesies ikan air tawar seperti ikan nila, mas dan lele selama 14-28 hari dengan variasi konsentrasi paparan yaitu 1,46 $x10^{-6}$ ppm - 3,10 ppm.

Mekanisme penurunan tingkat konsumsi oksigen ikan air tawar akibat paparan insektisida organofosfat terjadi dikarenakan terhambatnya aktivitas enzim asetilkolinestrase untuk menghidrolisis asetilkolin sehingga terjadi akumulasi asetilkolin yang menyebabkan difusi oksigen menjadi terganggu. Selain itu,

penurunan konsumsi oksigen juga diakibatkan rusaknya insang yang diakibatkan oleh insektisida. Menurunnya konsumsi oksigen dapat menyebabkan perubahan tingkah laku ikan seperti perubahan pola renang dan gerakan operkulum.

Paparan insektisida organofosfat juga menyebabkan perubahan tingkah laku pada ikan air tawar seperti berlebihnya sekresi lendir, perubahan pola renang, perubahan gerak sirip serta perubahan gerak operkulum. Faktor lain yang dapat mempengaruhi penurunan tingkat konsumsi oksigen dan perubahan tingkah laku ikan air tawar ialah durasi paparan, konsentrasi pencemar, dan spesies. Rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemerintah dan petani untuk mengatasi masalah ini ialah dengan menggunakan insektisida ramah lingkungan seperti Agen Pengendali Hayati (APH) dan dengan menggunakan teknologi bioremediasi seperti aplikasi arang aktif. Selain itu dapat dilakukan monitoring kesehatan lingkungan perairan secara menyeluruh dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Adebayo Adeyinka, & Pierre., L. (2020). *Organophosphates. The National Center for Biotechnology Information*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499860/

Adharini I R, Suharno & Hartika H. (2016). Pengaruh Kontaminasi Insektisida Profenofos Terhadap Fisiologis Ikan Nila Merah (*Oreochromis Sp.). Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 22(2), 365-363

Aitte SA. (2018). Study the Effect of the Duration Exposure for Lethal and Sublethal Concentrations of Organophosphorus Chlorpyrifos Pesticide for Freshwater Fish Common Carp (*Cyprinus carpio)* (Linn) and *Liza abu* (Haeckel) Fishes. *Journal of Chemical and Pharmateucal Research.* 10(6), 48-47.

Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian (2018). *Teknologi Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Residu Pestisida. http://balingtan.litbang.pertanian.go.id/ind/*

Botté, E. S, Jerry, D. R. Codi K, & Smith-K C. (2012). A Effects Of Chlorpyrifos On Cholinesterase Activity And Stress Markers In The Tropical Reef Fish *Acanthochromis Polyacanthus*. *Marine pollution bulletin*. 65(4), 384-389.

Chebbi S & David M. (2010). Respiratory Responses And Behavioural Anomalies Of The Carp *Cyprinus Carpio* Under Quinalphos Intoxication In Sublethal Doses. *Science Asia*. (36), 12-17.

Cheema N, Bhatnagar A & Yadav AS. (2018). Changes in behavioural and locomotory activities of freshwater fish, *Cirrhinus mrigala (Hamilton)* in response to sublethal exposure of Chlorpyrifos. *Journal of Applied and Natural Science*. 10(2). 620-626.

Damayanti & Ghani. (2013). Pengaruh Paparan Sub Lethal Insektisida Diazinon 600 EC terhadap Laju Konsumsi Oksigen dan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Seni dan POM ITS*. 2(2)

Dharmalata & Joshi, N. (2002). Toxicity And Respiratory Responses Of *Heteropneustesfossilis* Exposed To Zinc Chloride And Fly Ash Leachate. *Himalayan J. Environ. Zool*, (161): 87–90

Dube P. N & B.B Hosetti. (2010). Behaviour Surveillance and Oxygen Consumption in The Freshwater Fish *Labeo rohita (Hamilton)* Exposed to Sodium Cyanide. *Biotechnology in Animal Husbandry* 26(2), 91-103

Esti H. (2015). *Parasit Biota Akuatik.* Samarinda: Mulawarman University Press

FAO. (2018). *The State Of World Fishers And Aquaculture. In Fisheries Oceanography*. Rome: Food And Agriculture Organizations Of The United Nations

Fitriadi R B & Putri C A. (2016). Metode-Metode Pengurangan Residu Pestisida pada Hasil Pertanian. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan.* 11(2). 61-71

Fitzgerald GJ & Caza N. (1993). Parental investment in and anadromous population threespine stickleback. *Evology Ecology*. 7(1). 279-286

Hartl M.G.J, Hutchinson S & Hawkins L. (2001). Organotin And Osmoregulation: Quantifying The Effects Of Environmental Concentrations Of Sediment Associated On The Freshwater Adapted European Flounder, *Platichthys Flesus L. J. Exp. Mar.Biol. Ecol*, (256), 267-278

Ihsan, T, Edwin, T & Anggraeni W. (2018). Behavioral responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by sublethal exposure to chlorpyrifos: a case study in Twin Lakes of West Sumatra. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 5 (4), 205-210

Ihsan, T, Edwin, T & Yanti D R. (2019). The Effect of Sublethal Exposure of Chlorpyrifos to Nile Tilapia *(Oreochromis niloticus*): Case Study of Twin Lakes of West Sumatra, Indonesia. *Nature Environment and Pollution Technology*. 18(4), 1399-1403.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Desember 2016). *Modul Bahan Ajar Farmakologi*. Jakarta. http://bppsdmk.kemkes.go.id

Khairuman., & Amri, K. (2003). *Pembenihan dan Pembesaran Gurami.* Jakarta, Indonesia: Agro Media Pustaka.

Koesoemadinata, S. (2000). Toksisitas akut formulasi insektisida endosulfan, klorpirifos, dan klorfluazuron pada tiga jenis ikan air tawar dan udang galah. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 4(3-4): 36 – 4

Landis, W.G & Yu, M-H. (2004). *Introduction to Environmental Toxicology: Molecular Substructures to Ecological Landscapes:* Francis/CRC Press.

Mangkoediharjo & G Samudro. (2009). *Ekoteknologi Teknosfer*. Surabaya: Guna Widya.

Neto C & Steffensen J F. (1997). The Effect of Acute Hypoxia and Hypercania on Oxygen Consumption Of The Freshwater. *Journal Of Fish Biology*, 50, 759-76

Nikam, S. M, Shejule K.B & Patil R.B. (2011). Study of acute toxicity of Metasystox on the freshwater fish, *Nemacheilus botia*, from Kedrai dam in Maharashtra, India. *Biology and Medicine*. 3(4), 13-17

Nweni CD, Ugwu DO, Okek OC, Onyishi GC, Ekeh FK, Atama C & Eneje LO. (2013). Toxicity of the chlorpyrifos-based pesticide Termifos: effects on behaviour and biochemical and haematological parameters of African catfish *Clarias gariepinus*. *African Journal of Aquatic Science*. 1-8

Padmanabha A, Reddy HRV, Muttapa K, Prabhudeva K.N, Rajanna KB, & Chettan N. (2015). Acute Effects Of Chlorpyrifos On Oxygen Consumption And Food Consumption Of Freshwater Fish, *Oreochromis Mossambicus* (Peters). *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(4), 3380-3384

Palanichamy, S. & Baskaran, P. (1995). Selected Biochemical Physiological Responses Of The Fish, *Channastriatus* As Biomonitor To Assess Heavy Metal Pollution In Freshwater Environment. *J. Ecotoxical. Environ. Moni*, 16(2),131-138

Pough, F., Harvey, C. M., Jans, J. B., & Heiser. (2005). *Vertebrate Life Seventh edition*. Pearson Education Inc. USA

Rand & Petrocelli, S. (1985). *Fundamental of Aquatic Toxicology*. Washington: Hemisphere Publishing Co

Reebs, S. G. 2009. *Oxygen and Fish Behaviour*. Canada : Universite de Moncton.

Saad T, El Meadway ZK & Athalah T. (2014). Subacute Intoxication Of A Diazinone60 In Monosex Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus L*. And Its Relation To Economic Losses. *Advance Research in Agriculture and Veterinary Science*. 1(3). 117-126

Sahetapy J & Borut R. (2018). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Deterjen Bubuk Terhadap Frekuensi Bukaan Operkulum Dan Kelangsungan Hidup Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*). *Jurnal Triton* 14(1), 35-40

Santos Miron D, Crestani M, Schetinger MR, Morsch VM, Baldisserotto B, Tierno MA, Moraes G, & Pimentel VI. (2005). Effects Of The Herbicides Clomazone, Quinclorac And Metsulfuron Methyl On Acetylcholinesterase Activity In The Silver Catfish (*Rhamdia Quelen*) (Heptapteridae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 61: 398-403

Sharma, M. (2019). Behavioral Responses in Effect to Chemical Stress in Fish : A review. *International Journal Of Fisheries and Aquatic Studies*. 7(1), 01-05

Sharmila G & Kavitha T. (2018). Behavioural Anomalies In *Cyprinus Carpio* L. Induced By Monocrotophos Intoxication In Sublethal Dose. *Trends in Fisheries Research*. 7(3)

Soemirat J. (2003). *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Srivastava, A.P., Mishra, D., Shrivastava, S., Srivastav, S.K., & Srivastav A.K. (2010). Acute Toxicity and Behavioural Responses of *Heteropneustes fossilis* to An Organophosphate Insecticide, Dimethoate. *Internat. J. Pharma. & Bio Sci*. 1(4):359-363

Tilak KS & Swarna R. (2009). Acute Toxicity Of Nuvan, an Organophospate to Freshwater Fish Ctenopharyngodon idella and Its Effect On Oxygen Consumption. *Journal of Environmental Biology*. 30(6), 1031-1033

USEPA. (2008). Pesticide Poisioning Handbook Section II Insectisides Chapter 5. November 2020. https://www.epa.gov/

Wagiman. (2014). *Pengendali Hayati. Laboratorium Hayati.* UGM: Fakultas Pertanian UGM

Zulfahmi, Muliari, & Mawaddah I. (2017). Toksisitas Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Ikan Nila *(Oreochromis Niloticus Linneus 1758*) dan Ikan Bandeng *(Chanos Chanos Froskall 1755). Agricola.* 7(1). 44-55

Online pada laman http://conference.ft.unand.ac.id/index.php/snstl/snstl4

Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan (SNSTL) IV 2021

Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Studi Kasus di PT Amanah Insanillahia Batusangkar)

Yaumal Arbi[a], Rizki Aziz[b], Rahvy Khairani Darman [c]

[a]Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
[b]Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang
[c]Program Studi Teknik Lingkungan Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang

E-mail: yaumalarbi@ft.unp.ac.id

ABSTRAK

PT Amanah Insanillahia adalah perusahaan yang bergerak dalam industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dengan merek dagang AMIA yang berada di Batusangkar, Sumatera Barat. Industri yang terus berkembang akan memberikan dampak terhadap lingkungan. Untuk dapat mengidentifikasi dan menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan selama proses produksi AMDK tersebut dapat diukur dengan munggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Kajian LCA terdiri dari empat tahapan yaitu goal and scope (Defenisi Tujuan dan Ruang lingkup), inventory analysis (analisis inventori), impact assessment (penilaian dampak) dan interpretation (interpretasi). Analisis LCA dilakukan menggunakan software simaPro, kajian LCA dilakukan pada proses produksi AMDK gelas ukuran 220 ml dan AMDK botol ukuran 600 ml yang terdiri dari proses pembuatan kemasan gelas dan botol AMDK, proses pengisian AMDK dan proses pengemasan AMDK. Kategori dampak yang dihasilkan yaitu global warming, ozone depletion dan acidification. Hasil analisis komparasi dan kontribusi menunjukkan pada produksi AMDK gelas tahapan pengisian AMDK menghasilkan dampak paling besar yaitu 1,116 Pt sedangkan pada produksi AMDK botol tahapan pembuatan kemasan botol menghasilkan dampak yang paling besar yaitu 1,130 Pt. Kategori dampak paling besar yang dihasilkan yaitu global warming. Upaya perbaikan yang dapat dilakukan yaitu mengurangi jumlah listrik yang digunakan dan menggunakan sistem automatisasi pada alat yang digunakan.

Kata kunci : AMDK, AMIA, LCA, dampak, SimaPro

ABSTRACT

PT Amanah Insanillahia is a water bottling company trademark located in Batusangkar, West Sumatra. The industry continues to grow, and have an impact on the environment. To identify and analyze the environmental impacts caused during the bottling production process, measured using the Life Cycle Assessment (LCA) method. The LCA study consists of four stages, namely goal and scope (Definition of Objectives and Scope), inventory analysis (inventory analysis), impact assessment (impact assessment) and interpretation (interpretation). The LCA analysis was carried out using the simaPro software, the LCA study was carried out on the production process of 220 ml glass bottled drinking water and 600 ml bottled bottled drinking water which consisted of the process of making glass and bottled drinking water, the filling process for bottled drinking water and the packaging process for bottled drinking water. The resulting impact categories are global warming, ozone depletion and acidification. The results of the comparison and contribution analysis show that the production of bottled bottled drinking water in the bottle-filling stage produces the largest impact, namely 1.116 Pt, while the bottle-bottle production stage produces the largest impact, which is 1,130 Pt. The category of the greatest impact produced is global warming. Improvement

efforts that can be made are reducing the amount of electricity used and using an automation system on the equipment used.

Keywords : bottled water, AMIA, LCA, effect, SimaPro

PENDAHULUAN

Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) saat ini di Indonesia sedang berkembang pesat, hal ini terlihat dari industri yang bergerak di bidang AMDK cukup banyak. Industri AMDK menunjukan pertumbuhan sebesar 9% pada tahun 2018 sedangkan pada tahun 2019 pertumbuhan industri AMDK meningkat yaitu sebesar 10% (Asosiasi Industri AMDK, 2019). Salah satu industri yang bergerak di bidang ini adalah PT Amanah Insanillahia yang berada di Kecamatan Lima Kaum, Kabupaten Tanah Datar, Batusangkar, Sumatera Barat. Jumlah produksi AMDK yang terus meningkat menimbulkan dampak terhadap lingkungan hidup disekitarnya.

Untuk dapat mengidentifikasi dan menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan selama proses produksi AMDK tersebut dapat diukur dengan munggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA adalah suatu metoda yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh suatu produk selama proses produksi atau aktivitas selama siklus hidupnya dan aliran bahan yang terjadi didalam proses produksi produk tersebut (Drive, 2006).

Dalam tahap pengolahan data untuk mengetahui dampak lingkungan pada prodduksi AMDK gelas 220 ml dan botol 600 ml dibantu dengan menggunakan *software* SimaPro. Metode LCA diatur dalam standar ISO 14040 tahapan-tahapan LCA dimulai dari g*oal and scope*, *inventory analysis*, *impact assessment* dan *interpretation*. Kajian mengenai LCA ini diharapkan dapat memberikan informasi, dan menerapkannya sehingga menghasilkan produk dan industri AMDK yang ramah lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui untuk mengetahui daur hidup proses produksi AMDK gelas 220 ml dan botol 600 ml, menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan dalam proses produksi AMDK, menyusun upaya pengendalian potensi dampak lingkungan yang dapat dilakukan di PT Amanah Insanillahia Batusangkar.

METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan dan dilanjutkan dengan tahapan metode LCA, yaitu:

1. Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal and Scope Definition*)
   Tahapan ini dijadikan sebagai acuan dan batasan yang jelas dalam melakukan penelitian. Tujuannya yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dalam proses produksi AMDK kemasan gelas. Adapun batasan penelitian menggunakan batasan *gate to gate*
2. Analisis Inventarisasi (*Inventory Analysis*)
   Merupakan kegiatan inventarisasi data yang sudah diperoleh. Data yang telah dikumpulkan dilakukan konversi menjadi data produksi untuk 15 kardus AMDK gelas dan 11 kardus AMDK botol 4.
3. Penilaian Dampak (*Impact Assessment*)
   Impact assessment atau penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan dilakukan menggunakan metode EDIP 2003. Akan diperoleh hasil berupa tabel dan diagram yang menunjukkan kategori dampak dan besaran dampak yang dihasilkan. Kategori dampak hanya berfokus kepada *global warming, ozone depletion,* dan *acidification.* Penilaian dampak dilakukan untuk menganalisis jenis dan besaran dampak yang ditimbulkan. Pada langkah ini yang dilakukan yaitu:
   a. *Characterization*
      Pada tahapan c*haracterization* semua zat dikalikan dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif terhadap dampak lingkungan. Tahapan ini mengukur seberapa besar dampak proses produksi pada setiap kategori dampak. *Characterization* ini menggunakan faktor konversi yang disebut dengan *characterization factor* (Putri, H.P., 2017).
   b. *Normalization*
      Normalization merupakan proses analisis data, dimana membandingkan indikator dampak dengan antara kategori dampak (Putri, H.P., 2017).
   c. *Weighting*
      Weighting merupakan proses pembobotan pada kategori dampak yang dihasilkan. Hasil dari kategori dampak akan dikalikan dengan *weighting factor* dan diakumulasi sehingga mendapatkan total nilai dengan satuan yang sudah sama, yaitu Pt.

4. Interpretasi Data (*Interpretation*)
   Hasil analisis dampak yang ditelah dilakukan perlu diinterpretasikan sehingga dapat dilakukan proses perbaikan.
   a. Analisis Kontribusi
      Analisis kontribusi menunjukkan kategori dampak yang memberikan kontribusi paling besar terhadap lingkungan.
   b. Analisis Komparasi
      Analisis komparasi bertujuan untuk membandingkan antar tahapan proses produksi, sehingga bisa diketahui tahapan proses produksi yang menghasilkan dampak paling besar.
   c. Upaya Perbaikan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Tujuan dan Batasan LCA *(Goal and Scope Definition)*

Tujuan kajian *Life Cycle Asessment* (LCA) ini yaitu untuk menentukan, menganalisis dan membandingkan dampak lingkungan utama yang ditimbulkan pada setiap tahapan produksi AMDK gelas 220 ml dan AMDK botol 600 ml. Sedangkan batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Kajian LCA dilakukan terhadap pemanfaatan bahan dan energi yang digunakan dalam setiap tahapan produksi AMDK gelas 220 ml dan AMDK botol 600 ml.
2. Penilaian dampak lingkungan hanya dilakukan pada pembuatan gelas dan botol AMDK, proses pengisian AMDK, dan proses pengemasan AMDK. Seperti yang terlihat Gambar 4.1 bahwa kotak dengan garis putus-putus adalah batasan kajiannya.
3. Limbah padat yang dihasilkan tidak dilakukan penilaian dampak lingkungan karena limbah tersebut dijual ke pihak ketiga.

Analisis Inventarisasi (Inventory Analysis)

a. Proses Pembuatan Gelas AMDK
   Jenis plastik yang digunakan dalam pembuatan gelas AMDK di PT AMIA ini adalah *polypropylene.* Neraca massa pembuatan gelas AMDK dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Neraca massa proses pembuatan gelas AMDK

No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Gulungan plastic (*Polypropylene*)	2,390 kg	2,370 kg	0,020 kg
2	Listrik	3,135 kWh	-	Bising

b. Proses Pembuatan Botol AMDK
   Bahan baku dalam pembuatan botol AMDK ini adalah *preform*, yang merupakan plastik jenis *polyethylene terephthalate.* Proses pembuatan botol plastik ini menggunakan *injection blow mold*, yaitu proses pembuatan yang diawali dengan meniupkan suatu fluida (udara) ke dalam *preform* yang berada dalam *mold* (cetakan) sehingga plastik mengembang sesuai dengan bentukan mold. Neraca massa proses pembuatan botol AMDK ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.Neraca Massa Proses Pembuatan Botol AMDK

No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Preform (*polyethylene terephthalate)*	3,900 kg	3,670	0,230
2	Listrik	10,160 kWh	-	Bising

c. Proses Pengisian AMDK Gelas
   Kemasan gelas diletakan pada di *cup feeder*, selanjutnya berjalan dan dibersihkan oleh *cup cleaner*, baru diisi air secara otomatis lalu dilanjutkan dengan pemasangan *lid* gelas, pemberian kode produksi lalu dipress dan dipotong *lid* gelas tersebut.

   Pada proses pemasangan *lid* sampai dengan proses pengardusan AMDK akan dihasilkan limbah berupa gelas yang bocor, pengisian air yang tidak memenuhi syarat, *lid* yang rusak seperti *lid* tidak terpasang

sempurna ke mulut gelas sehingga *lid* dan gelas tersebut akan menjadi limbah.. Neraca massa proses pengisian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Neraca Massa Proses Pengisian

No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Air	162.500 ml	158.400 ml	4.100 ml
2	Gelas AMDK	2.367,95 g	2.367,792 g	0,158 g
3	*Lid* Gelas	283,080 g	232,560 g	50,52 g
4	Listrik	7.040 kWh	-	bising

d. Proses Pengemasan AMDK Gelas
Setelah proses pengisian air dilanjutkan dengan proses pengemasan, digunakan *conveyor* untuk membawa AMDK gelas tersebut ke meja *packing* dibutuhkan daya sebesar 5,750 kWh. Data *input* dan *output* dalam proses ini dapat dilihat dalam neraca massa pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Neraca Massa Proses Pengemasan AMDK Gelas

No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Air	158.400 ml	158.400 ml	-
2	Gelas AMDK	2.367,792 g	2.367,792 g	-
3	Lid Gelas	232,560 g	232,560 g	-
4	Sedotan	167,256 g	167,256 g	-
5	Pembungkus sedotan	33,120 g	33,120 g	-
6	Kardus	3.751,50 g	3.751,50 g	-
7	Lakban	52,230 g	52,230 g	-
8	Listrik	5,750 kWh	-	Bising

e. Proses Pengisian AMDK Botol
Sebelum dilakukan proses pengisan air, terlebih dahulu botol tersebut di bilas oleh *rinser*, setelah itu dilanjutkan dengan proses pengisian air. Neraca massa proses pengisian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Neraca Massa Proses Pengisian

No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Air	162.500 ml	158.400 ml	4.100 ml
2	Botol AMDK	3.670,010 g	3.665,719 g	4,291 g
3	Tutup Botol	510,500 g	504,0552 g	6,445 g
4	Label	135,805 g	134,9832 g	0,821 g
5	*Seal*	37,590 g	36,960 g	0,630 g
6	Listrik	5,130 kWh	-	Bising

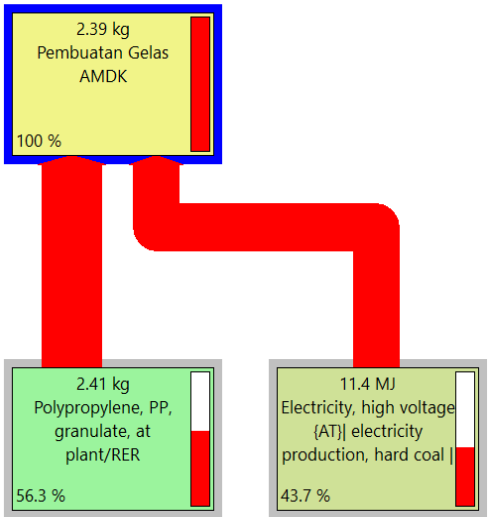
f. Proses Pengemasan AMDK Botol
Pada tahap pengemasan dari tahap pengisian air, maka air yang telah diisi, dan dan sudah melewati sensor akan dibawa ke tempat *packing* dengan menggunakaan *conveyor* untuk membawa AMDK botol tersebut dibutuhkan daya sebesar 6,690 kWh. Data *input* dan *output* dalam proses ini dapat dilihat dalam neraca massa pada Tabel 6.

Hasil Life Cycle Inventory

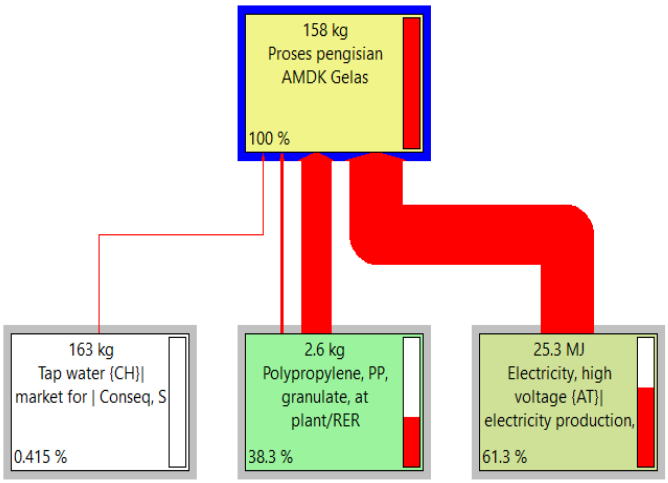
Hasil Pengolahan data yang diperoleh pada tahapan *inventory analysis* akan menghasilkan *network* yang memberikan gambaran hubungan pada setiap proses produksi. Pada *network* didapatkan diagram yang menunjukan keterkaitan antar proses yang dihubungkan oleh garis merah. Garis merah yang terdapat pada diagram yang dihasilkan menunjukkan keterkaitan antar proses. Gambar *network* ini berjalan dari bawah menuju atas, dimana kegiatan yang berada dibawah merupakan pendukung dari adanya kegiatan yang berada diatasnya. Selain itu ketebalan garis merah menandakan beban emisi yang dikeluarkan oleh antar kegiatan. Semakin tebal garis merahnya, maka emisi yang dikeluarkan juga semakin besar. *Network* pada masing-masing proses produksi yang dikaji dapat dilihat pada Gambar 1 sampai 6.

Tabel 6. Neraca Massa Proses Pengemasan AMDK Botol

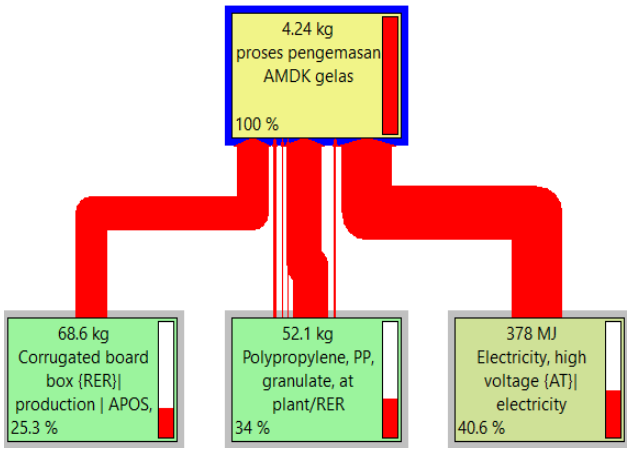
No	Bahan	Input	Output	
			Produk	Buangan
1	Air	158.400 ml	158.400 ml	-
2	Botol AMDK	3665,719 g	3665,719 g	-
3	Tutup Botol	504,0552 g	504,0552 g	-
4	Label	134,9832 g	134,9832 g	-
5	Seal	36,960 g	36,960 g	-
6	Kardus	4.180,990 g	4.180,990 g	-
7	Lakban	40,062 g	40,062 g	-
8	Listrik	6,690 kWh	-	bising



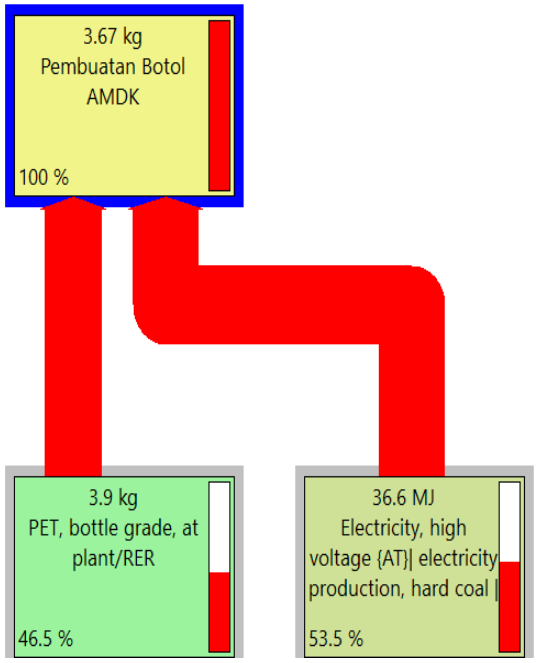
Gambar 1. *Network* Proses Pembuatan Gelas AMDK



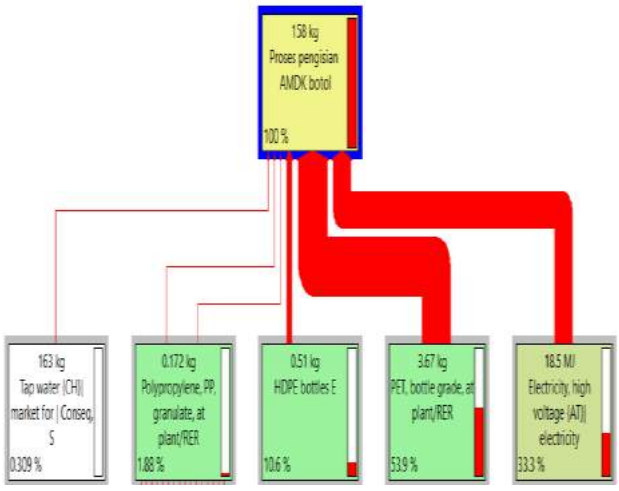
Gambar 2. *Network* Proses Pengisian AMDK Gelas 220 ml



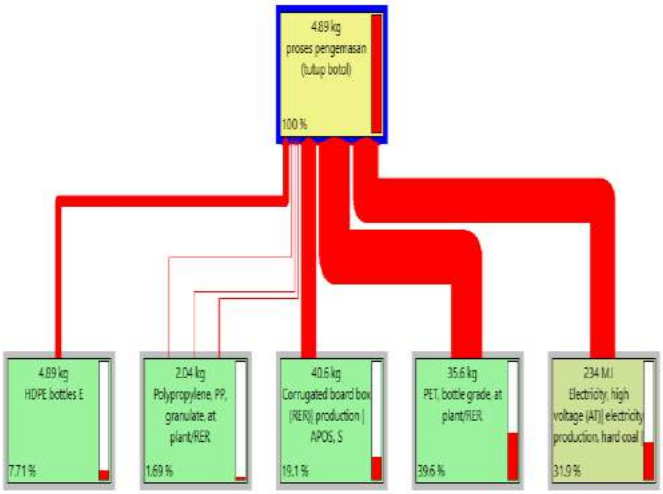
Gambar 3. *Network* Proses Pengemasan AMDK Gelas 220 ml



Gambar 4. *Network* Proses Pembuatan Botol AMDK



Gambar 5. *Network* Proses Pengisian AMDK Botol 600 ml



Gambar 6. *Network* Proses Pengemasan AMDK Botol 600 ml

Penilaian Dampak (Life Cycle Impact Assessment)

Pada tahap penilaian dampak lingkungan ini, digunakan metode EDIP 2003 pada *software simaPro*. Metode EDIP 2003 ini dipilih karena merupakan metode yang cocok bagi perusahaan AMDK. Sehingga setelah dilakukan pengolahan data dengan metode EDIP ini akan diketahui nilai besaran dampak pada setiap proses produksi AMDK. Metode EDIP ini akan menghasilkan 19 *impact*, namun pada penelitian ini akan difokuskan pada *impact* yang sangat berpengaruh yaitu *global warming*, *ozone depletion* dan *acidification*. Untuk penilaian dampak secara keseluruhan nantinya akan dihitung atau dinilai sebanyak 3 kali yaitu sebagai berikut:

- Analisis *Characterization*
- Analisis *Normalization*
- Analisis *Weighting*

Hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)

Proses Pembuatan Gelas AMDK

Tabel 7. Analisis *Characterization* Proses Produksi AMDK Gelas 220 ml

Proses	*Impact category*		
	Global Warming (Kg CO_2eq)	*Ozone Depletion* (Kg CFC^{11}eq)	*Acidification* (m^2)
Pembuatan Gelas AMDK	1,21E-07	6,930	0,280
Pengisian AMDK	1,77E-07	11,000	0,441
Pengemasan AMDK	1,11E-07	5,900	0,005
Total	4,09E-07	23,830	0,726

Berdasarkan Tabel 7 pada Analisis c*haracterization* ini, dapat dilihat bahwa masing-masing kegiatan pada proses produksi AMDK gelas memiliki potensi dampak lingkungan pada masing-masing *category impact*. Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai besaran dampak terbesar yaitu pada *impact ozone depletion.* Akan tetapi nilai ini belum bisa dipastikan menjadi nilai *impact* terbesar, karena satuan antara *impact global warming*, *acidification* dan *ozone depletion* tidaklah sama. Hal ini menandakan bahwa perlu dilakukan Analisis berikutnya untuk mengetahui pada kegiatan dan proses apa nilai *impact* yang paling besar.

Tabel 8. Analisis *Normalization* pada proses produksi AMDK Gelas 220 ml

Proses	*Impact category*		
	Global Warming	*Ozone Depletion*	*Acidification*
Pembuatan Gelas AMDK	5,92E-06	0,005	1,12E-03
Pengisian AMDK	1,08E-04	0,014	1,27E-02
Pengemasan AMDK	8,63E-06	0,0008	7,12E-04
Total	1,23E-04	0,020	0,015

Analisis *normalization* pada proses produksi AMDK gelas 220 ml dapat dilihat pada Tabel 8 bahwa *impact ozone depletion* merupakan besaran dampak terbesar, lalu *acidification* dan besaran dampak terkecil yaitu pada *impact global warming*. Namun perlu dilakukan Analisis selanjutnya yaitu Analisis *weighting* agar didapatkan nilai *impact* dengan satuan yang sama

Tabel 9. Analisis *Weighting* pada proses produksi AMDK Gelas 220 ml

Proses	*Impact category*			Total
	Global Warming (Pt)	*Ozone Depletion* (Pt)	*Acidification* (Pt)	
Pembuatan Gelas AMDK	0,098	0,005	0,010	0,113
Pengisian AMDK	1,116	0,019	0,014	1,149
Pengemasan AMDK	0,015	0,001	0,005	0,021
Total	1,229	0,025	0,029	1,283

Pada proses produksi AMDK gelas 220 ml setelah mamasuki Analisis *weighting* dapat dilihat pada Tabel 4.19 *impact global warming* memiliki nilai paling besar dan *impact acidification* memiliki nilai terkecil. Hasil ini berbeda dari hasil sebelumnya, hal ini disebabkan karena pada Analisis *weighting* satuannya sudah disamakan, yakni dengan satuan (Pt). Dengan nilai satuan yang sama maka dapat disimpulkan bahwa *impact global warming* memiliki dampak terbesar dari proses produksi AMDK gelas 220 ml. Secara keseluruhan pada proses produksi AMDK gelas 220 ml ini, penyumbang *impact* terbesar yaitu tahapan pengisian AMDK, lalu tahapan pembuatan gelas AMDK dan pengemasan AMDK.

Tabel 10. Analisis *Characterization* Proses Produksi AMDK Botol 600 ml

Proses	*Impact category*		
	Global Warming (Kg CO_2eq)	*Ozone Depletion* (Kg CFC^{11}eq)	*Acidification* (m^2)
Pembuatan Botol AMDK	4,00E-04	195,000	9,960
Pengisian AMDK	3,74E-05	14,800	0,711
Pengemasan AMDK	4,20E-05	19,400	0,832
Total	4,79E-04	229,200	11,503

Pada Tabel 10 dapat dilihat bahwa nilai besaran dampak terbesar yaitu pada *impact ozone depletion*, *impact acidification* dan *global warming.* Akan tetapi nilai ini belum bisa dipastikan menjadi nilai *impact* terbesar, karena satuan antara *impact global warming*, *ozone depletion* dan *acidification* tidaklah sama. Hal ini menandakan bahwa perlu dilakukan Analisis berikutnya untuk mengetahui pada kegiatan dan proses apa nilai *impact* yang paling besar.

Tabel 11. Analisis *Normalization* pada proses produksi AMDK Botol 600 ml

Proses	*Impact category*		
	Global Warming	*Ozone Depletion*	*Acidification*
Pembuatan Botol AMDK	0,018	0,025	0,025
Pengisian AMDK	0,002	0,002	0,002
Pengemasan AMDK	0,002	0,003	0,002
Total	0,022	0,030	0,029

Analisis *normalization* pada proses produksi AMDK gelas 220 ml dapat dilihat pada Tabel 11 bahwa *impact ozone depletion* merupakan besaran dampak terbesar. Namun perlu dilakukan Analisis selanjutnya yaitu Analisis *weighting* agar didapatkan nilai *impact* dengan satuan yang sama.

Tabel 12. Analisis *Weighting* pada proses produksi AMDK Botol 600 ml

Proses	*Impact category*			Total
	Global Warming (Pt)	*Ozone Depletion* (Pt)	*Acidification* (Pt)	
Pembuatan Botol AMDK	1,130	0,028	0,033	1.191
Pengisian AMDK	0,115	0,012	0,002	0.129
Pengemasan AMDK	0,130	0,013	0,003	0.146
Total	1,375	0,053	0,038	1.466

Dengan nilai satuan yang sama maka dapat disimpulkan bahwa *impact global warming* memiliki dampak terbesar dari proses produksi AMDK botol 600 ml, tepatnya pada proses pembuatan botol AMDK 600 ml, nilai besaran dampaknya yaitu 1.191 Pt. Secara keseluruhan pada proses produksi AMDK botol 600 ml ini, penyumbang *impact* terbesar yaitu tahapan pembuatan botol, lalu tahapan pengemasan AMDK, dan tahapan pengisian AMDK.

Interpretasi Data

Analisis Komparasi

Analisis komparasi bertujuan untuk membandingkan antar tahapan proses produksi yang menghasilkan dampak paling besar. Hasil analisis komperasi dapat dilihat pada Tabel 13 sampai 17.

Tabel 13. Beban Lingkungan Produk AMDK Gelas 220 ml dan Botol 600 ml terhadap *Global Warming*

Tahapan Kegiatan	Satuan	Besaran Dampak	
		AMDK Gelas	AMDK Botol
Pembuatan Kemasan AMDK	Kg CO_2eq	1,21E-07	4,00E-04
Pengisian AMDK		1,77E-07	3,74E-05
Pengemasan AMDK		1,11E-07	4,20E-05
Total		4,09E-07	4,79E-04

Tabel 14. Beban Lingkungan Produk AMDK Gelas 220 ml dan Botol 600 ml terhadap *Ozone Depletion*

Tahapan Kegiatan	Satuan	Besaran Dampak	
		AMDK Gelas	AMDK Botol
Pembuatan Kemasan AMDK	Kg CFC^{11}eq	6,930	195,000
Pengisian AMDK		11,000	14,800
Pengemasan AMDK		5,900	19,400
Total		23,830	229,200

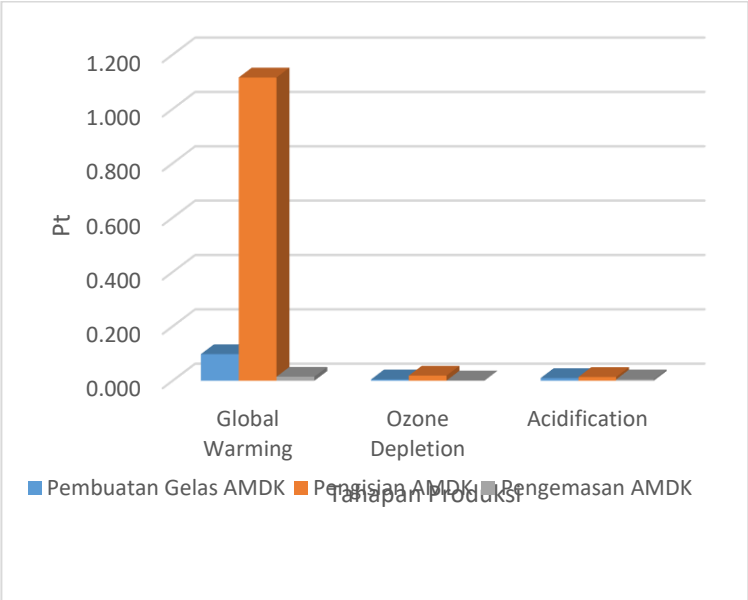
Tabel 15. Beban Lingkungan Produk AMDK Gelas 220 ml dan Botol 600 ml terhadap *Acidification*

Tahapan Kegiatan	Satuan	Besaran Dampak	
		AMDK Gelas	AMDK Botol
Pembuatan Kemasan AMDK	m^2	0,280	9,960
Pengisian AMDK		0,441	0,711
Pengemasan AMDK		0,005	0,832
Total		0,726	11,503

Secara keseluruhan beban lingkungan yang dihasilkan pada proses produksi AMDK gelas dan AMDK botol terhadap *impact global warming, ozone depletion dan acidification* setelah semua satuannya disamakan dengan satuan (Pt) dapat dilihat pada Tabel 16 sampai 17 dan Gambar 7 sampai 8.

Tabel 16. Beban Lingkungan Produk AMDK Gelas 220 ml terhadap *Global Warming, Ozone Depletion dan Acidification*

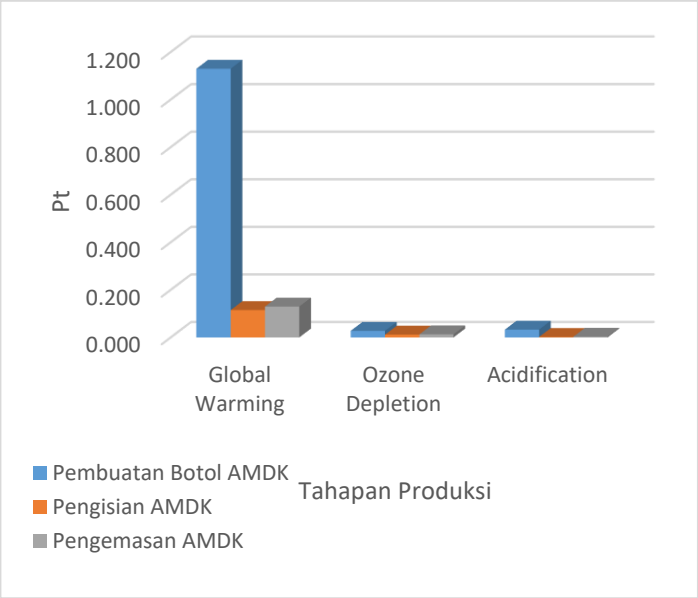
Proses	*Impact category*			Total
	Global Warming (Pt)	*Ozone Depletion* (Pt)	*Acidification* (Pt)	
Pembuatan Gelas AMDK	0,098	0,005	0,010	0,113
Pengisian AMDK	1,116	0,019	0,014	1,149
Pengemasan AMDK	0,015	0,001	0,005	0,021
Total	1,229	0,025	0,029	1,283



Gambar 7. Beban Lingkungan dan Potensi Dampak Produk AMDK Gelas

Tabel 17. Beban Lingkungan Produk AMDK Gelas Botol 600 ml terhadap *Global Warming, Ozone Depletion dan Acidification*

Proses	*Impact category*			Total
	Global Warming (Pt)	*Ozone Depletion* (Pt)	*Acidification* (Pt)	
Pembuatan Botol AMDK	1,130	0,028	0,033	1,191
Pengisian AMDK	0,115	0,012	0,002	0,129
Pengemasan AMDK	0,130	0,013	0,003	0.146
Total	1,375	0,053	0,038	1,466



Gambar 10. Beban Lingkungan dan Potensi Dampak Produk AMDK Botol

Pada Tabel 16 sampai 17 dan Gambar 7 sampai 8 terlihat bahwa:

- Beban lingkungan tahapan pembuatan kemasan AMDK, untuk kemasan plastik AMDK botol lebih besar dari pada AMDK gelas. Pada pembuatan kemasan AMDK botol beban lingkungannya sebesar 1,191 Pt dan pada AMDK gelas sebesar 0,113 Pt.
- Beban lingkungan pada tahapan pengisian AMDK, untuk tahapan pengisian AMDK gelas lebih besar dari AMDK botol. Pada tahapan pengisian AMDK gelas beban lingkungannya sebesar 1,149 Pt dan pada AMDK botol sebesar 0,129 Pt.
- Beban lingkungan tahapan pengemasan AMDK, untuk tahapan pengemasan AMDK botol lebih besar dari pada AMDK gelas. Pada tahapan pengemasan AMDK botol beban lingkungannya sebesar 0,146 Pt dan pada AMDK gelas sebesar 0,021 Pt. Secara keseluruhan proses produksi AMDK botol memiliki beban lingkungan yang paling besar.

Analisis Kontribusi

Analisis kontribusi menunjukan kategori dampak yang memberikan kontribusi paling besar terhadap lingkungan.

Analisis Kontribusi Daur Hidup AMDK Gelas

Pada Tabel 13 sampai dengan Tabel 17 menunjukkan bahwa:

1. Beban lingkungan paling besar yang diberikan oleh AMDK gelas adalah pada tahapan pengisian AMDK yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik.
2. Beban lingkungan terbesar kedua ditempati oleh tahap pembuatan gelas AMDK. Faktor dominan yang menyebabkan hal ini adalah terdapatnya produk gagal yang disebabkan oleh gelas yang bocor atau tidak memenuhi standar.
3. Beban lingkungan untuk urutan terakhir yaitu tahap pengemasan AMDK.
4. Dampak terbesar terjadi terhadap kategori dampak *global warming* yaitu pada tahapan pengisian AMDK gelas nilainya sebesar 1,116 Pt yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik. Karena pada tahapan pengisian AMDK gelas ini menggunakan energi listrik lebih besar dibandingkan tahapan lainnya. Serta sumber listrik yang digunakan yaitu PLTU yang menggunakan batu bara sebagai sumber energy untuk memanaskan air. Emisi yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik PLTU ini yaitu seperti emisi karbon dioksida, karbon monoksida, dinitrogen monoksida, nitrogen oksida, metana dan sulfur dioksida. Senyawa yang dihasilkan tersebut merupakan penyebab terjadinya *global warming*.

Analisis Kontribusi Daur Hidup AMDK Botol

Pada Tabel 13 sampai dengan Tabel 17 menunjukkan bahwa:

1. Beban lingkungan paling besar yang diberikan oleh AMDK botol adalah pada tahapan pembuatan botol AMDK yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik.
2. Beban lingkungan kedua yang diberikan oleh AMDK botol adalah pada tahapan pengemasan AMDK.
3. Beban lingkungan terakhir ditempati oleh tahap pengisian AMDK gelas. Faktor dominan yang menyebabkan hal ini adalah produk gagal yang disebabkan karena produk yang tidak sesuai standar seperti botol yang lecet dan bocor, serta label dan *seal* yang rusak pada proses pengepresan.
5. Dampak terbesar terjadi terhadap kategori dampak *global warming* yaitu pada tahapan pembuatan botol AMDK, yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik. Karena pada tahapan pembuatan botol AMDK ini menggunakan energi listrik lebih besar dibandingkan tahapan lainnya. Emisi yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik yaitu seperti emisi karbon dioksida, karbon monoksida, dinitrogen monoksida, nitrogen oksida, metana dan sulfur dioksida. Senyawa yang dihasilkan tersebut merupakan penyebab terjadinya *global warming*.

Analisis Perbaikan

Setelah dilakukan analisis komparasi dan analisis kontribusi, maka dilanjutkan dengan analisis perbaikan. Analisis perbaikan dijadikan dasar untuk mencegah atau mengurangi dampak.

Usulan perbaikan yang bisa dilakukan pada proses produksi AMDK gelas 220 ml dan AMDK botol 600 ml berdasarkan urutan dampaknya dapat diusulkan sebagai berikut:

1 Melakukan pengurangan jumlah energy listrik yang digunakan.
Dampak yang ditimbulkan disebabkan emisi yang dihasilkan pada penggunaan energy listrik. Oleh karena itu untuk mengurangi dampak yang akan ditimbulkan, perlu dilakukan pengurangan jumlah energy listrik pada tahapan pembuatan botol AMDK 600 ml. Hal ini dilakukan karena pada kegiatan proses pembuatan botol AMDK ini menimbulkan *impact* yang paling besar dibandingkan dengan kegiatan proses produksi AMDK lainnya. Hal ini disebabkan karena penggunaan energy listrik yang tinggi. Sehingga dengan melakukan pengurangan energy listrik ini sekitar 5%, dapat mengurangi emisi yang dihasilkan dan dampak yang dihasilkan juga berkurang. Serta melakukan penggantian sumber energy listrik dari PLTU menjadi PLTA sehingga lebih ramah lingkungan.

2 Penggunaan sistem automatisasi
Dampak terbesar kedua yaitu pada tahapan pengisian AMDK gelas 220 ml. Hal ini disebabkan oleh penggunaan energi listrik yang cukup tinggi. Sehingga dengan menggunakan sistem automatisasi pada alat yang digunakan, ketika tidak ada produk yang dijalankan mesin akan mati dengan otomatis. Penggunaan sistem automatisasi ini digunakan agar dapat mengurangi penggunaan energy yang tidak diperlukan selama proses sehingga dampak yang dihasilkan juga berkurang.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daur hidup proses produksi AMDK gelas 220 ml dan AMDK botol 600 ml yaitu tahapan pembuatan kemasan AMDK, tahapan pengisian AMDK dan tahapan pengemasan AMDK
2. Dampak lingkungan yang ditimbulkan yaitu *global warming*, *ozone depletion* dan *acidification.*
    - Pada proses produksi AMDK gelas 220 ml, kategori dampak terbesar adalah *global warming* tepatnya pada tahapan pengisian AMDK yaitu sebesar 1,116 Pt yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik
    - Pada proses produksi AMDK botol 600 ml, kategori dampak terbesar yaitu *global warming* tepatnya pada tahapan pembuatan botol AMDK yaitu sebesar 1,130 Pt yang disebabkan oleh penggunaan energi listrik
3. Upaya pengendalian dampak lingkungan yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan penghematan atau pengurangan energi listrik, menggunakan sistem automatisasi pada alat yang digunakan, sehingga ketika tidak ada produk yang dijalankan mesin akan mati dengan otomatis. Penggunaan sistem automatisasi ini digunakan agar dapat mengurangi penggunaan energi yang tidak diperlukan selama proses serta mengganti sumber energi listrik yang digunakan dengan yang lebih ramah lingkungan sehingga emisi dan dampak yang dihasilkan juga berkurang

DAFTAR PUSTAKA

Arikunto. 2006. Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek. Jakarta: PT. Rineka Cipta.

Aziz, R. 2005. Life Cycle Design pada Produk Air Minum Dalam Kemasan (Studi Kasus PT. AMIA). Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Chauhan, M. K., Varun, Chaudhary, S., Kumar, S., Samar. 2011. *Life Cycle Assessment of Sugar Industry: A review Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3445-3453.

Drive RB. 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, National Risk Managemen Research Labolatory Office of Research and Development U.S Environmental Protection Agency, Ohio

Finkbeiner, M. 2013. From the 40s to the 70s- *The future of LCA in the ISO 14000 Family. International Journal of Life Cycle Assessmen*t, 18(1),1-4

International Organization for Standardization. 1997. ISO 14040 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework. Switzerland.

Giandadewi, D.S., et al. 2017. *Potensi Dampak Lingkungan Dalam Sistem Produksi Minyak Kelapa Sawit Mentah (Crude Palm Oil-CPO) dengan Mengggunakan Metode Life Cycle Assessment (Eco-Indicator 99) (Studi Kasus : PT Sinar Mas Agro Resources and Technology TBK)*. Jurnal Teknik Lingkungan. 2.5

Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia PP No. 82/2001 Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta

Pemerintah Republik Indonesia. 2003. Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia Nomor: 702/MPP/Kep/11/2003 tentang Persyaratan Teknis Industri Air Minum dalam Kemasan dan Perdagangannya. Jakarta

Pre. 2014. All About SimaPro 8. sebagai Alat Prediksi Reduksi Pencemar Lingkungan (Studi Kasus PT Semen Gresik Tbk.). Jurnal ITS. Surabaya

Putri, H.P., 2017. *Life Cycle Assessment* (LCA) Emisi pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin dengan Pendekatan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Rachmat, H. 2019. Asosiasi Pengusaha Air Minum Dalam Kemasan (Aspadin). Jakarta

Santoso, Haryo dan Ronald., 2012. Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup Pada Model Alat Potong Kuku Dengan Limbah Kayu di CV. Piranti Works. Universitas Diponegoro.Semarang.

Syamsul, M. 2010. Studi Tentang Kualitas Fisik Air Minum dalam Kemasan (AMDK) Sebelum dan Sesudah Terpapar oleh Cahaya Matahari di Kota Makassar. UIN Alauddin Makassar.

Yani, M., *et al*. 2014. Penilaian Daur Hidup Botol Gelas Pada Produk Minuman Teh. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian.* 24. 2. 166-178.