

dreamlitera

**MODEL FISIK PENGOLAHAN LIMBAH *BLACKWATER*
PADA *SEPTICTANK* KOMUNAL**

VOLUME 1

Dr.Ir. Lies Kurniawati Wulandari,MT.

**Dream Litera Buana
Malang 2019**

**MODEL FISIK PENGOLAHAN LIMBAH BLACKWATER
PADA SEPTICTANK KOMUNAL**

VOLUME 1

Penulis:

Dr.Ir. Lies Kurniawati Wulandari,MT.

©Dream Litera Buana
Malang 2019
66 halaman, 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-602-5518-78-2

Diterbitkan oleh:

CV. Dream Litera Buana

Perum Griya Sampurna, Blok E7/5
Kepuharjo, Karangploso, Kabupaten Malang

Email: dream.litera@gmail.com
Website: www.dreamlitera.com
Anggota IKAPI No. 158/JTI/2015

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau
seluruh isi buku ini dengan cara apapun,
tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan pertama, Juni 2019

Distributor:

Dream Litera Buana

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohim.

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena barokah, rahmad dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul **“MODEL FISIK PENGOLAHAN LIMBAH BLACKWATER PADA SEPTICTANK KOMUNAL”**. Buku ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa S-3 yang sedang mencari kebaruan untuk menyusun sebuah disertasi di bidang Teknik Sipil Sumber Daya Air.

Buku ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan beberapa waktu yang lalu. Penelitian dengan menggunakan limbah domestik *blackwater* dialirkan pada sebuah kotak filter yang berisikan kerikil dan kotak kedua berisikan arang batok kelapa dan kotak ketiga berisikan pasir cor, hal itu dilakukan untuk mengamati hasil yang akan dicapai.

Jika hasil filter tunggal tidak tercapai, maka sebaiknya dilakukan filter bertingkat dari ke tiga kotak filter tersebut. Adapun susunan filter dari halus ke kasar atau kasar ke halus harus melalui uji coba pada penelitian di laboratorium.

Filter bertingkat diharapkan sudah dapat memenuhi hasil yang dicapai, jika belum tercapai maka penelitian akan dilanjutkan dengan menggunakan *wetland* yang diambil dari dua buah tanaman sebagai pembanding guna menaikkan kualitas air buangan dengan parameter yang terpilih yang berpedoman pada air klas 4 atau standart air pertanian.

Penulis sadar bahwa penelitian ini masih bisa disempurnakan atau dilanjutkan karena keterbatasan waktu maka kritik dan saran masih diperlukan guna kesempurnaan tulisan ini. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih dengan harapan buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat secara luas serta memberikan inspirasi bagi pembaca.

Malang, 27 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar isi.....	v
Daftar tabel	vii
Daftar gambar	viii
PENDAHULUAN.....	1
A. Limbah Rumah Tangga	1
B. <i>Blackwater</i>	4
SEPTIC TANK KOMUNAL	7
A. <i>Septic Tank</i>	7
B. <i>Septic Tank</i> Komunal	8
C. Pembuangan Limbah dari <i>Septic Tank</i> Komunal	10
MODEL FISIK PENGOLAHAN LIMBAH.....	13
A. Kalibrasi.....	15
B. Verifikasi.....	16
C. Validasi	17

dreamlitera

D. Analisis Statistik	17
KUALITAS AIR	25
A. Standar Menurut Peraturan Pemerintah	25
FILTER DAN WETLAND.....	31
A. Filter	31
1. Kerikil	31
2. Arang Batok Kelapa.....	33
3. Pasir Cor	35
B. Tanaman Air sebagai <i>Wetland</i>	37
1. Akar Wangi.....	38
2. <i>Cattail</i>	40
C. Parameter Limbah.....	42
1. Suhu	42
2. Tingkat Keasaman.....	43
3. Padatan Tersuspensi.....	44
4. Padatan Terlarut.....	44
5. Kebutuhan Oksigen Biologi.....	45
6. Kebutuhan Oksigen Kimia	46
Daftar pustaka.....	47
Biodata Penulis	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik air limbah domestik yang belum diolah.....	26
Tabel 2. Kriteria Air Berdasarkan Kelas	27
Tabel 3. Tabel Gradasi Agregat Kasar Berdasarkan SNI-03-2834- 2000	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Septic tank Komunal Tlogomas (2016).....	9
Gambar 2. Denah IPAL Komunal Tlogomas Kota Malang.....	11
Gambar 3. Model Fisik Pengolahan Limbah di Laboratorium.....	13
Gambar 4. Box filter 3 kotak dan wetland 2 kotak.....	14
Gambar 5. Arang batok kelapa	34
Gambar 6. Pasir Cor	36
Gambar 7. Tanaman Akar wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i>)	38
Gambar 8. Tanaman Cattail (<i>Typha angostifolia</i>).....	41

PENDAHULUAN

A. Limbah Rumah Tangga

Limbah bahan buangan dari aktivitas manusia yang sudah tidak memiliki nilai dan daya guna. Jenis limbah cair pada dasarnya ada 2 yaitu limbah industri dan limbah rumah tangga. Limbah cair yang berasal dari aktifitas rumah tangga umumnya hanya mengandung zat organik, sehingga hanya membutuhkan pengolahan yang sederhana untuk menghilangkan polutan yang terdapat di dalamnya (Yasa, 2010). Limbah cair atau air buangan merupakan sisa air dibuang yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya, dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup. *Domestic wastewater* (Limbah cair domestik) meliputi limbah cair dari dapur, kamar mandi, laundry dan sejenisnya.

Limbah cair sebagai air yang mengandung bahan pencemaran organik maupun yang berasal dari:

- 1) Kegiatan rumah tangga; seperti aktifitas mandi, mencuci pakaian, WC dan memasak.

- 2) Kegiatan komersil seperti hotel, resort, villa, rumah peristirahatan, perkantoran dan supermarket yang menghasilkan limbah cair.
- 3) Kegiatan industri yang menghasilkan air limbah seperti limbah cair dari industri, pertanian, peternakan, dan lain-lain yang menghasilkan limbah cair.
- 4) Air hujan yang turun melalui atap rumah, saluran drainase dan permukaan jalan.

Air limbah yang paling banyak dibuang dan mencemari sungai adalah air limbah yang berasal dari limbah rumah tangga (limbah domestik). Sekitar 50-75% dari beban organik yang berada di dalam sungai berasal dari limbah domestik (Nelwan, 2011). Akibat dari pembuangan limbah yang tidak berada pada tempatnya ini akan mengakibatkan munculnya berbagai macam penyakit saluran pencernaan, penyakit saluran pernapasan, dan penyakit lainnya. Jenis air limbah sendiri ada dua, yaitu air limbah *blackwater* dan air limbah *greywater* (Muti, 2011). Air limbah *blackwater* berasal dari kotoran manusia yang perlu pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai karena mengandung bakteri patogen. Pada umumnya *blackwater* ditampung kedalam *septic tank* atau langsung disalurkan ke *sewage system* untuk kemudian diolah dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah domestik (IPAL). Untuk air limbah *greywater* berasal dari kegiatan dapur (tempat cuci piring), air bekas mencucipakaian, dan air mandi yang biasanya langsung dibuang ke saluran drainase (selokan) atau ke perairan umum (sungai).

Penelitian Haandel et al. (2012), limbah cair domestik yang dikenal sebagai *black water* merupakan limbah cair yang berasal dari toilet. Sedangkan yang dikenal sebagai *grey water* merupakan limbah cair yang berasal dari dapur, laundry dan kamar mandi. Austin dan Yu (2016) menambahkan bahwa sebanyak 33,3% limbah cair dari rumah pada umumnya berasal dari toilet, 33,33% dari kegiatan mandi, dan sisanya berasal dari aktifitas mencuci baik itu makanan, minuman maupun pakaian. Dilihat dari komponen penyusunnya, limbah cair rumah tangga tersusun atas karbohidrat, lemak, protein, urea, garam fosfat, bakteri dan logam berat. Berdasarkan sifat limbah, maka proses pengolahan limbah cair dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1) Proses Fisika

Proses ini dilakukan secara mekanik tanpa penambahan bahan kimia. Proses ini meliputi penyaringan, pengendapan dan pengapungan.

2) Proses kimia

Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan bahan kimia untuk menetralsir bahan pencemar.

3) Proses Biologi

Proses ini menghilangkan polutan menggunakan kerja mikro-organisme. Pada kenyataanya proses pengolahan ini tidak berjalan sendiri tapi sering harus dilaksanakan dengan kombinasi.

B. *Blackwater*

Air limbah rumah tangga terdiri dari 3 fraksi penting, yaitu tinja (*feces*), berpotensi mengandung mikroba pathogen, air seni (*urine*), umumnya mengandung Nitrogen (N) dan Fosfor, serta kemungkinan kecil mikroorganisme yang biasa disebut *blackwater*. *Blackwater* merupakan salah satu limbah cair domestik yang memerlukan pengolahan yang tepat agar nantinya dapat dibuang tanpa menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan.

Blackwater dikenal dengan kandungan bahan organik yang tinggi, sehingga apabila diolah dengan baik, luaran yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan sebagai air untuk keperluan irigasi. Apabila hasil pengolahan limbah *blackwater* masih belum memenuhi standar untuk air irigasi pertanian, maka akan berdampak negatif bagi tanaman. Hal ini berkaitan dengan masih tingginya kandungan bahan organik dan polutan yang terkandung di dalamnya.

C. *Greywater*

Greywater merupakan bagian dari limbah cair domestik yang proses pengalirannya tidak melalui toilet, misalnya seperti air bekas mandi, air bekas mencuci pakaian, dan air bekas cucian dapur. Sekitar 60 – 85% dari total volume kebutuhan air bersih akan menjadi limbah cair domestik (Metcalf, 1991). Bagian dari *greywater* adalah sekitar 75% dari total volume limbah cair domestik (Hansen & Kjellerup dalam Eriksson et al, 2001). Penanganan *greywater* di Indonesia saat ini adalah langsung dibuang ke saluran drainase tanpa pengolahan sebelumnya).

dreamlitera

Karakteristik greywater pada umumnya banyak mengandung unsur nitrogen, fosfat, dan potasium (Lindstrom, 2000). Unsur-unsur tersebut merupakan nutrien bagi tumbuhan, sehingga jika greywater dialirkan begitu saja ke badan air permukaan maka akan menyebabkan eutrofikasi pada badan air tersebut.

Greywater yang merupakan air bekas cucian dapur, mesin cuci dan kamar mandi. *Greywater* sering juga disebut dengan istilah *sullage*. Sampai awal 1900-an limbah cair dari kota (*municipal wastewater*) yang berasal dari pemukiman, komersial, industri dan urban run off tidak diolah terlebih dahulu, sehingga masuk langsung ke perairan termasuk laut. *Greywater* adalah air limbah yang berasal dari kegiatan mandi dan cuci. Karakteristik *Greywater* adalah memiliki zat organik yang cukup tinggi dan *greywater* dari dapur memiliki kandungan organik yang lebih tinggi dibandingkan *greywater* dari kamar mandi

dreamlitera

SEPTIC TANK KOMUNAL

A. Septick Tank

Tangki septik (*Septic Tank*) adalah suatu kolam atau bak bersekat-sekat sehingga terbagi-bagi dalam beberapa ruang, biasanya terdapat di bawah tanah. Tangki septik merupakan tempat pembuangan yang dibuat tangki ini dibuat dengan bahan yang kedap air sehingga air dalam tangki septik tidak dapat meresap ke tanah. Tangki septik berguna untuk pembuangan kotoran, tinja, dan sebagainya, yang tidak boleh disalurkan ke saluran pembuangan umum karena kekotorannya, dimaksudkan untuk menjaga kesehatan dan kebersihan lingkungan. Dalam tangki septik, air pembuangan dan bahan padat yang ikut diberi kesempatan membusuk dan musnah secara alamiah. Air yang keluar karena berlebih dibuang ke sumur septik yang dapat meneruskannya ke air tanah tanpa mengganggu kebersihan air tanah. Jika tidak diguyur dengan obat pembasmi relik, untuk jangka waktu lama, tangki septik tidak perlu dikuras.

Tangki septik digunakan untuk mengolah limbah cair rumah tangga skala individual. Tangki septik terdiri dari bak pengendap, ditambah dengan suatu filter yang diisi kerikil atau

pecahan batu untuk menguraikan limbah. Penguraian zat organik dalam limbah cair atau tinja dilakukan oleh bakteri anaerobik. Bak pengendap biasanya terdiri dari dua ruang, yang pertama berfungsi sebagai bak pengendap pertama, pengurai lumpur (*sludge digestion*) dan penampung lumpur. Sedangkan ruang kedua berfungsi sebagai pengendap kedua dan penampung lumpur yang tidak terendapkan di ruang pertama dan luapan air dari bak pengendap dialirkan ke media filter dengan arah aliran dari bawah ke atas.

B. *Septic tank* Komunal

Septic tank Komunal atau yang lebih sering disebut IPAL komunal adalah *septictank* raksasa yang dibangun dengan teknologi yang lebih baik dengan menggunakan potensi kinetik dan menggunakan filter 5-7 lapis (*Anaerobic Baffle Reactor*) dapat mengubah limbah cair dan keluarannya diharapkan menjadi air sesuai standard baku mutu limbah domestik yang layak untuk disalurkan ke sungai, kolam ataupun area persawahan. Salah satu contoh pembuangan air limbah *septictank* komunal di Tlogomas kota Malang. Limbah tersebut setelah melalui endapan pada beberapa kolam kemudian langsung dibuang ke sungai.



Gambar 1.

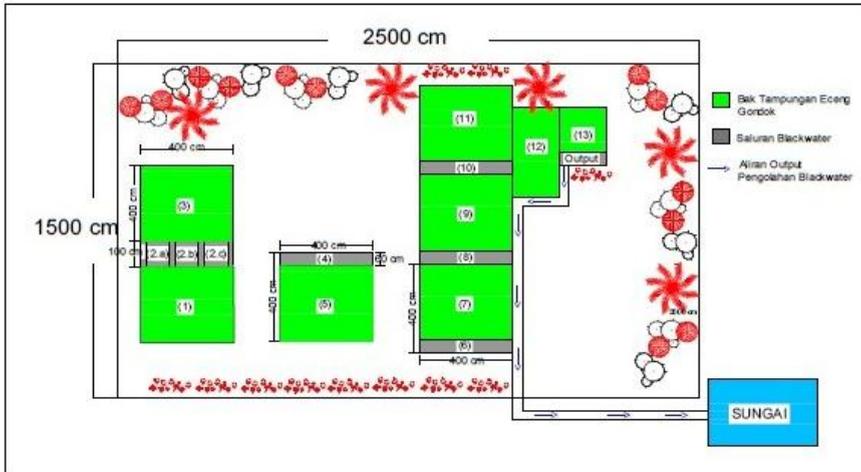
Septic tank Komunal Tlogomas (2016)

IPAL Komunal Kelurahan Tlogomas atau MCK Terpadu terletak di Kelurahan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, tepatnya disamping aliran sungai Brantas. Sejak puluhan tahun, warga RT 03 RW 07 Kelurahan Tlogomas, Kota Malang telah menerapkan perubahan perilaku kebersihan, yakni kebiasaan MCK ke sungai dirubah menjadi ke MCK. Pada mulanya, IPAL Komunal Tlogomas dikenal sebagai “tangki AG” atau Tangki Agus Gunarto, tepatnya sejak tahun 1986. Agus Gunarto merupakan pendiri IPAL Komunal Tlogomas dan telah mendapatkan penghargaan *World Technology Award* pada tahun 2001 dari sebuah kompetisi internasional di London, Inggris yang

diadakan oleh *World Technology Network* (WTN). IPAL Komunal Tlogomas memanfaatkan lahan seluas 25 m X 15 m untuk menampung limbah rumah tangga dari sebuah perkampungan di yang dihuni oleh 120 KK. Adapun konsep dan penataan yang ada sudah cukup bagus.

C. Pembuangan Limbah Dari Septicktank Komunal

Limbah cair yang berasal dari seluruh rumah yang terdapat di perkampungan Tlogomas disalurkan dengan pipa dan bermuara di IPAL Komunal yang berada tepat di belakang kampung. Berdasarkan hasil pengamatan, kawasan IPAL Komunal Tlogomas terlihat bersih dan dilengkapi dengan berbagai tanaman dan tempat duduk yang justru menjadikannya terlihat seperti taman. Jenis tanaman yang terdapat di kawasan IPAL Komunal Tlogomas antara lain jeruk, belimbing, pepaya, cabai, serta tanaman bunga pucuk merah dan aneka jenis puring. Penataan yang bagus, tertutup dan asri ini menjadikan IPAL Komunal Tlogomas jauh dari kesan kumuh. IPAL memiliki sembilan kolam penampungan limbah *blackwater* yang ditumbuhi dengan tanaman eceng gondok. Adapun *septic tank* ditempatkan di bagian sudut IPAL.



Gambar 2.
Denah IPAL Komunal Tlogomas Kota Malang

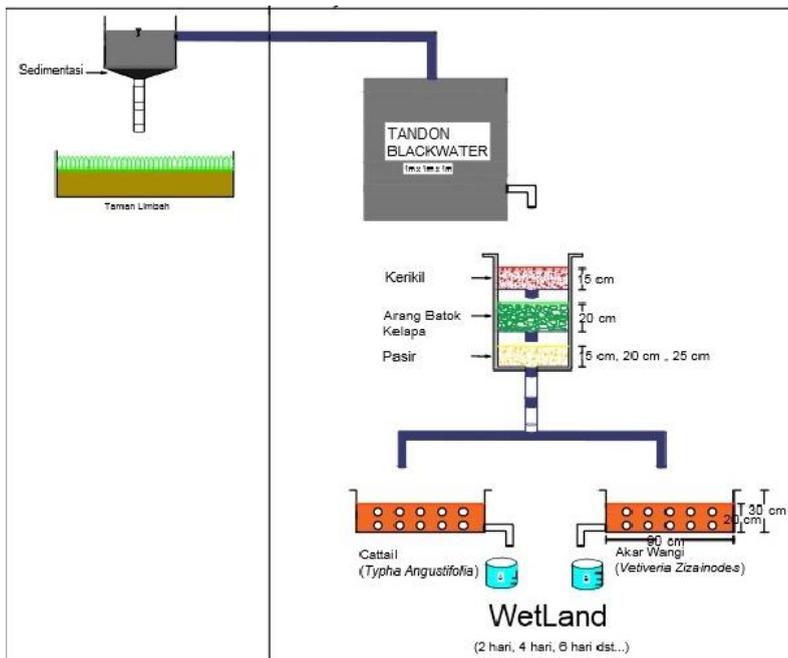
Sistem kerja IPAL komunal Tlogomas cukup sederhana, yakni menggunakan sistem pipa dan berbasis hukum gravitasi dan Archimedes. Prinsipnya adalah menampung dan mengolah limbah cair dari warga hingga akhirnya memenuhi standar dan layak dibuang ke sungai. Limbah *blackwater* yang telah terkumpul di bak induk nantinya akan disalurkan ke tangki penghancur dan diproses dengan metode filtrasi. Limbah kemudian disalurkan ke kolam endapan secara berurutan hingga melalui 9 kolam. Adapun kolam kolam terakhir adalah kolam yang difungsikan sebagai media penjernihan air. Sebagian besar proses pengolahan pada IPAL komunal bersifat terbuka, kecuali pada pipa saluran dan bak penghancur yang diposisikan tertutup. Adanya berbagai tanaman di IPAL Komunal dirasa membantu memperindah suasana IPAL yang sejatinya adalah tempat pengolahan limbah. Selain sejuk,

dreamlitera

kondisi ipal juga tidak begitu berbau. Pengolahan yang baik di IPAL Komunal Tlogomas juga menjadikan masyarakat bisa membangun sumur tanpa takut akan terjadinya pencemaran air.

MODEL FISIK PENGOLAHAN LIMBAH

Model fisik adalah suatu tiruan peristiwa alamiah atau prototipe pada lapangan yang dibentuk dengan menggunakan model fisik di laboratorium. Model bangunan direncanakan dengan menggunakan perbandingan skala model 1 : 3 . Konsep model fisik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.
Model Fisik Pengolahan Limbah di Laboratorium

Model terdiri dari 3 kotak yang digunakan sebagai filter yang berisi kerikil, arang dan pasir dengan susunan dari kasar ke halus dengan tujuan supaya TSS dapat tersaring diatas sehingga aliran air ke bawah bisa lebih jernih. Adapun ukuran masing-masing kotak adalah (20 x 30 x 60) cm, (25 x 30 x 60) cm (30 x 30 x 60) cm dari ukuran di lapangan (30x30x170) cm dengan skala kedalaman 1 : 3



Gambar 4.

Box filter 3 kotak dan *wetland* 2 kotak

Untuk *wetland* dibuat sebanyak 2 kotak dengan tujuan dapat membandingkan antar dua tanaman tersebut yaitu tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan Cattail (*Typha angustifolia*). Kotak tersebut dengan ukuran model (120 x 110 x 60) cm sebanyak 2 buah dari ukuran lapangan (370 x 340 x 170) cm untuk tanaman

akar wangi dan *cattail*. Pada model fisik ini menggunakan debit limbah yang diambil dari IPAL komunal Tlogomas dengan 120 KK, sehingga debit aktual juga dimodelkan karena menyesuaikan kondisi tempat laboratorium yang ada. Spesifikasi teknis model fisik pengolahan limbah adalah sebagai berikut:

- Beton dengan mutu K_{125} (1 PC : 2 Ps : 3Kr)
- Kaca penduga (untuk melihat level air)
- Kran dengan diameter $\frac{3}{4}$ "
- Cat dengan warna hitam

A. Kalibrasi

Kalibrasi mempunyai makna pengujian atau pencocokan. Secara umum dapat didefinisikan sebagai pengujian suatu alat yang dianggap belum akurat (tepat) dengan cara membandingkan hasil pengukuran berdasarkan alat yang akan diuji dengan hasil pengukuran alat yang dianggap tepat atau sesuai standar. Analisis kalibrasi untuk mengetahui apakah alat yang akan diuji sudah memenuhi syarat atau belum, dapat dilakukan dengan melihat kesalahan relatif dari alat yang akan diuji. Kemudian dibandingkan dengan kesalahan relatif yang diperbolehkan dari alat yang diuji sesuai standart dari pabrik pembuat alat (*Sosrodarsono dan Takeda, 1978*). Apabila dari analisis alat tersebut sudah memenuhi syarat, maka verifikasi (penyesuaian) tidak perlu dilakukan. Sebaliknya jika alat yang diuji tidak memenuhi syarat, maka verifikasi harus dilakukan dengan cara memperbaiki atau menyempurnakan alat ukur tersebut. Selanjutnya proses kalibrasi

dapat dilakukan lagi. Penyesuaian akhir dapat dilakukan dengan menambah suatu tetapan pada hasil (debit aliran) alat ukur yang diuji.

Persyaratan pengisian bak filter dan *wetland* adalah sebagai berikut:

- a. Kotak *wetland* untuk fitoremediasi diisi air blackwater tanpa media atau tanda tanah dan dibiarkan dengan waktu tinggal, sehingga dengan waktu tertentu dapat dianalisa.
- b. Kotak filter diisi material baik kerikil, arang, maupun pasir tidak penuh atau selisih 5 cm dr atas.
- c. Pada filter pengisian debit limbah sampai pada jenuh baru dibuka kran output. Hasil kualitas air output dimasukkan jirigen kecil untuk test laboratorium sesuai parameter terpilih.
- d. Kotak *wetland* diisi tanah tidak penuh atau selisih 5 cm dari atas.
- e. *Wetland* menerima siraman air sampai menggenang dr output filter bertingkat yang susunannya menyesuaikan hasil filter tunggal.

B. Verifikasi

Verifikasi dilakukan untuk mengetahui proses secara logika pada saat pengoperasian model dari kondisi lapangan yang besar diterapkan pada model fisik di laboratorium. Sehingga membandingkan kondisi lapangan ke model dengan proses fisik yang menggunakan cara statistik dan uji laboratorium pada setiap parameternya. Pada proses verifikasi ini juga dilihat sejauh mana

kemiripan model dan kondisi lapangan. Koefisien model dibagi dengan skala, sedangkan debit dikalikan dengan skala supaya bisa mendapatkan data yang akurat, yaitu persamaan yang didapat pada model bisa diterapkan di lapangan, sehingga persamaan yang didapat tidak lagi dirubah.

C. Validasi

Validasi adalah sebuah model konseptual untuk menentukan simulasi sebagai perbandingan. Program komputer adalah presentasi akurat dari system nyata yang akan dan sedang dimodelkan. Jadi validasi model konseptual adalah suatu proses pembentukan miniatur yang nyata yang dapat disimulasikan dengan system tertentu dimana model tersebut akan mendapatkan sebuah persamaan yang dapat diterapkan secara aktual atau *prototype*.

D. Analisis Statistik

1 Analisis Regresi Linier

Analisis Regresi Linier berganda adalah hubungan secara linear antara dua atau lebih variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) dengan variabel dependen (Y). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah masing-masing variabel independen berhubungan positif atau negatif dan untuk memprediksi nilai dari variabel dependen apabila nilai variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan. Data yang digunakan biasanya berskala interval atau rasio.

Persamaan Regresi Linier berganda adalah sebagai berikut:

$$Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan:

Y' : Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)

X_1 dan X_2 : Variabel independen

A : Konstanta (nilai Y' apabila $X_1, X_2, \dots, X_n = 0$)

b : Koefisien regresi (nilai peningkatan ataupun penurunan)

Dalam analisis Regresi, terdapat koefisien Regresi (R) yang digunakan untuk mengetahui besar pengaruh yang ditimbulkan dari serangkaian variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) terhadap variabel dependen (Y). Nilai koefisien R berkisar antara 0 hingga 1, nilai koefisien yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa pengaruh antar variabel semakin besar. Menurut Sugiyono (2007), pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi adalah sebagai berikut:

0,00 - 0,199 = sangat rendah

0,20 - 0,399 = rendah

0,40 - 0,599 = sedang

0,60 - 0,799 = kuat

0,80 - 1,000 = sangat kuat

Selanjutnya, salah satu hasil dari analisis Regresi adalah Koefisien Determinasi (R^2). Koefisien ini digunakan untuk mengetahui kontribusi atau besar pengaruh terhadap variabel dependen (Y) yang disebabkan oleh variabel independen (X). Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 100 persen, di mana semakin tinggi nilai R^2 maka semakin besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen.

2. Analisis Faktor

Analisis faktor adalah salah satu jenis analisis statistik multivariat yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antar variabel yang sama-sama merupakan variabel independen sehingga dapat dirumuskan menjadi satu variabel. Analisis faktor digunakan untuk mereduksi data dan menginterpretasikannya sebagai suatu variabel baru yang berupa variabel bentukan. Selain itu, analisis faktor juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor yang paling dominan terhadap suatu variabel. Di dalam analisis varian, regresi berganda dan diskriminan, satu variabel disebut sebagai variabel tak bebas (*dependent variable*) atau kriteria dan variabel lainnya sebagai variabel bebas atau prediktor. Di dalam analisis faktor disebut teknik interdependensi (*interdependence technique*) di mana seluruh set hubungan yang independen diteliti (Supranto, 2010).

Di dalam analisis faktor, variabel tidak dikelompokkan menjadi variabel bebas dan tidak bebas, sebaliknya penggantinya seluruh set hubungan interdependen antar-variabel diteliti. Analisis faktor dapat pula dipandang sebagai perluasan dari

analisis komponen utama. Keduanya merupakan teknik analisis yang menjelaskan struktur hubungan diantara banyak variabel dalam sistem konkret. Tujuan dari analisis faktor adalah untuk menggambarkan hubungan-hubungan kovarian antara beberapa variabel yang mendasari tetapi tidak teramati, kuantitas random yang disebut faktor (Johnson and Wichern, 2007).

Analisis faktor juga dapat digunakan untuk mengetahui faktor dominan. Analisis ini dapat dipandang sebagai perluasan Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis*) yang pada dasarnya bertujuan untuk mendapatkan sejumlah kecil faktor yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Mampu menerangkan semaksimal mungkin keragaman data.
2. Faktor-faktor tersebut saling bebas.
3. Tiap-tiap faktor dapat diinterpretasikan.

Vektor variabel acak X yang diamati dengan p komponen merupakan vektor rata-rata μ dan matriks ragam peragam Σ , secara linear bergantung pada sejumlah variabel acak yang tak teramati, yaitu F_1, F_2, \dots, F_m . Variabel acak ini disebut dengan *common factors*, sedangkan p adalah penyimpangan tambahan $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$, atau disebut dengan *specific factors*. Model persamaan analisis faktor dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= \lambda_{11}F_1 + \lambda_{12}F_2 + \dots + \lambda_{1q}F_q + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= \lambda_{21}F_1 + \lambda_{22}F_2 + \dots + \lambda_{2q}F_q + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ X_p - \mu_p &= \lambda_{p1}F_1 + \lambda_{p2}F_2 + \dots + \lambda_{pq}F_q + \varepsilon_p \end{aligned}$$

dreamlitera

Dimana:

μ = rata-rata dari variabel ke- i

ε_i = faktor spesifik (*specific factors*) ke- i .

λ_i = *loading* untuk variabel ke- i pada faktor ke- j .

F_j = *common factors* ke- j

$i = 1, 2, \dots, p$ dan $j = 1, 2, \dots, q$

Dalam notasi matriks dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X(p \times 1) - \mu(p \times 1) = L(p \times q)F(q \times 1) + \varepsilon(p \times 1)$$

Adapun struktur kovarian untuk model adalah:

1. $\text{Cov}(X) = LL' + \psi$

$$\text{Var}(X_i) = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2$$

$$\text{Cov}(X_i, Y_j) = l_{i1}l_{j1} + l_{i2}l_{j2} + \dots + l_{im}l_{jm}$$

2. $\text{Cov}(X, F) = L$

$$\text{Cov}(X_i, Y_j) = l_{ij}$$

Model $(X - \mu) = LF + \varepsilon$ merupakan linier dalam faktor simultan. Selanjutnya, bagian dari *Variance* (X_i) dapat diterangkan oleh faktor simultan disebut *communality* ke- i . Bagian dari *Variance* (X_i) adalah faktor spesifik dan disebut *variance* spesifik ke- i .

$$\sigma_{ii} = l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{im}^2 + \psi_i = h_i^2 + \psi_i$$

Dimana:

h_i^2 = *communality*

ψ_i = varian spesifik ke- i

Faktor-faktor yang didapatkan dari metode PCA (*Principal Component Analysis*) umumnya masih sulit ditafsirkan secara langsung. Untuk itu dilakukan manipulasi dengan cara merotasi loading L dengan menggunakan metode Rotasi Tegak Lurus Varimax (*Varimax Orthogonal Rotation*) sesuai dengan saran beberapa ahli, karena rotasi tegak lurus varimax lebih mendekati kenyataan dibanding yang lain. Rotasi varimax adalah rotasi yang memaksimalkan faktor pembobot, dan mengakibatkan korelasi variabel-variabel dengan suatu faktor mendekati satu, serta korelasi dengan faktor lainnya mendekati nol, sehingga mudah diinterpretasikan.

Hasil dari rotasi tersebut adalah matriks *loading* baru, yakni L^* , yaitu $L^*(p \times q) = L(p \times q) \cdot T(q \times q)$, dimana T merupakan matriks transformasi yang dipilih. Sehingga, $T'T = TT' = I$, penentuan matriks transformasi T dilakukan hingga menghasilkan total keragaman kuadrat *loading* L sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^q \left(\sum_{i=1}^p \left(\frac{\lambda_{ij}}{h_i} \right)^4 - \frac{\left(\sum_{i=1}^p \left(\frac{\lambda_{ij}}{h_i} \right)^2 \right)^2}{p} \right) \quad (4)$$

menjadi maksimum, dimana $V = \Sigma$ merupakan keragaman dari kuadrat loading untuk faktor ke- j dan $h_i^2 = \lambda_{i1}^2 + \lambda_{i2}^2 + \dots + \lambda_{iq}^2$ (*communality*, yaitu jumlah varians dari suatu variable ke- i yang dapat dijelaskan oleh sejumlah m *common factors*).

Berdasarkan perumusan di atas, rotasi dapat dinyatakan sebagai upaya untuk memperoleh faktor penimbang baru dengan

mengalikan faktor penimbang awal dengan matriks transformasi yang bersifat *orthogonal*. Hasilnya, matriks korelasi tidak akan berubah dan lebih mudah diinterpretasikan. Rotasi matriks *loading* menjadikan setiap variabel mempunyai nilai korelasi tinggi dan memiliki faktor tertentu saja. Adapun dengan faktor lain, variabel tersebut memiliki korelasi yang relatif rendah, sehingga setiap faktor menjadi lebih mudah ditafsirkan.

Tipe Analisis Faktor adalah antara lain Q-faktor Analisis, R-faktor Analisis, Analisis Faktor Konfirmatory (CFA), Analisis faktor eksploratori (EFA). Selanjutnya, penyusunan matrik korelasi adalah sebagai berikut:

- Matrik korelasi menunjukkan hubungan antara variable, nilai korelasi yang tinggi atau signifikan menunjukkan bahwa kedua variable tersebut berhubungan erat .
- KMO mengukur kecukupan sampel, indeks yang digunakan untuk menguji kesesuaian analisis faktor, nilainya minimal 0,5.
- Jika untuk mereduksi data, beri nama faktor hasil reduksi dan hitung faktor skor nya.

dreamlitera

KUALITAS AIR

A. Standar Menurut Peraturan Pemerintah

Pengelolaan air limbah adalah pengelolaan semua limbah kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia, dan radioaktif (DepKes, 1990). Pengelolaan air limbah merupakan hal krusial kaitannya dengan usaha pemeliharaan lingkungan dan perlindungan masyarakat dari ancaman berbagai penyakit akibat pencemaran. Air limbah yang tidak ditangani secara benar akan mengakibatkan dampak negatif khususnya bagi kesehatan, sehingga perlu pengelolaan yang baik agar bila dibuang ke suatu areal tertentu tidak menimbulkan pencemaran yang didukung dengan Instalasi Pengolahan Air limbah (IPAL). Bahan pencemar adalah jumlah berat zat pencemar dalam satuan waktu tertentu yang merupakan hasil perkalian dari kadar pencemar dengan debit limbah cair.

Tabel 1.

Karakteristik air limbah domestik yang belum diolah

Parameter	Unit	Konsentrasi		
		Rendah	Sedang	Tinggi
pH				
Padatan total(TS)	mg/L	350	720	1200
Padatan terlarut (TDS)	mg/L	250	500	850
Padatan tersuspensi (TSS)	mg/L	100	220	350
Settleablesolids	mg/L	5	10	20
BOD5	mg/L	110	220	400
Organik karbon total (TOC)	mg/L	80	160	290
COD	mg/L	250	500	1000
Nitrogen total (N)	mg/L	20	40	85
Organik	mg/L	8	15	35
Amonia bebas	mg/L	12	25	50
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat				
Fosfortotal(P)	mg/L	4	8	15
Organik	mg/L	1	3	5
Inorganik	mg/L	3	5	10
Klorida	mg/L	30	50	100
Sulfat	mg/L	20	30	50
Alkalinitas, sebagaiCaCO ₃	mg/L	50	100	200

Lemak	mg/L	50	100	150
Koliformtotal	No/100mL	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9
VOCs	Og/L	<100	100-400	>400

Sumber: Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 1, 2010

Tabel 2.
Kriteria Air Berdasarkan Kelas

Parameter	Satuan	Kelas				Keterangan
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alamiahnya
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air Minum secara konvensional, residu tersuspensi \leq 5000mg/ L
KIMIA ANORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah Diluar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total	mg/L	0,2	0,2	1	5	

Fosfat sbg P						
NO3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH3-N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, Kandungan ammonia bebas untuk ikan yang peka $\leq 0,02$ mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom(VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air Minum secara konvensional, $Cu \leq 1$ mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Fe \leq 5$ mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Pb \leq 0,1$ mg/L
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	
AirRaksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air Minum secara konvensional,

						Zn ≤ 5 mg/L
Khlorida	mg/l	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ -N ≤ 1mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Tidak dipersyaratkan
Belereng sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S < 0,1mg/L
MIKRO BIOLOGI						
Fecal coliform	jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air Minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml / 100 ml dan total coliform ≤ 10000 jml / 100 ml
Total coliform	jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
RADIO AKTIVITAS						
Gross-A	Bq /L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross-B	Bq /L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	

Sumber: Peraturan Pemerintah 14 Desember tahun 2001

dreamlitera

FILTER DAN WETLAND

A. Filter

1. Kerikil

Dalam dunia konstruksi, kerikil termasuk agregat utama dalam bahan material beton. Agregat terdapat 2 macam, yaitu agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa kerikil. Agregat kasar dapat berupa kerikil alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan besar butir lebih dari 5 mm disebut kerikil, dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a) Memiliki partikel yang keras, tidak berpori, dan kokoh. Sehingga tidak mudah hancul karena proses alam.
- b) Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
- c) Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- d) Memiliki agregat kasar dengan bentuk butiran pipih maksimal 20% dari berat keseluruhan. Apabila jumlahnya melebihi 20%, maka kerikil tidak bisa digunakan. Ukuran maksimum agregat

kasar tidak boleh melebihi 3/4 kali jarak bersih antar tulangan baja atau antara tulangan baja dengan cetakan (*beugeting*) tidak boleh lebih besar dari 1/3 kali tebal plat. Selain itu, ukuran tidak boleh lebih besar dari 1/5 kali jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Selanjutnya, menurut SNI-03-2834-2000, ketentuan gradasi agregat kasar (*split*) dalam “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal” adalah sebagai berikut:

Tabel 3.

Tabel Gradasi Agregat Kasar Berdasarkan SNI-03-2834-2000

Ukuran Saringan				% Lolos Saringan/Ayakan		
(Ayakan)				Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20 mm	Ukuran Maks. 40 mm
mm	SNI	ASTM	inch			
75,0	76	3 in	3,00			100 - 100
37,5	38	1½ in	1,50		100 - 100	95 - 100
19,0	19	¾ in	0,75	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5	9,6	¾ in	0,3750	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75	4,8	no. 4	0,1870	0 - 10	0 - 10	0 - 5

Untuk memperoleh % agregat halus dan % agregat kasar secara analisis digunakan rumus sebagai berikut:

$$Y_h = \frac{ya+yb(100-x)}{100} \dots\dots\dots$$

$$Y_h = \frac{yax+yb}{2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

Ya : nilai % lolos saringan 4,75 pada agregat halus.

Yb : nilai % lolos saringan 4,75 pada agregat kasar.

Ya' : nilai batas atas gradasi.

Ya' : nilai batas bawah gradasi.

Yh : nilai pada pertemuan saringan 4,75 dangaris ideal.

Sifat kerikil antara lain sebagai berikut:

- a) Mampu menahan terjadinya perubahan volume yang berlebihan akibat adanya perubahan kondisi fisik, seperti perubahan cuaca, beku-cair, basah-kering. Sifat tidak kekal pada kerikil ditimbulkan oleh adanya sifat porous pada kerikil dan adanya lempung/tanah liat.
- b) Koefisien pengembangan linier, panas jenis dan daya hantar panas.
- c) Reaksi antara alkali (Na_2O , K_2O) yang terdapat pada semen dengan silika aktif yang terkandung dalam kerikil. Reaksi alkali hidroksida dengan silika aktif pada kerikilakan membentuk alkali-silika gelembung di permukaan kerikil. Gelembung bersifat mengikat air yang selanjutnya volume gelembung akan mengembang.

2. Arang Batok Kelapa

Secara umum, satu gram karbon aktif memiliki luas permukaan 500-1500 m², sehingga dinilai efektif dalam menangkap

partikel-partikel dengan ukuran 0.01-0.0000001 mm. Karbon aktif memiliki sifat yang sangat aktif dan mudah menyerap polutan. Titik jenuh karbon biasanya dicapai pada waktu penggunaan selama 60 jam. Oleh karena itu biasanya arang aktif di kemas dalam kemasan yang kedap udara sampai tahap tertentu sehingga dapat di reaktivasi kembali, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai. Metode aktivasi arang sangat menentukan proses reaktivasinya, sehingga sangat penting untuk memperhatikan keterangan pada kemasan.

Arang batok kelapa memiliki fungsi dan kegunaan yang beragam, selain itu juga mudah didapatkan. Arang batok kelapa marak dicari dan diperjualbelikan baik dalam negeri maupun luar negeri. Tempurung kelapa yang sudah diolah menjadi briket karena memiliki kandungan energi yang tinggi, yakni 7.340 kalori. Energi panas ini lebih tinggi dibanding briket yang terbuat dari kayu biasa.



Gambar 5.
Arang batok kelapa

Pasar briket tempurung kelapa kebanyakan justru untuk ekspor dengan prosentase 80% sedangkan sisanya 20% untuk pasar dalam negeri. Beberapa negara tujuan ekspor antara lain negara-negara timur tengah, Jepang, Australia dan lain-lain. Mereka menggunakan arang batok untuk pembuatan karbon aktif pada *water treatment plant* dan sumber karbon untuk berbagai macam industri *Coconut Shell Charcoal*.

3. Pasir Cor

Pasir merupakan salah satu bahan bangunan utama, yang terdiri dari beberapa macam dengan spesifikasi masing-masing. Menurut kegunaannya, pasir terbagi menjadi 3 yaitu pasir cor atau pasir beton, pasir pasang, dan pasir urug. Pasir beton merupakan pasir yang diperoleh dari kawah gunung atau aliran sungai dan dikenal dengan kualitasnya yang baik. Pasir beton yang baik mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a) Berwarna hitam
- b) Butirannya kasar, keras dan tajam, berukuran 0.075 sampai 5.0 mm.
- c) Sedikit mengandung lumpur, tidak boleh melebihi 4%.

Pengujian kandungan lumpur dapat dilakukan dengan merendam segenggam pasir dalam air. Pasir dengan kandungan lumpur yang tinggi akan dicirikan dengan warna air yang menjadi keruh.



Gambar 6. Pasir Cor

Pasir termasuk dalam kategori sangat kasar bila memiliki ukuran 1-2mm, pasir kasar ($1/2$ -1mm), pasir sedang ($1/4$ - $1/2$ mm), pasir halus ($1/8$ - $1/4$ mm), dan pasir sangat halus ($1/16$ - $1/8$ mm). Batuan sedimen mempunyai ukuran butir pasir dengan rata-rata 0,125 hingga 1 mm dan tersusun atas butiran mineral maupun batu pecahan.

Pasir adalah material campuran yang terbentuk secara alami, yang berarti bahwa pasir tidak hanya mengandung satu komponen tunggal. Terdapat pula pasir yang telah terkonsolidasi, sehingga disebut dengan batu pasir. Faktor yang menentukan ukuran rata-rata butiran pasir adalah energi dari media transport. Semakin kuat kecepatan arus (baik itu arus sungai atau gelombang laut) maka arus tersebut membawa material yang lebih berat. Media transport pasir yang paling utama adalah arus sungai. Butiran pasir akan terbawa arus sungai dan bergerak melompat-lompat (*saltation*). Selain itu, material sedimen yang

lebih ringan dari pasir (*suspended load*) akan bergerak melayang-layang terhadap rata-rata kecepatan arus yang membawanya.

B. Tanaman Air Sebagai Wetland

Jenis tanaman yang sering digunakan untuk lahan basah buatan adalah jenis tanaman air atau tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*submerged plants* atau *amphibiuous plants*). Pada umumnya tanaman air tersebut berdasarkan proses biofilter dapat dibedakan menjadi 3 tipe, berdasarkan area pertumbuhannya didalam air adalah sebagai berikut:

1. Tanaman yang mencuat ke permukaan air, merupakan tanaman air yang memiliki sistem perakaran pada tanah di dasar perairan dan daun berada jauh diatas permukaan air.
2. Tanaman yang mengambang dalam air, merupakan tanaman air yang seluruh tanaman (akar, batang, daun) berada didalam air.
3. Tanaman yang mengapung dipermukaanair, merupakan tanaman air yang akar dan batangnya berada dalam air, sedangkan daun diatas permukaan air (Supradata, 2005).

Tujuan penggunaan tanaman air pada *constructed wetland* adalah untuk menyediakan oksigen di zona akar tanaman dan untuk menambah luas permukaan bagi pertumbuhan mikroorganismе yang tumbuh di zona akar (Hidayah dan Wahyu, 2010).

1. Akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.)

Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) merupakan salah satu komoditas ekspor unggulan Indonesia yang potensial. Tanaman ini disebut Akar Wangi karena dapat menghasilkan minyak akar wangi (*Java vetiver oil*) melalui proses penyulingan akar. Kegunaan utama akar wangi secara ekonomi adalah untuk produksi minyak atsiri, penahan erosi atau rehabilitasi tanah, untuk bahan dasar kerajinan tangan seperti tas, karpet, gantungan kunci, hiasan dinding dan lain-lain.



Gambar 7.

Tanaman Akar wangi (*Vetiveria zizanioides*)

Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan tanaman Akar Wangi antara lain keadaan tanah dan iklim. Berdasarkan penelitian Hermanto et al. (1996), jenis tanah Andosol cenderung memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman akar wangi. Hal ini dikarenakan tanah andosol memiliki kapasitas air dan kesuburan yang tinggi sehingga dapat

menunjang pertumbuhan akarwangi (Kaunang, 2008). Akar wangi dapat tumbuh optimal pada tingkat keasaman tanah (pH) 6-7. Tanaman akar wangi dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian sekitar 300-2.000 meter di atas permukaan laut dan akan berproduksi dengan baik pada ketinggian 600-1.500 meter di atas permukaan laut. Tanaman akar wangi memerlukan curah hujan yang cukup yaitu sekitar 140 hari pertahun, sedang suhu yang cocok untuk pertumbuhan tanaman sekitar 17-27°C. Akar wangi menyukai sinar matahari langsung, bila ditanam di tempat yang teduh akan berpengaruh terhadap sistem pertumbuhan akarnya (Anonim, 2012).

Secara global, Akar Wangi lebih dikenal dengan *vetiver grass* dan merupakan jenis tanaman air yang potensial untuk remediasi air limbah. Tanaman Vetiver sangat toleran terhadap kondisi lingkungan yang tercemar. Selain toleran terhadap kadar logam berat yang tinggi, tanaman Vetiver juga mampu bertahan dalam kondisi lingkungan dengan tingkat keasaman yang tinggi maupun alkalinitas yang tinggi. Hal ini dikarenakan oleh kondisi dan adaptasi morfologi serta fisiologi yang sangat baik (Munirah et al. 2016).

Menurut Roongtanakiat dan Chairaj (2001) dalam Munirah et al. (2016), tanaman Vetiver telah diketahui berpotensi untuk digunakan sebagai tanaman fitoremediasi. Tanaman Vetiver memiliki karakteristik yaitu tinggi tanaman 1 – 2 meter, memiliki pertumbuhan yang cepat, dan masa hidup yang lama. Akar tanaman vetiver memiliki panjang hingga 3 – 4 meter, tersebar luas dengan sistem yang kompleks sehingga membentuk cakupan

volume yang besar. Kondisi ini merupakan habitat yang baik bagi bakteri dan fungi simbiotik sehingga secara simultan membentuk sistem ekologi yang mampu menyerap polutan. Selain itu, tanaman Vetiver memiliki kemampuan untuk menyerap polutan dalam jumlah yang besar tanpa mempengaruhi laju pertumbuhannya. Penggunaan tanaman Akar Wangi untuk remediasi air limbah telah terbukti dapat menetralkan kadar pH (Dyamanagowdru & Lokeshappa, 2015), serta menurunkan kadar TSS dan TDS (Yeboah et al. 2015), serta BOD dan COD (Dyamanagowdru & Lokeshappa, 2015; Yeboah et al. 2015).

2. Cattail (*Typha angustifolia*)

Cattail (Typha angustifolia) adalah jenis tumbuhan herbal serta bersifat colonial dan memiliki rizoma yang berbentuk panjang dan ramping. Rizomnya akan menjalar dibawah permukaan tanah yang berlumpur untuk memulai tumbuhan barusecara melintang. Tumbuhan ini mempunyai jangka waktu selama beberapa musim dan akan terus membiak apabila mencapai tahap kematangan tumbuh secara rumpun (Davis, 2011). Tanaman *Cattail (Typha angustifolia)* mempunyai akar serabut yang sangat lebat, daun yang berbentuk tirus panjang (*narrow-leave*), dan agak lebar sedikit (*broad-leave*) sehingga penyerapan terhadap bahan pencemar terhadap unsur hara yang dibutuhkan relatif besar. *Cattail (Typha angustifolia)* merupakan sejenis tumbuhan semi-akuatik yang mana tidak memerlukan jumlah air yang banyak sebagai mana tumbuhan akuatik yang sebenarnya.



Gambar 8.
Tanaman Cattail (*Typha angostifolia*)

Typha sp. merupakan tanaman yang termasuk dalam famili *Typhaceae* yang secara umum lebih dikenal dengan nama *Cattail*. Tanaman ini bersifat akuatik maupun semi akuatik dengan masa hidup yang lama, dan biasanya ditemukan di di daerah rawa, pinggiran danau, maupun dan waduk. Tanaman *Cattail* memiliki tinggi 1,5 - 3 meter dan memiliki lebar daun 2 - 4 cm. Rizoma atau rimpang biasanya tumbuh secara horisontal tepat di bawah permukaan tanah dan ditumbuhi dengan akar serabut yang kokoh, kasar, dan meluas pada area tanah yang ditumbuhi (Varun et al. 2011). Sungkowo et al. (2015) menjelaskan bahwa tanaman *Typha* bersifat toleran atau tahan terhadap polutan sehingga tidak mudah mati. Selain itu juga memiliki akar serabut yang sangat lebat sehingga mendukung penyerapan bahan pencemar yang besar. Salah satu keunggulan menggunakan tanaman *Typha* yaitu

untuk mendapatkannya tidak sulit, sebab banyak dijumpai disekitar lahan basah alami di Indonesia.

Sejauh ini telah banyak dilakukan kajian empiris yang membuktikan bahwa tanaman *Typha* memiliki potensi yang menjanjikan untuk digunakan sebagai tanaman remediasi air limbah, baik itu limbah domestik, pertanian, maupun industri. Parameter yang mampu direduksi antara lain TSS (Dubey & Omprakash, 2014; Rani et al. 2011), TDS (Arivoli & Mohanraj, 2013; Bhatia & Dinesh, 2013), BOD dan COD (Arivoli & Mohanraj, 2013; Bhatia & Dinesh, 2013; Dubey & Omprakash, 2014; Weragoda et al. 2012), serta menetralkan kadar pH (Rani et al. 2011). Kemampuan ini dikarenakan oleh cakupan akar yang luas dan bersifat aktif dan dinamis untuk penyerapan berbagai polutan anorganik maupun nutrien yang berlebihan (Bhatia & Dinesh, 2013).

C. Parameter Limbah

1. Suhu

Suhu secara langsung atau tidak langsung sangat dipengaruhi oleh sinar matahari. Energi panas yang tersimpan dalam air akan selalu mengalami perubahan seiring dengan pergantian siang dan malam maupun pergantian musim. Air berada pada berat jenis maksimum pada suhu 4°C. Suhu air berhubungan dengan parameter lain, seperti kadar oksigen terlarut. Jika suhu air tinggi, maka air cenderung lebih cepat jenuh terhadap oksigen dibandingkan saat suhu rendah.

Suhu air dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu keberadaan dan kecepatan arus, tingkat kedalaman air, waktu dalam satu hari, cuaca, musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*). Suhu air yang mengalami peningkatan akan mengakibatkan naiknya viskositas, laju evaporasi, volatilisasi, reaksi kimia, dan menurunnya kelarutan gas dalam air. Suhu air optimal bagi kelulushidupan organisme perairan pada perairan tropis yaitu antara 25-32°C.

2. Tingkat Keasaman (*Potential of Hydrogen / pH*)

pH adalah logaritma negatif dari konsentrasi ion-ion hidrogen (ion H⁺). Dalam air murni konsentrasi H⁺ adalah 10⁻⁷, jadi pH adalah 7. Misalnya suatu asam ditambahkan dalam cairan yang pH-nya 7, maka angka H⁺ pada cairan tersebut akan meningkat, menjadi 10⁻³ maka cairan tersebut pH-nya menurun menjadi 3. pH air akan meningkat hingga diatas 7 apabila ditambahkan larutan alkali. Secara ringkas, air dikatakan asam apabila memiliki nilai pH kurang dari 7, netral apabila nilai pH 7, dan dikatakan basa apabila nilai pH lebih dari 7.

Dalam pengukuran pH, peneliti yang biasa menggunakan metode lama (lakmus) kini telah beralih ke metode potensiometrik menggunakan pH. Hal ini dikarenakan pH meter dinilai lebih praktis dengan tingkat akurasi mencapai bilangan 2 desimal. Penggunaan lakmus dalam pengukuran pH saat ini hanya digunakan dalam pengamatan yang tidak memerlukan akurasi tinggi. Selain itu, salah satu kelemahan dari metode lakmus yaitu tidak dapat digunakan oleh orang yang memiliki buta warna.

3. Padatan Tersuspensi (*Total Suspended Solid / TSS*)

Total padatan tersuspensi (TSS) ini disebut residu tanpa saring yang diperoleh dengan menyaring air limbah melalui kertas saring dan mengukur berat kering dari bahan yang tersisa di filter. Hal ini digunakan untuk menentukan pengolahan efisiensi kekeruhan dalam air limbah. Menurut Ginting (2007), TSS merupakan jumlah berat kering (mg/liter) lumpur yang terdapat dalam limbah setelah melalui proses penyaringan dengan membran berukuran 0,45 mikron. Penentuan zat padat tersuspensi menurut BAPEDAL (1997), berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air limbah domestik, sekaligus untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia dan radioaktif.

4. Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solids / TDS*)

Padatan-padatan terlarut atau *Total Dissolved Solids* (TDS) adalah parameter yang menggambarkan konsentrasi ion kation dan anion yang terkandung dalam air. Analisis parameter TDS akan menunjukkan pengukuran kualitatif dari jumlah ion terlarut saja, dan tidak menjelaskan karakteristik maupun hubungan ion-ion tersebut. Selain itu, analisis pada parameter TDS tidak menginformasikan kualitas air secara spesifik. Sehingga, analisis TDS hanya digunakan sebagai pengujian indikator yang menentukan kualitas air secara umum. Sumber TDS mencakup seluruh kation dan anion yang terlarut dalam air (Oram, 2010).

Sumber utama TDS dalam perairan umumnya adalah dari aktivitas pertanian, domestik, dan industri. Selanjutnya, unsur

kimia penyusun TDS yang paling sering ditemui adalah kalsium (Ca), fosfat (P), nitrat (NO₃), natrium (Na), kalium (K) dan klorida (Cl). Pestisida yang berasal dari aktivitas pertanian juga merupakan penyusun TDS dalam air, dimana kandungan ini akan berbahaya bagi lingkungan (Anonymous, 2010). Banyaknya padatan terlarut dalam air perlu disesuaikan agar cocok dipakai untuk keperluan rumah tangga dan industri, karena dissolved solid mempunyai pengaruh cukup besar terhadap penyediaan air. Pengukuran TDS dalam air dilakukan berdasarkan metode gravimetri.

5. Kebutuhan Oksigen Biologi (*Biological Oxygen Demand/BOD*)

BOD adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi dalam air. Pengujian analisis BOD sangat diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat limbah cair, serta untuk merancang sistem pengolahan limbah secara biologis (Said, 2017). *Biological Oxygen Demand* (BOD) ini adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menstabilkan bahan organik terurai dalam kondisi aerobik. Hal ini digunakan untuk menentukan kebutuhan oksigen relatif pada air limbah.

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses penguraian (oksidasi) polutan dalam air secara bio-kimia. BOD merupakan parameter yang sangat penting karena menggambarkan proses biokimia yang terjadi di dalam air. Misalnya, limbah kotoran manusia yang langsung dari toilet akan mengalami proses pembusukan lebih

cepat dibandingkan sebatang kayu, sehingga dalam penguraian limbah kotoran manusia akan lebih banyak membutuhkan oksigen. Pada pengujian laboratorium BOD, disimulasikan melalui proses penguraian polutan dari molekul besar menjadi lebih kecil secara alami. BOD ditentukan dengan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam 5 hari oleh suatu sampel pada suhu standar 20⁰ C. Peningkatan proses biokimia BOD akan cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu air.

6. Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand / COD*)

COD adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) (Said, 2017). Kebutuhan oksigen kimia (COD) adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang diperlukan untuk oksidasi komponen-komponen polutan (organisme) dalam air dengan cara kimia, yaitu dengan menambah bahan kimia pengoksidasi pada polutan.

Bahan kimia (oksidator) K₂Cr₂O₇ banyak digunakan sebagai sumber oksigen dalam pengujian di laboratorium. Secara prinsip sebagian besar zat organik akan dioksidasi oleh K₂Cr₂O₇ dalam keadaan asam mendidih, dan reaksi berlangsung selama ± 2 jam. Nilai COD merupakan tolok ukur atas tingkat pencemaran air yang diakibatkan dari bahan organik. Bahan-bahan organik ini secara alami dioksidasi oleh mikroba sehingga akan menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhibaswara, B., Prasetya, I.R., Nico, M., Muzdalifah, Z., 2011. Pengelolaan Air Secara Ekonomis dengan Penggunaan Tanggul Batang Kelapa Serta Penjernih Air Alami. Proceeding PgESAT (Psikologi, Ekonomi, Astra, Arsitektur Sipil) UniversitasGunadarma. Depok18-19 Oktober 2011, Vol.4, ISSN:1858-2559.
- Afandi, Y. Vari, Henna, R. Sunoko, dan Kismartini. 2013. Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 10 Oktober 2013. ISBN 978-602-17001-1-2.
- Alhusin, Syahri. 2003. *Aplikasi Statistik Praktis dengan Menggunakan SPSS 10 for Windows*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Asep, Sapei, M.Yanuar, Purwanto, Sutoyo, Allen, K. 2011. Desain Pengolahan limbah WC Komunal Masyarakat Pinggir Sungau Desa Lingkar kampus. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 10 Agustus 2011, hlm 91-99 ISSN 0853-4217.

- Al-Hamaiedeh, H., Bino, M. 2010. Effect Of Treated Grey Water Reuse In Irrigation On Soil And Plants. Vol. 256, Issues 1-3, Pages 115-119. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.004>.
- A. Peramanan, A. Anto, W.B., P. Arunkumar, G. Naveen, K., A. Veera, S. 2014. Fabrication Of Human Powered Reverse Osmosis Water Purification Process. *International Journal of Research In Aeronautical and Mechanical Engineering*. Vol.2, Issue.3, pp: 90-95. ISSN: 2321-3051.
- Arikunto, Suharsimi. 2002. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek*, Edisi Revisi V, Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Austin, Gary dan Yu, Kongjian, 2016. *Constructed Wetlands and Sustainable Development*. Routledge, London dan New York.
- Bhatia, M., & Dinesh, G. 2013. Analyzing Remediation Potential of Wastewater Through Wetland Plants: A Review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Vol.00, No.00. DOI 10.1002/ep.
- Bian, Xiao, Gong, Hui dan Wang, Kaijun, 2018. Pilot-Scale Hydrolysis-Aerobic Treatment for Actual Municipal Wastewater: Performance and Microbial Community Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* Vol. 15, 477-485, doi: 10.3390 /ijerph 15030477.
- Calheiros, C.S.C., Antonio, O.S.S. Rangel, dan Paula, M.L. Castro. 2013. *Constructed Wetlands for Tannery Wastewater Treatment in Portugal: Ten Years of Experience*. Vol.16, pp: 859-870.

doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2013.798622>

Caroline, J., & Guido, A. Moa. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) Pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. *Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*. ISBN 978-602-98569-1-0.

Chibueze, G.Achi, Mynepalli .K. C. Sridhar, Akinwale. O. Coker. 2015. Performance Evaluation of a Water Hyacinth Based Institutional Wastewater Treatment Plant to Mitigate Aquatic Macrophyte Growths at Ibadan, Nigeria. *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol 4. No 3. May 2015.

Clarkson, BR, Ausseil, AE, dan Gerbeaux P., 2013. Wetland ecosystem services. In Dymond JR ed. *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.

Cobb, Ami, Mikell, W., Edwin, P. Maurer, & Steven Chiesa. 2012. Low-Tech Coconut Shell Activated Charcoal Production. *International Journal for Service Learning in Engineering*. Vol. 7, No. 1, pp: 93-104.

Davis, Debra A., Gamble, Megan D., Bagwell, Christopher E., Bergholz, Peter W. dan Lovell, Charles R., 2011. Responses of Salt Marsh Plant Rhizosphere Diazotroph Assemblages to Changes in Marsh Elevation, Edaphic Conditions and Plant Host Species. *Environmental Microbiology*, Vol 61, 386–398, DOI 10.1007/s00248-010-9757-8.

- Departemen Kesehatan. 1990. Peraturan Menteri Kesehatan No.416/MENKES /PER/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta.
- Dubey, A. Kumar, dan O. Sahu, 2014. Review On Natural Methods For Wastewater Treatment. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. Vo.8, No.1, pp:89-97. doi: 10.4090/juee.2014.v8n1.089097.
- Ghazali, Imam. 2016. *Aplikasi Analisis Multivariat Dengan Program IBM SPSS 23*. Cetakan kedelapan. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Gianyar, I.B., Nurchayati, dan Yesung, A.P. 2012. Pengaruh Persentase Arang Tempurung Kemiri Terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Biomassa Ampas Kelapa - Arang Tempurung Kemiri. *Dinamika Teknik Mesin*, Vol.2, No.2. ISSN: 2088-088X.
- Ginting, Perdana, 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Yrama Widya. Bandung
- Haandel, V. Adrianus dan Lubbe, V. der Jeroen, 2012. *Handbook of Biological Waste Water Treatment*. IWA Publishing, London. ISBN13:9781780407753.
- Herumurti, W. 2005. Studi Penurunan Senyawa Nitrogen dan Fosfor Air Limbah Domestik dengan Sistem Sub-Surface Flow (SSF) *Constructed Wetland* dengan Tanaman Kana (*Canna sp*) dalam (Studi Kasus Gedung TL-ITS Surabaya). Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Teknik Lingkungan FTSP ITS. Surabaya.

- Irianto, I. Ketut, 2015. *Pencemaran Lingkungan*. Universitas Warmadewa, Bali.
- James, P. Gibbs. 2000. *Wetland Loss and Biodiversity Conservation*. *Research Note*. College of Environmental Science and Forestry, State University of New York.
- Janngam, J., P. Anurakpongatorn, T. Satapanajaru, & S. Techapinyawat. 2010. Phytoremediation: Vetiver Grass in Remediation of Soil Contaminated with Trichloroethylene. *Science Journal of Ubon Ratchathani University*. Vol 1, No 2, pp: 52-57.
- Johnson, R. A., & Wichern, D.W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall.
- Keputusan Kepala Bapedal No. 29 Tahun 1997. Standardisasi, Akreditasi dan Sertifikasi Bidang Lingkungan. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Kim, I.K. Hong, I.S Choi and C.H. Kim. 1996. *Journal of Ind and Eng. Chemistry*.
- Kurniadie, D. 2001. Pemanfaatan Gulma Air “Rumput Bayong-bong” (*Phragmites Karka*) sebagai Alat Pembersih Air Limbah Rumah Tangga Konferensi Nasional HIGI XV Surakarta.
- Lee, H., Sungduk, K., Kye-Won, J., Hyung-Keun, P., and Jae-Sung, P. 2016. The Effect of Groundwater Pumping and Infiltration on Seawater Intrusion in Coastal Aquifer. *Journal of Coastal Research*. No.75, pp:652–656. ISSN 0749-0208.

- Lismore City Council. 2003. The Use of Reed Beds for the Treatment of Sewage & Wastewater from Domestic Households. Department of Local Government's Septic Safe Program. New South Wales, Australia.
- MCK Terpadu, Kelurahan Tlogomas Kota Malang. [keltlogomas.malangkota.go.id>mckterpadu](http://keltlogomas.malangkota.go.id/mckterpadu)<http://sosok.worpress.com/2006/12/13/agus-gunarto-dan-kawasan-mck-terpadu/.html>
- Moreno-Mateos, D., Francisco, A.C., Cesar, P., dan Jesus, C. 2009. Effect of *Wetlands* On Water Quality Of an Agricultural Catchment in a semi-arid area under land Use transformation. *Wetlands*. Vol. 29, No. 4. pp. 1104–1113.
- Mukhtasor. 2007. *Pencemaran Pesisir dan Laut*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Munirah, S. Nur, Faradiella, M.K., Ashton, L.S. Lee, Tony, A. Ukang, Ferdaus, M.Y., & Zelina, Z.I. 2016. Performance of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Phytoremediation of Contaminated Water. *MATEC Web of Conferences*, 103, 06003. DOI: 10.1051/mateconf/201710306003.
- Mustafa, A., Ramli, T. 2012. Pemanfaatan Sludge Hasil Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biogas. *Penelitian Awal Sains dan Terapan Kimia*, Vol.6, No. 2 (Juli 2012), 130-138.
- Mthembu, M.S., Odinga, C.A., Swalaha, F.M., dan Bux, F. 2013. Constructed *wetlands*: A future alternative wastewater treatment technology. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 12(29), pp. 4542-4553. DOI: 10.5897/AJB2013.12978.

- M. Syamsiro, dan Harwin, S. Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao; Pengaruh Temperatur Udara Preheat, Seminar Nasional.
- Palmeira, E.M., R.J Fannin, dan Y.P Vaid., 2011. A Study on The Behaviour of soil – Geotextile Systems in Filtration Test. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol.33, No.6, pp:899-912. <https://doi.org/10.1139/t96-120>.
- Pengelolaan Limbah Cair Rumah Tangga dengan Tangki AG Malang dengan Tipe YIPD, www.yipd.or.id
- Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001. Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010. Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Priyatno, Duwi. 2007. *Mandiri Belajar SPSS*, Cetakan Ketiga, Yogyakarta: Media Kom.
- Rahmawati, A.A., dan Azizah, R. 2005. Perbedaan Kadar BOD, COD, TSS, dan Mpn Coliform pada Air Limbah, Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, VOL.2, NO.1, 98 Juli 2005: 97-110.
- Rani, S.H. Chek, Mohd. Fadhil, M.D.M., Badruddin, M.Y., dan Shreeshivadasan, C. 2011. 2011. Over view of Subsurface Constructed *Wetlands* Application in Tropical Climates. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. Vol. 1, Issue 2: 103-114

- Said, Nusa I., 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Santoso, Singgih. 2000. *Buku Latihan SPSS Statistik Parametrik*. PT.Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Sekaran, Uma. 2006. *Research Methods For Business: Metodologi Penelitian untuk Bisnis*. Penerbit Salemba Empat. Jakarta.
- Setiadji, Bambang A.H., 2011. Pengembangan Pengolahan Kelapa Terpadu untuk Industri Kecil di Pedesaan. Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian, Badan Litbang Pertanian Vol.7, No. 2. ISSN: 1858-3504.
- Setiarini, D. W., dan Mangkoedihardjo, S. 2013. Penurunan BOD dan COD pada Air Limbah Katering Menggunakan Konstruksi *Subsurface-Flow Wetland* dan Biofilter dengan Tumbuhan Kana (*Canna indica*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. Vol. 2, No.1, 2337-3520.
- Sheeba, A. 2015. The Relevance of *wetland* conservation in Kerala. *International Journal of Fauna and Biological Studies*: 2(3). Pp: 01-05.
- Sidauruk, L., & Patricius, S. 2015. Fitoremediasi Lahan Tercemar di Kawasan Industri Medan dengan Tanaman Hias. *Jurnal Pertanian Tropik*. Vol.2, No.2, pp: 178-186.
- SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. ICS 91.100.30. Badan Standarisasi Nasional.
- Sodamade, G.A, and Pearse, L.F. 2013. Removal of Iron and Manganese Using Rapid Sand Filtration. *NSE Technical Transaction*, Vol.47, No.3.

Sugiyono. 2007. *Metode Penelitian Bisnis*. Bandung: CV. Alfabeta.

Sungkowo, T.H., Shinta, E., & Ivaini, A. 2015. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Tanaman *Typha Latifolia* dan Eceng Gondok dengan Metode Fitoremediasi. *JOM FTEKNIK*. Vol 2, No 2.

Supradata. 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius*, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands). Tesis Tidak Diterbitkan. Magister Ilmu Lingkungan. Universitas Diponegoro, Semarang.

Supranto, J. 2010. *Statistika*. Jakarta: Erlangga.

Susanti, A.C. Sri Purna, Gunawan, W., Aniek, M., dan Diana, A. 2012. Analisis Luasan Constructed *Wetland* Menggunakan Tanaman Iris dalam Mangolah Air Limbah Domestik (Greywater). *Indonesian Green Technology Journal*. Vol. 1 No. 3. ISSN.2338-1787.

Tirtoac (Irimia) Oana, Nedeff, V., Lasar, G. 2011. Actual Stage Of Water Filtration.

Tut Wuri Handayani: MCK Komunal, kompas/ Dahlia Irawati, cetak 11 maret 2015.
<http://www.biokehidupan.blogspot.com>2015/03.html>

Varun, M., Rohan, D., Jiao, P., & M.S Paul. 2011. Evaluation of Phytostabilization, A Green Technology to Remove Heavy Metals from Industrial Sludge Using *Typha latifolia* L. *Research Article, Biotechnol, Bioinf, Bioeng*. 1(1): 137-145.

Vymazal, J. 2010. Constructed *Wetlands* for Wastewater Treatment.

Open Access Journal of Water 2010. Vol.2, pp: 530-549.

doi:10.3390/w2030530.

Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.I., Ye,K. 2012. Probability and Statistics For Engineers and scientists, 9th. Ed Prentice Hall.

Yasa, I Made Tapa, 2010. Pengendalian Pencemaran Industri Kecil di Daerah Aliran Sungai Tukad Badung. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah. ISBN: 978-979-18342-2-3.

BIODATA PENULIS



A. Identitas Diri

Nama	: Lies Kurniawati Wulandari
NIM	: 147060100111005
Program Studi	: Teknik Sipil
Minat	: Sumber Daya Air
Unit Kerja	: Dosen Tetap ITN Malang
NIP.P	: 1031500485
NIDN	: 0728076301
Jabatan Fungsional	: Lektor
Alamat kantor	: Jln. Bend. Sigura-gura No 2 Malang

Alamat Rumah : Jln. Ters. Bend. Sigura-gura B/32
malang
Tempat Tgl. Lahir : Malang, 28 juli 1963
Email : lieskwulandari@gmail.com
Ayah : H.Sardjio Budisantoso (alm)
Ibu : Hj. Titik Umiyati (almh)
Suami : Sambodo
Anak : Dimas Kurniawan Hartanto

B. Riwayat Pendidikan

S1 Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang (Lulus Pebruari 1989)

S2 Teknik Sipil–Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya Malang (Lulus Agst 2001)

S3 Teknik Sipil-Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya Malang {Lulus Des 2018)

C. Riwayat pekerjaan

1. Dosen Luar Biasa UNMER Malang (1990 – 1992)
2. Konsultan Wahana Adya Malang (1992 – 1997)
3. Dosen Tetap STTM (1997 – 2015)
4. Dosen Luar Biasa Widya Karya (1999 -2003)
5. Konsultan Supervisi di UNISMA (2002 – 2014)
6. Dosen Luar Biasa di UNISMA (2012 – sekarang)
7. Dosen Tetap ITN Malang (Juli 2015 – sekarang)