

RANCANGAN
DAN
HASIL MODEL FISIK

BLACKWATER

PADA SEPTICKTANK KOMUNAL
STANDAR AIR PERTANIAN

Pencemaran lingkungan, khususnya pada sumber daya air, akan selalu menjadi isu yang penting untuk dibahas dan diselesaikan secara bersama-sama. Pengolahan limbah dapat dilakukan dengan metode sederhana, yakni dengan memanfaatkan teknik filtrasi dan lahan basah buatan (*constructed wetland*). Buku ini membahas tentang pengolahan limbah *blackwater* dengan menggunakan material filter yang terdapat di sekitar kita, seperti kerikil, arang batok kelapa, dan pasir. Metode pengolahan tersebut selanjutnya dilanjutkan dengan sistem lahan basah buatan dengan memanfaatkan tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan Cattail (*Typha angustifolia*). Kombinasi dari kedua metode tersebut menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam mereduksi polutan yang terkandung dalam limbah *blackwater* dan tentunya sangat cocok untuk diterapkan di negara berkembang seperti Indonesia. Buku ini diharapkan dapat menghadirkan solusi mudah dan murah, sehingga mampu memotivasi pihak-pihak untuk menerapkan kembali dan terlibat langsung dalam upaya pengendalian pencemaran sumber daya air.

ISBN 978-602-5518-77-5



Anggota Ikapi
dream.litera@gmail.com

VOLUME 2

RANCANGAN
DAN
HASIL MODEL FISIK

BLACKWATER

PADA SEPTICKTANK KOMUNAL
STANDAR AIR PERTANIAN

Dr. Ir. Lies Kurniawati Wulandari, MT.

**RANCANGAN DAN HASIL MODEL FISIK
BLACKWATER PADA SEPTICKTANK KOMUNAL
STANDAR AIR PERTANIAN**

VOLUME 2

Dr.Ir. Lies Kurniawati Wulandari,MT.



**Dream Litera Buana
Malang 2019**

**RANCANGAN DAN HASIL MODEL FISIK BLACKWATER
PADA SEPTICKTANK KOMUNAL STANDAR AIR PERTANIAN**

VOLUME 2

Penulis:

Dr.Ir. Lies Kurniawati Wulandari,MT.

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

ISBN: 978-602-5518-77-5

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 keha-
dirat Allah SWT karena barokah, rahmad dan izin-Nya penulis
dapat menyelesaikan buku yang berjudul “RANCANGAN DAN
HASIL MODEL FISIK BLACKWATER PADA SEPTICKTANK
KOMUNAL STANDAR AIR PERTANIAN”. Buku ini
merupakan lanjutan dari Vol 1 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.

Hasil rancangan yang dibuat adalah desain model fisik
septicktank komunal untuk menaikkan kualitas air buangan yang
biasanya langsung ke sungai. Dalam hal ini air buangan dapat
dimanfaatkan langsung ke tanaman dengan melihat 6 parameter
yang terpilih seperti pH, suhu, *Total Suspendet Solid (TSS)*, Padatan
Terlarut atau *Total Dissolved Solids (TDS)*, *Biological Oxygen*
Demand (BOD), *Chemical Oxygen Demand (COD)*.

Hasil penelitian filter tunggal kurang memenuhi syarat air pertanian sehingga dilanjutkan filter bertingkat dengan dengan hasil uji penyusunan material dari kasar ke halus. Hasil uji filter bertingkat masih kurang memenuhi syarat air pertanian, sehingga penelitian dilanjutkan dengan wetland dan diambil 2 macam tanaman sebagai pembanding.

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

A. Rancangan Model Fisik	1
B. Gambaran Objek Studi	3
C. Evaluasi Kerja IPAL	4
D. Alat dan Bahan	6

RANCANGAN DAN HASIL FILTRASI

A. Filter Tunggal	11
B. Filter Bertingkat	16

RANCANGAN DAN HASIL WETLAND

A. Fitoremediasi	21
------------------------	----

B. Hasil Filter Bertingkat dan <i>Wetland</i>	25
1. Suhu	25
2. pH (<i>Potential of Hydrogen</i>).....	28
3. TSS (<i>Total Suspended Solids</i>).....	30
4. TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>)	33
5. BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>).....	36
6. COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	38

HASIL ANALISIS STATISTIK

A. Hasil Analisis Regresi Tiap Parameter	41
1. Suhu	43
2. pH (<i>Potential of Hydrogen</i>).....	45
3. TSS (<i>Total Suspended Solids</i>).....	48
4. TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>)	51
5. BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>).....	54
6. COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	57
B. Hasil Analisis Seluruh Parameter	60
1. Analisis Faktor	60
2. Analisis Regresi Linier.....	63

PENUTUP

A. Kesimpulan	67
Daftar pustaka.....	69
Biodata Penulis	79
Lampiran	81

DAFTAR TABEL

TABEL 1. Hasil Perlakuan <i>Blackwater</i> dengan filter Tunggal.....	13
TABEL 2. Hasil Perlakuan <i>Blackwater</i> dengan Filter Bertingkat.....	17
TABEL 3. Hasil Pengolahan limbah <i>Blackwater</i> dengan Fitoremediasi.....	22
TABEL 4. Data hasil pengukuran suhu <i>blackwater</i> (Akar Wangi).....	25
TABEL 5. Data hasil pengukuran suhu <i>blackwater</i> (Cattail)	27
TABEL 6. Data Hasil pengukuran pH (Akar Wangi).....	28
TABEL 7. Data Hasil pengukuran pH <i>blackwater</i> (Cattail) ..	30
TABEL 8. Data hasil pengukuran TSS <i>blackwater</i> (Akar Wangi).....	31
TABEL 9. Data hasil pengukuran TSS <i>blackwater</i> (Cattail)..	32
TABEL 10. Data hasil pengukuran TDS <i>blackwater</i> (Akar Wangi).....	34

TABEL 11. Data hasil pengukuran TDS blackwater (Cattail)	35
TABEL 12. Data hasil pengukuran BOD blackwater (Akar Wangi).....	36
TABEL 13. Data hasil pengukuran BOD blackwater (Cattail)	37
TABEL 14. Data hasil pengukuran COD blackwater (Akar Wangi).....	38
TABEL 15. Data hasil pengukuran COD blackwater (Cattail)	39
TABEL 16. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter Suhu pada Tanaman Akar Wangi	43
TABEL 17. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter Suhu pada Tanaman Cattail	44
TABEL 18. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter pH pada Tanaman Akar Wangi.....	45
TABEL 19. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter pH pada Tanaman Cattail.....	46
TABEL 20. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter TSS pada Tanaman Akar Wangi.....	48
TABEL 21. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter TSS pada Tanaman Cattail	49
TABEL 22. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter TDS pada Tanaman Akar Wangi.....	51

TABEL 23. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter TDS pada Tanaman Cattail.....	52
TABEL 24. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter BOD pada Tanaman Akar Wangi.....	54
TABEL 25. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter BOD pada Tanaman Cattail.....	55
TABEL 26. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter COD pada Tanaman Akar Wangi.....	57
TABEL 27. Ringkasan Hasil Analisis Regresi Parameter COD pada Tanaman Cattail	58
TABEL 28. Ringkasan Hasil Analisis Faktor.....	62
TABEL 29. Ringkasan Hasil Analisis Regresi antara Debit Air, Ketebalan Pasir dan Waktu Tinggal dengan Parameter Kualitas Air pada Tanaman Akar Wangi.....	63
TABEL 30. Ringkasan Hasil Analisis Regresi antara Debit Air, Ketebalan Pasir dan Waktu Tinggal dengan Parameter Kualitas Air pada Tanaman Cattail.....	64

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 1. Box filter	2
GAMBAR 2. IPAL Komunal Kelurahan Tlogomas Kota Malang.....	4
GAMBAR 3. Denah IPAL Komunal Tlogomas Kota Malang.....	5
GAMBAR 4. Alat pengukuran sampel air limbah (Jerigen, alat horibah dan pH meter)	7
GAMBAR 5. Peralatan filter.....	7
GAMBAR 6. Limbah Blackwater.....	8
GAMBAR 7. Bahan Filter.....	9
GAMBAR 8. Akar Wangi dan Cattail.....	9
GAMBAR 9. Skema Pengolahan blackwater dengan filter tunggal	12
GAMBAR 10. Grafik filter tunggal dari hasil penelitian	14
GAMBAR 11. Skema Pengolahan Blackwater dengan Filter Bertingkat.....	16

blackwater dengan filter bertingkat	20
GAMBAR 13. Skema Pengolahan limbah Blackwater dengan Fitoremediasi	21
GAMBAR 14. Karakteristik limbah blackwater selama proses pengolahan secara fitoremediasi	24

PENDAHULUAN

A. Rancangan Model Fisik

Model fisik adalah suatu tiruan peristiwa alamiah atau prototipe pada lapangan yang dibentuk dengan menggunakan model fisik 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). Untuk *wetland* dibuat sebanyak 2 buah kotak dengan tujuan dapat membandingkan antar dua tanaman tersebut yaitu tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan Cattail (*Typha angustifolia*). Kotak tersebut dengan ukuran (120 x 110 x 60 cm) sebanyak 2 buah 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.

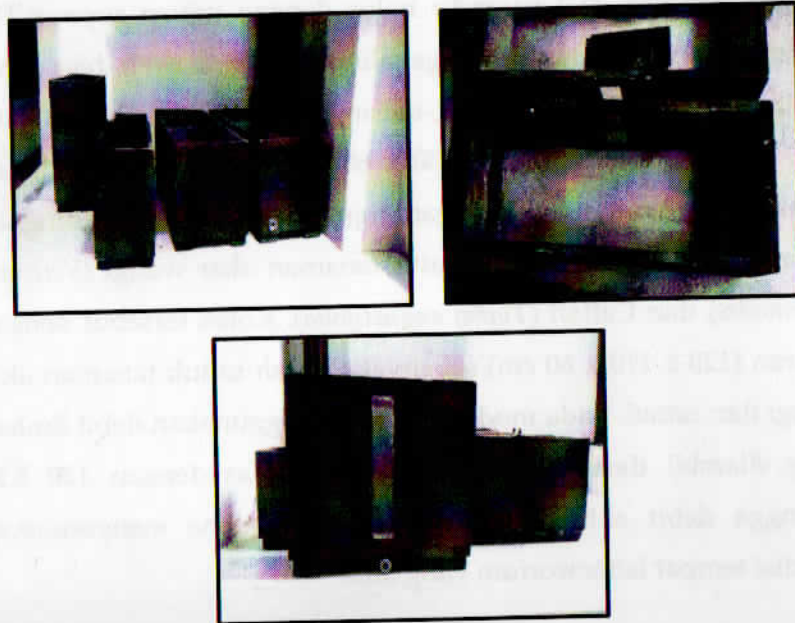
Spesifikasi Teknis Model:

- Beton dengan mutu K₁₂₅ (1 PC : 2 Ps : 3Kr)
- Kaca penduga (untuk melihat level air)
- Kran dengan diameter ¾ "
- Cat dengan warna hitam

Model fisik ini dibuat dengan skala 1 : 264 dengan skala debit, yakni menyesuaikan luasan tempat yang ada di laboratorium, antara lain sebagai berikut:

a) Tandon Air

b) Filter 3 kotak dengan ukuran: (15 cm x 60 cm), (20 cm x 60 cm), (25 cm x 60 cm)



Gambar 1. Box filter

Persyaratan pengisian kotak filter dan *wetland* adalah :

- 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. Gambaran Objek Studi

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.



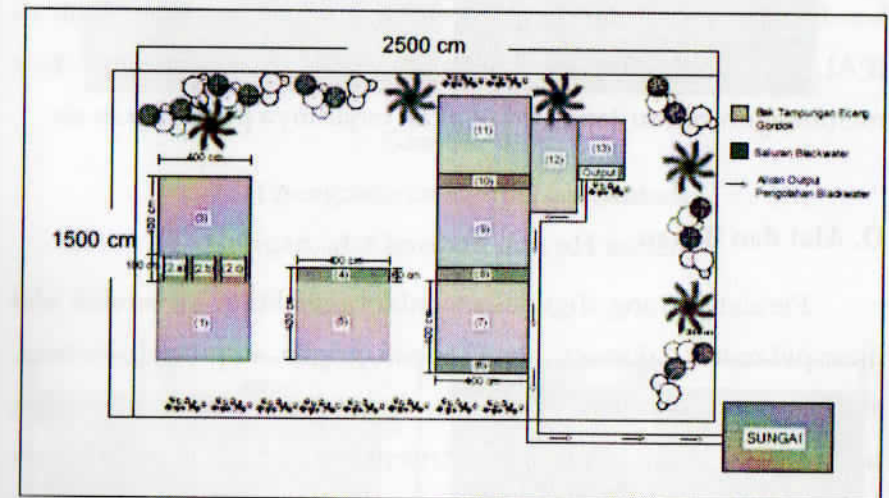
Gambar 2.

IPAL Komunal Kelurahan Tlogomas Kota Malang

C. Evaluasi Kinerja IPAL

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 3.

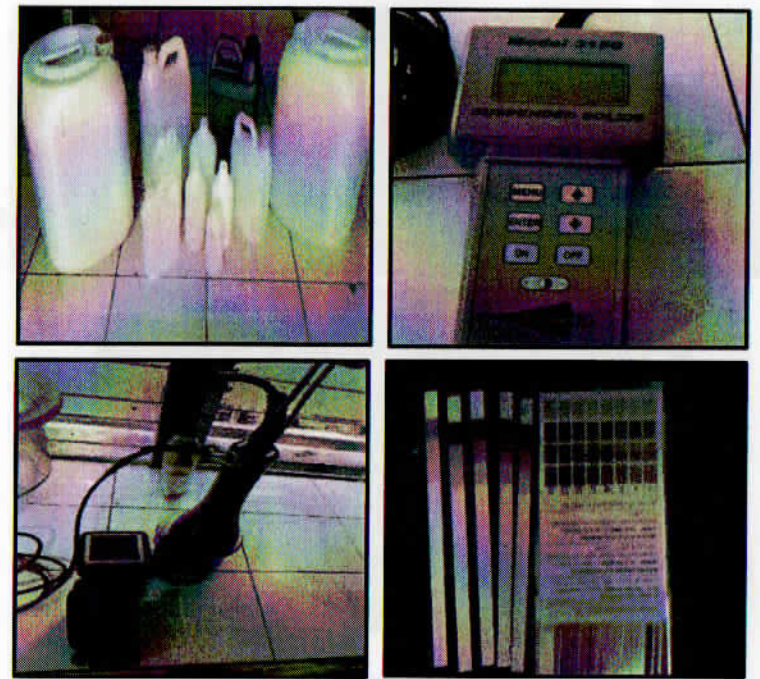
Denah IPAL Komunal Tlogomas Kota Malang

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, 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.

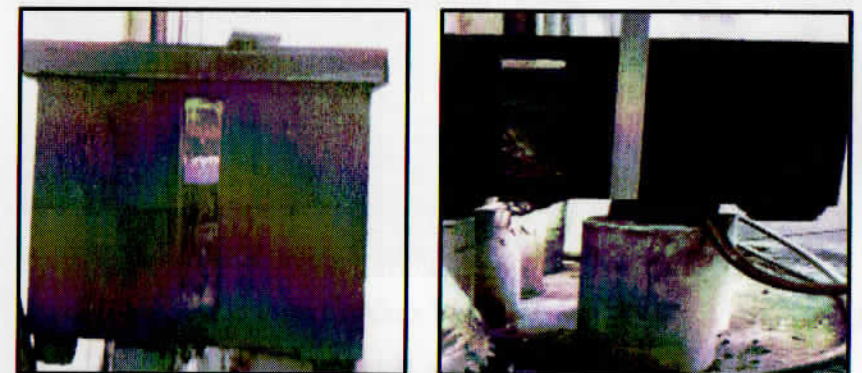
D. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat ukur pH meter (lakmus), alat Horibah, jirigen, stopwatch, kamera, alat tulis, dan lain-lain. Selain itu, digunakan desain model yang terdiri dari 3 kotak untuk filter bertingkat dan 2 kotak besar untuk 2 jenis tanaman basah (*wetland*).



Gambar 4.

Alat pengukuran sampel air limbah
(Jerigen, alat horibah dan pH meter)



Gambar 5. Peralatan filter

Selanjutnya, bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

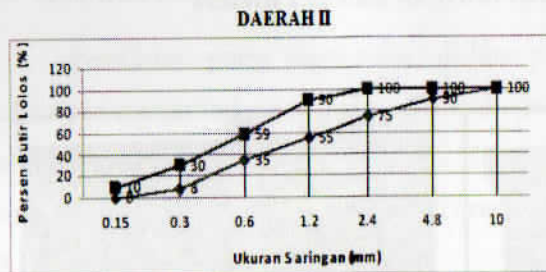
a. Bahan Baku

- Limbah rumah tangga (*Blackwater*) yang diambil dari MCK komunal Tlogomas



Gambar 6. Limbah *Blackwater*

b. Bahan Filter



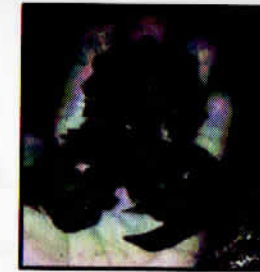
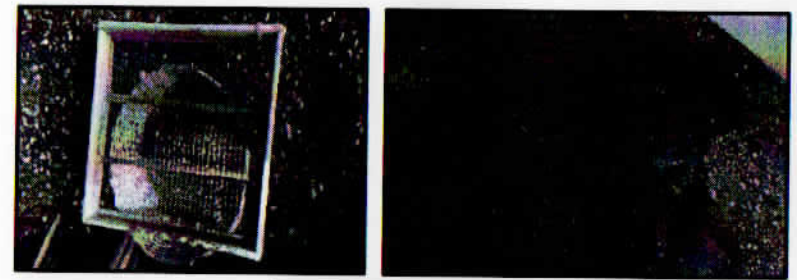
Gambar 2.2 Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar

NO. AYAKAN	DIAMETER LUBANG AYAKAN (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2.00
20	0.85
30	0.60
40	0.425
50	0.30
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.106
170	0.088
200	0.075

* Kerikil kasar dengan ayakan kerikil no ½, dengan ukuran 12,5 mm.

- Arang aktif kasar dari batok kelapa dengan ayakan no 10, dengan ukuran 2 mm

* Pasir Cor dengan ayakan pasir no 10, dengan ukuran 2 mm.



Gambar 7. Bahan Filter

c. Bahan Wetland

- Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanoides*)
- Tanaman *Cattail* (*Typha angustifolia*)



Gambar 8. Akar Wangi dan *Cattail*

Selanjutnya, bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

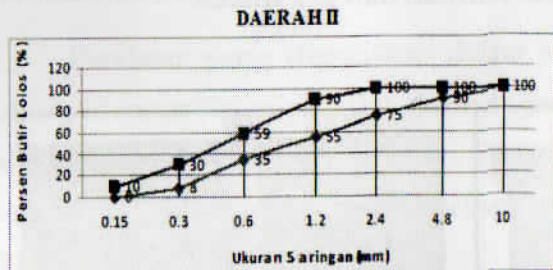
a. Bahan Baku

- Limbah rumah tangga (*Blackwater*) yang diambil dari MCK komunal Tlogomas



Gambar 6. Limbah *Blackwater*

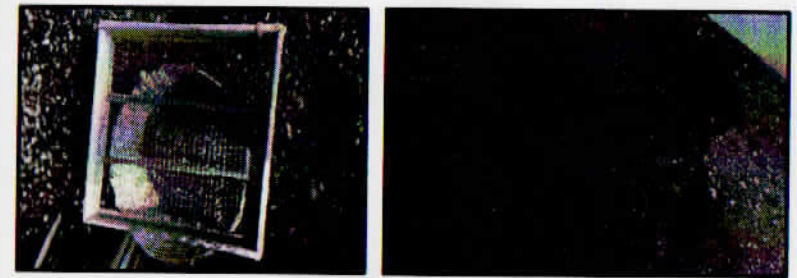
b. Bahan Filter



Gambar 2.2 Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar

NO. AYAKAN	DIAMETER LUBANG AYAKAN (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2.00
20	0.85
30	0.60
40	0.425
50	0.30
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.106
170	0.088
200	0.075

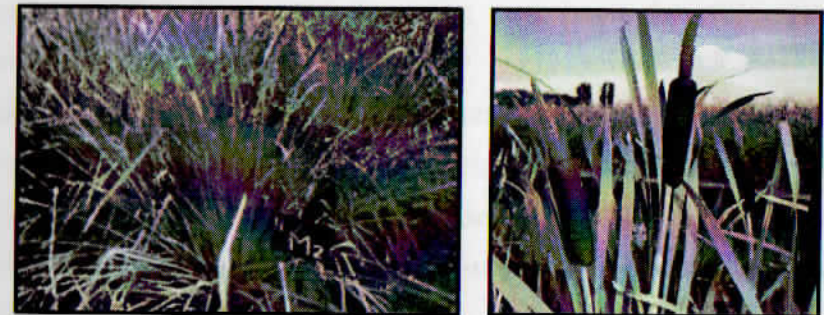
- * Kerikil kasar dengan ayakan kerikil no ½, dengan ukuran 12,5 mm.
- Arang aktif kasar dari batok kelapa dengan ayakan no 10, dengan ukuran 2 mm
- * Pasir Cor dengan ayakan pasir no 10, dengan ukuran 2 mm.



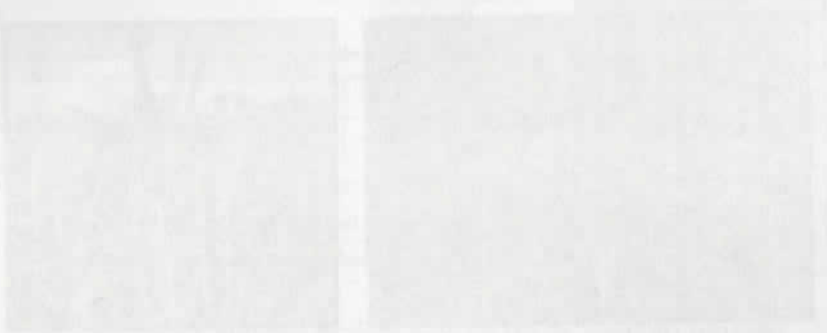
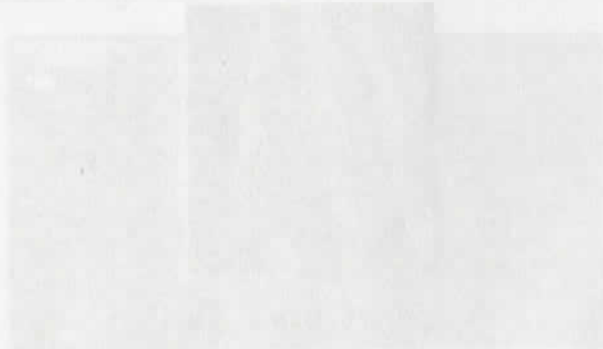
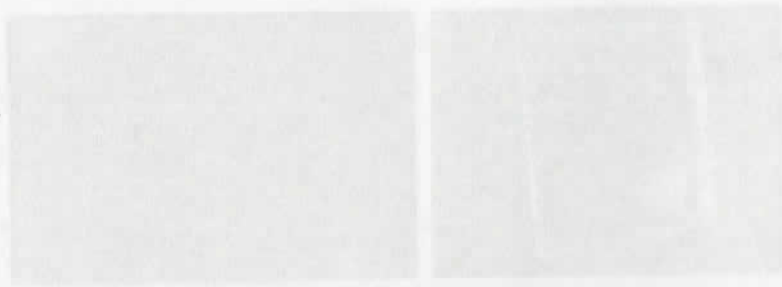
Gambar 7. Bahan Filter

c. Bahan Wetland

- Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanoides*)
- Tanaman *Cattail* (*Typha angustifolia*)



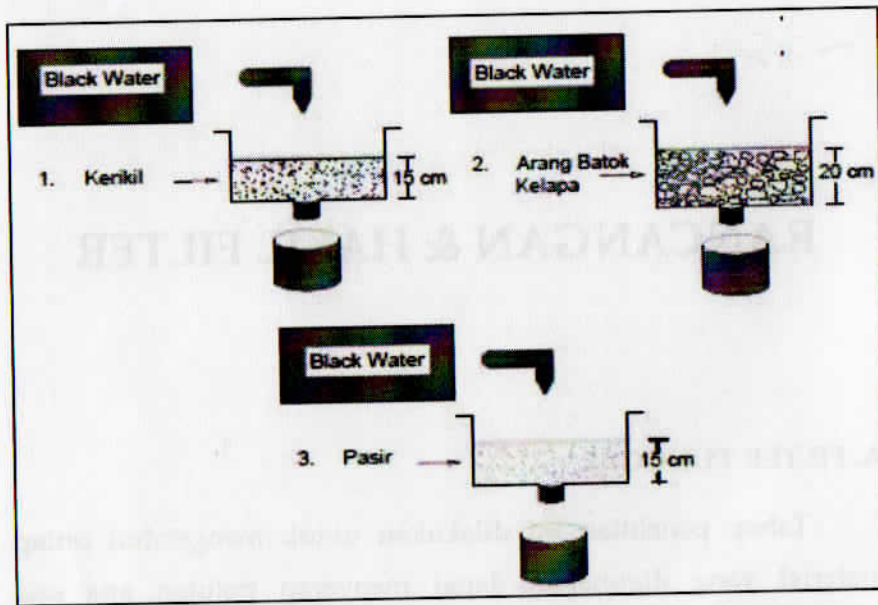
Gambar 8. Akar Wangi dan *Cattail*



RANCANGAN & HASIL FILTER

A. FILTER TUNGGAL

Tahap penelitian ini dilakukan untuk mengetahui setiap material yang digunakan dapat menyerap polutan apa saja sehingga hasilnya dapat dianalisa. Material yang digunakan adalah kerikil, arang dan pasir. Langkah awal yaitu siapkan semua bahan kemudian isikan pada masing-masing kotak penelitian. Jika sudah siap maka tuanglah air limbah *blackwater* pada setiap kotak penelitian samapai jenuh. Kalau sudah jenuh, maka bukalah kran masing-masing percobaan dan ditampung untuk diperiksa sesuai parameter yang terpilih. Rancangan metode pengolahan limbah *blackwater* dengan filter tunggal yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan secara visual melalui gambar 5.2. Material filter yang digunakan adalah kerikil, arang dan pasir, dengan ketebalan masing-masing adalah 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.



Gambar 9.

Skema Pengolahan *blackwater* dengan filter tunggal

Dalam penelitian ini, pengamatan dilakukan dengan mengukur parameter-parameter kualitas air terpilih, yang terdiri dari pH, Suhu, TSS, TDS, BOD, dan COD. Berikut ditunjukkan tabel deskriptif dari hasil pengolahan limbah *blackwater* dengan menggunakan perlakuan filter tunggal, yakni kerikil, arang, dan pasir secara individual:

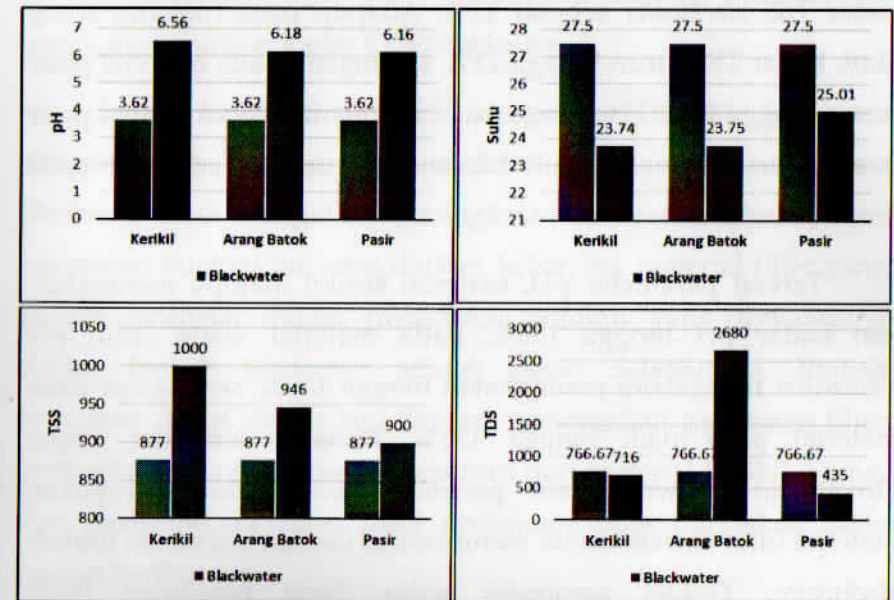
Tabel 1.

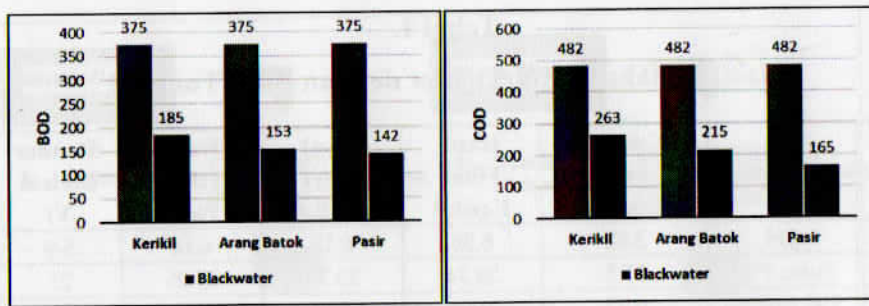
Hasil Perlakuan *Blackwater* dengan filter Tunggal

No	Parameter	Kondisi Awal <i>Blackwater</i>	Hasil Filter Kerikil	Hasil Filter Arang Batok	Hasil Filter Pasir	Standar (Kelas I V)
1	pH	3.62	6.56	6.18	6.16	5-9
2	Suhu (°C)	27.5	23.74	23.75	25.01	21
3	TSS (mg/L)	877	1000	946	900	400
4	TDS (mg/L)	766.67	716	2680	435	2000
5	BOD (mg/L)	375	185	153	142	12
6	COD (mg/L)	482	263	215	165	100

Sumber: Hasil penelitian

Berikut disajikan grafik perubahan kualitas air pada limbah *blackwater* berdasarkan masing-masing parameter yang diukur:





Gambar 10.

Grafik filter tunggal dari hasil penelitian

Penelitian awal dilakukan dengan menggunakan perlakuan filter tunggal, yakni kerikil, arang dan pasir untuk meningkatkan kualitas limbah *blackwater*. Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan melalui tabel dan grafik di atas, dapat diketahui bahwa proses filtrasi dengan material kerikil mampu menurunkan kadar TSS *blackwater* sebesar 17%. Adapun pada material arang aktif, kadar TSS turun hingga 21%, sedangkan pada material pasir turun hingga 25%. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa pasir merupakan material terbaik dalam menurunkan kadar TSS pada limbah *blackwater*.

Terkait parameter pH, material kerikil mampu meningkatkan kadar pH hingga 150%. Pada material arang aktif, pH *blackwater* mengalami peningkatan hingga 136%, sedangkan pada material pasir naik hingga 135%. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa dalam penelitian ini kerikil merupakan material filter terbaik untuk menurunkan derajat keasaman limbah *blackwater*. Terkait parameter suhu, hasil penelitian tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan antara suhu

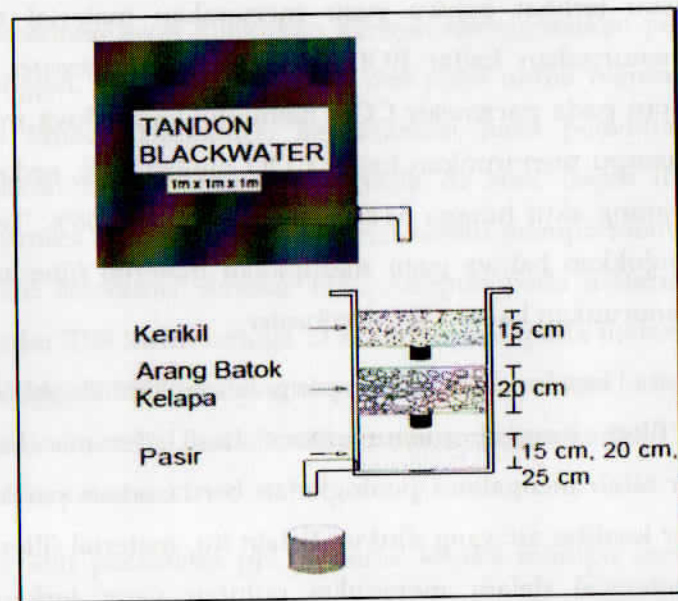
blackwater sebelum dan sesudah perlakuan. Keadaan tersebut berlaku pada ketiga material filter yang digunakan.

Penelitian ini juga menunjukkan temuan bahwa kadar TDS *blackwater* tidak mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan hasil filtrasi dengan material arang, kadar TDS justru meningkat hingga 280%. Selanjutnya, berdasarkan hasil pengukuran pada parameter BOD, material kerikil mampu menurunkan kadar BOD hingga 49%. Sedangkan pada material arang aktif turun hingga 58%, dan pada hasil filtrasi dengan material pasir turun hingga 61%. Disini terlihat bahwa pasir merupakan material terbaik dalam menurunkan kadar BOD pada limbah *blackwater*. Hasil pengukuran pada parameter COD menunjukkan bahwa material kerikil mampu menurunkan kadar COD hingga 44%, sedangkan material arang aktif hingga 54%, dan pasir hingga 65%. Temuan ini menunjukkan bahwa pasir merupakan material filter terbaik untuk menurunkan kadar COD *blackwater*.

Secara keseluruhan, hasil pengolahan limbah *blackwater* dengan filter tunggal menunjukkan hasil dimana kualitas *blackwater* telah mengalami peningkatan berdasarkan parameter-parameter kualitas air yang diukur. Selain itu, material filter yang paling potensial dalam mereduksi polutan yang terkandung dalam limbah *blackwater* adalah pasir. Selanjutnya, limbah *blackwater* dapat diolah lagi dengan menerapkan perlakuan filter bertingkat, yakni kombinasi bersusun dari material kerikil, arang, dan pasir. Secara rinci, hasil perlakuan akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

B. FILTER BERTINGKAT

Desain filter bertingkat yang diterapkan dalam penelitian ini dijelaskan melalui gambar 5.2. Pada tahap percobaan ini, material filter disusun secara bertingkat berdasarkan tekstur dan karakteristiknya, yakni mulai dari partikel kasar ke halus (Kerikil, arang, kemudian pasir). Ketebalan material kerikil yang digunakan adalah 15 cm, sedangkan arang 20 cm. adapun pada material pasir, digunakan tiga variasi ketebalan, yakni 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.



Gambar 11.

Skema Pengolahan *Blackwater* dengan Filter Bertingkat

Tabel 2 berikut menjelaskan hasil penelitian secara deskriptif terkait karakteristik limbah *blackwater* selama proses pengolahan dengan metode filter bertingkat.

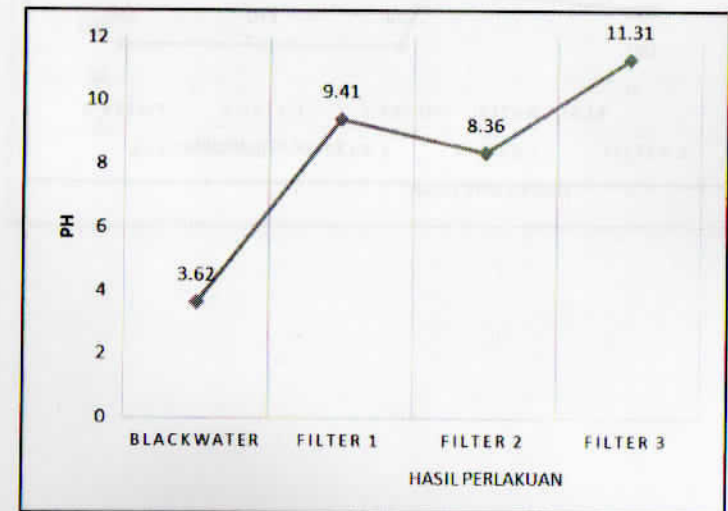
Tabel 2.

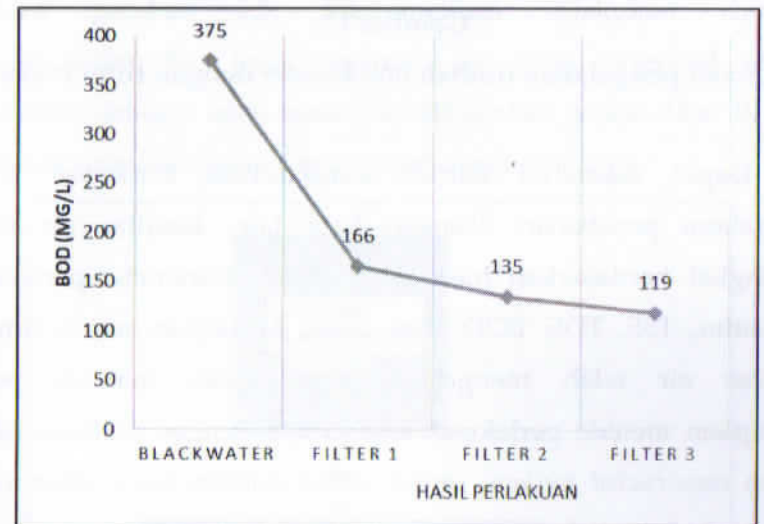
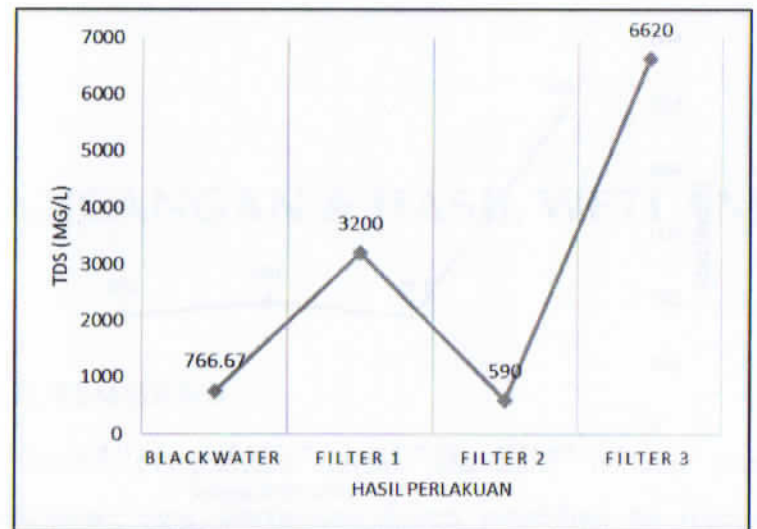
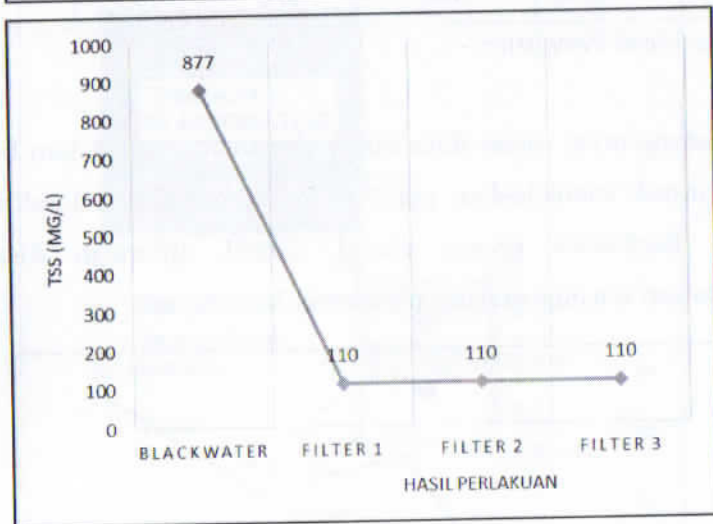
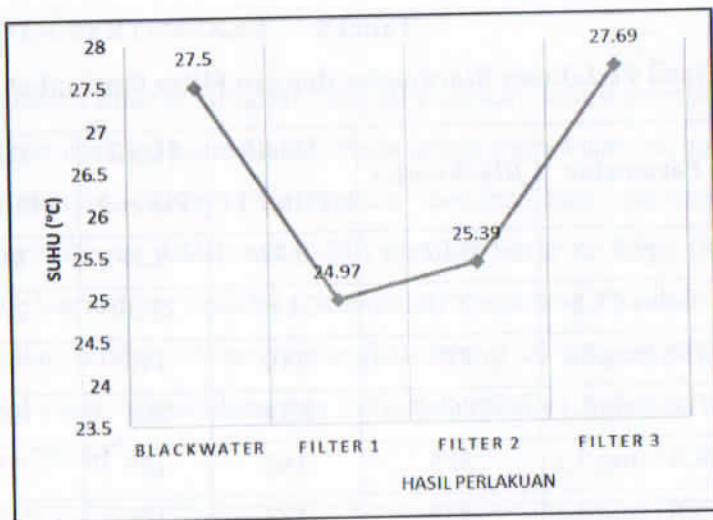
Hasil Perlakuan *Blackwater* dengan Filter Bertingkat

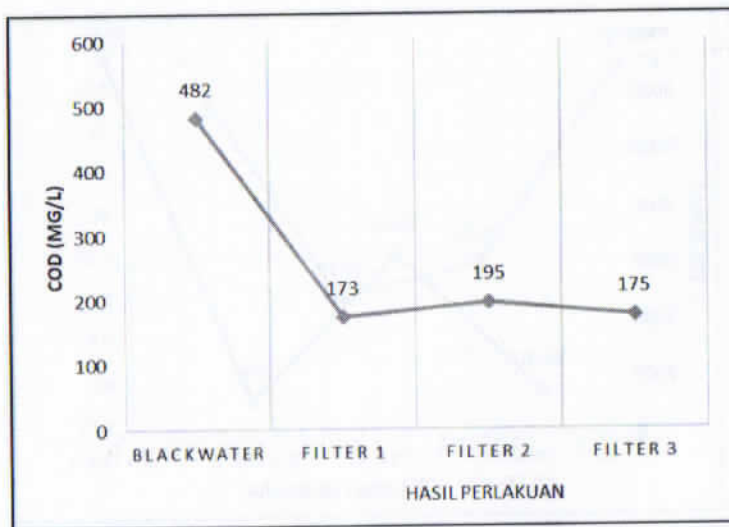
No	Parameter	<i>Blackwater</i>	Hasil Filter 1	Hasil Filter 2	Hasil Filter 3
1	pH	3.62	9.41	8.36	11.31
2	Suhu (°C)	27.5	24.97	25.39	27.69
3	TSS (mg/L)	877	110	110	110
4	TDS (mg/L)	766.67	3200	590	6620
5	BOD (mg/L)	375	166	135	119
6	COD (mg/L)	482	173	195	175

Sumber: Hasil Penelitian

Selanjutnya, sajian data diatas ditransformasi dalam bentuk grafik untuk menjelaskan perubahan (peningkatan) kualitas air limbah *blackwater* secara visual. Grafik dibawah disajikan berdasarkan masing-masing parameter kualitas air.







Gambar 12.

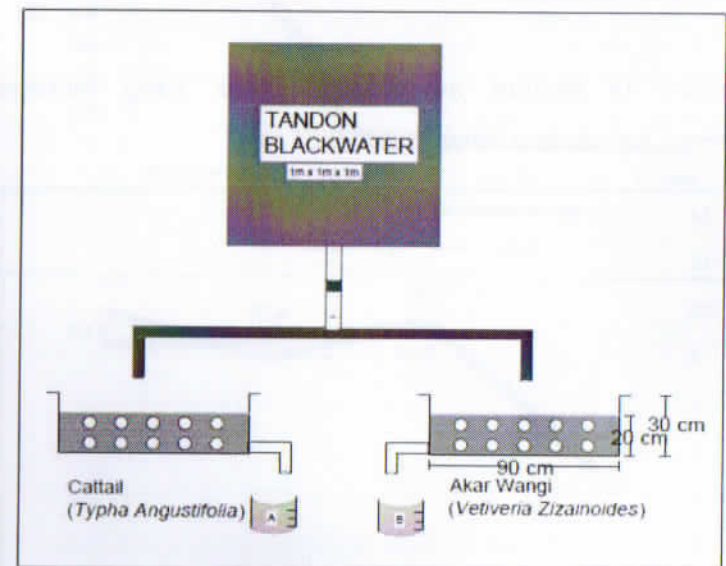
Grafik hasil pengolahan limbah *blackwater* dengan filter bertingkat

Dapat diketahui bahwa karakteristik *blackwater* telah mengalami perubahan. Dengan kata lain, kualitas air telah meningkat berdasarkan hasil pengukuran parameter-parameter pH, suhu, TSS, TDS, BOD, dan COD. Meskipun secara umum kualitas air telah mengalami peningkatan, namun perlu diterapkan metode perlakuan selanjutnya dengan menggunakan sistem *constructed wetland* untuk mendapatkan hasil akhir yang memenuhi kriteria baku mutu air kelas IV (air pertanian).

RANCANGAN & HASIL WETLAND

A. FITOREMEDIASI

Desain pengolahan limbah *blackwater* melalui metode fitoremediasi yang diterapkan dalam penelitian ini dijelaskan melalui gambar 5.5. Fitoremediasi dilakukan dengan menggunakan dua jenis tanaman air yang potensial untuk digunakan sebagai agen remediasi air limbah, yakni Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan *Cattail* (*Typha angustifolia*).



Gambar 13.

Skema Pengolahan limbah *Blackwater* dengan Fitoremediasi

Tabel 3 berikut menyajikan hasil pengolahan limbah *blackwater* dengan metode fitoremediasi. Pada bagian ini, parameter kualitas air yang diukur hanya empat, yaitu pH, suhu, TDS, dan TSS. Pengamatan dilakukan pada interval 7 hari, 14 hari, dan 21 hari.

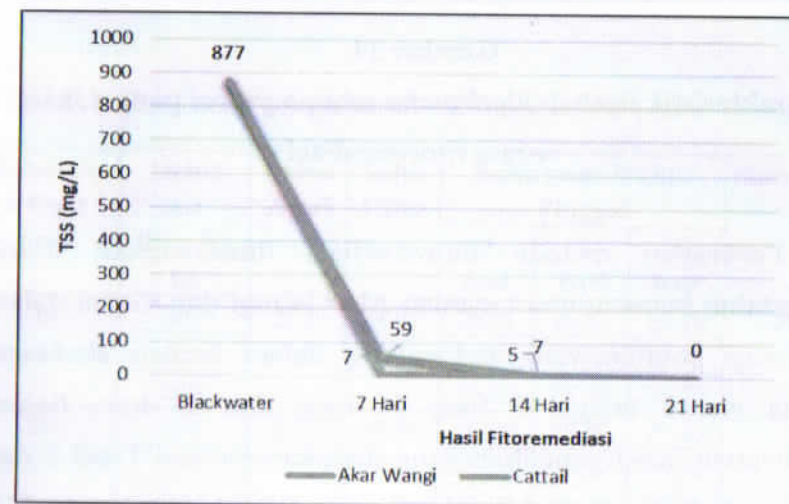
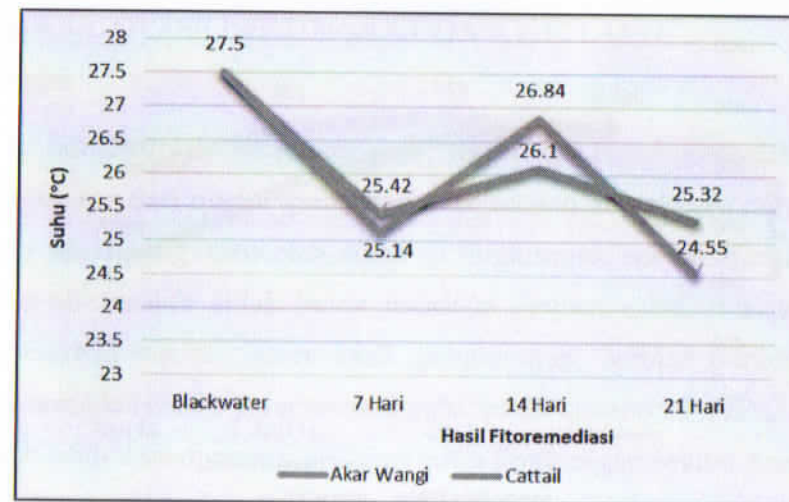
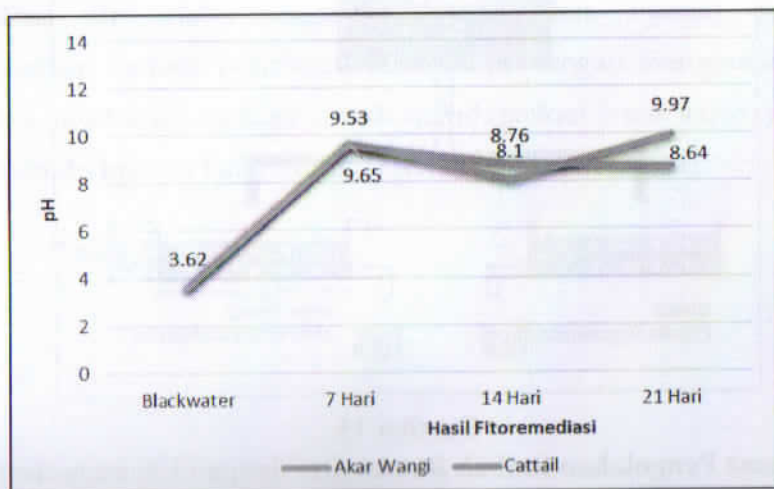
Tabel 3.

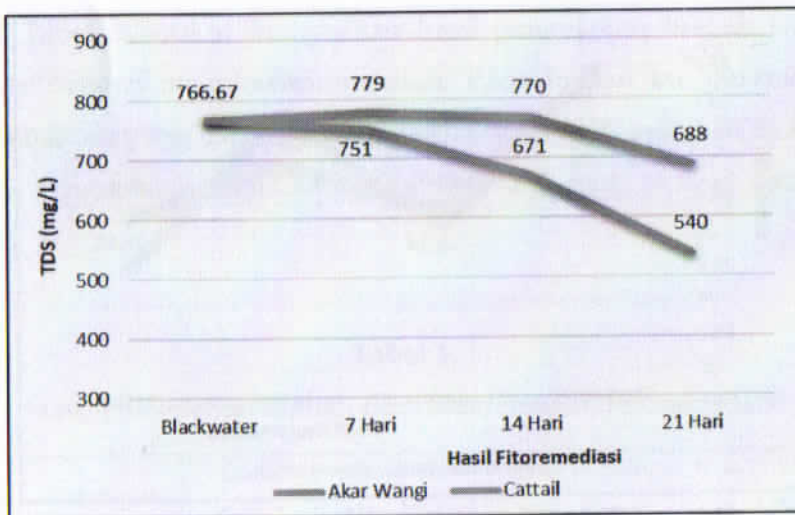
Hasil Pengolahan limbah *Blackwater* dengan Fitoremediasi

No	Parameter	Data <i>Black 3</i>	Usia 7 Hari		Usia 14 Hari		Usia 21 Hari		
			AW	<i>Cattail</i>	AW	<i>Cattail</i>	AW	<i>Cattail</i>	
1	pH	3.62	9.53	9.65	8.76	8.1	8.64	9.97	mati
2	Suhu (°C)	27.5	25.14	25.42	26.84	26.1	24.55	25.32	mati
3	TSS (mg/L)	877	7	59	7	5	0	0	mati
4	TDS (mg/L)	766.67	751	779	671	770	540	540	mati

Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 14 berikut menyajikan grafik yang merupakan transformasi sajian data dalam tabel 3 di atas.





Gambar 14.

Karakteristik limbah *blackwater* selama proses pengolahan secara fitoremediasi

Penerapan metode fitoremediasi dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan tanaman Akar Wangi dan *Cattail* dalam menyerap polutan yang terkandung dalam limbah *blackwater* selama waktu tinggal 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Secara keseluruhan, hasil penelitian yang disajikan melalui Tabel 3 dan Gambar diatas menunjukkan hasil yang tidak begitu bagus. Hal tersebut dikarenakan tanaman *Cattail* mati pada waktu pengamatan ketiga (21 hari).Tanaman *Cattail* diduga tidak tahan dengan karakteristik media yang hanya terdiri dari air saja, sedangkan habitat aslinya adalah lumpur. Adapun tanaman Akar Wangi masih mampu bertahan hidup dan subur.

B. HASIL FILTER BERTINGKAT DAN WETLAND

1. Suhu

Suhu adalah parameter yang digunakan untuk menunjukkan temperatur dari media (pada kasus ini adalah air). Secara normal, suhu air dipengaruhi oleh suhu di lingkungan sekitar dan nilai suhu air terukur tidak boleh melebihi deviasi $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu lingkungan sekitar. Dari hasil pengamatan, semua perlakuan menunjukkan suhu yang normal yaitu pada kisaran $25 - 27^{\circ}\text{C}$ dan tidak lebih dari deviasi $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu lingkungan sekitar tempat penelitian.

Tabel 4. Data hasil pengukuran suhu *blackwater* (Akar Wangi)

Ketebala n Pasir (cm)	Debit Air (liter/ha ri)	Suhu Awal	Suhu Filter	Suhu pada Waktu Tinggal			Standar
				2 hari	4 hari	6 hari	
15	200	27.5	24.97	26.11	25.87	25.10	21
	220			26.02	25.56	25.31	
	240			25.92	25.34	25.77	
20	180	27.5	25.39	26.00	25.80	25.00	
	210			25.86	25.57	25.54	
	230			25.95	25.66	25.11	
25	240	27.5	27.69	26.00	25.00	25.49	
	250			25.83	25.47	25.67	
	260			25.04	25.73	25.71	

Sumber: Hasil Penelitian

Pada gambar 5.13, terlihat bahwa suhu limbah *blackwater* berbeda-beda antar waktu tinggal. Hal tersebut merupakan hasil dari waktu pengukuran yang berbeda serta lokasi atau

Cattail 700 mg/L standar 2000 mg/L; COD AW 105 mg/L dan *Cattail* 96 mg/L standar 100 mg/L; lima parameter tersebut masuk pada standar kualitas air pertanian, sedangkan BOD AW 91 mg/L dan *Cattail* 57 mg/L standar 12 mg/L, dan telah mendekati standar pertanian.

Hasil model fisik pengolahan limbah filter bertingkat dan *wetland*, masuk pada standar kualitas air pertanian.

3. Persamaan kualitas air pada model fisik adalah :

- a. Tanaman Akar Wangi = $6.585 - 0.010 X_1 - 0.164 X_2 - 0.281 X_3 + e$ (X_1 debit, X_2 tebal pasir, X_3 waktu tinggal pada *wetland*)
- b. Tanaman *Cattail* = $6.927 - 0.012 X_1 - 0.148 X_2 - 0.310 X_3 + e$ (X_1 debit, X_2 tebal pasir, X_3 waktu tinggal pada *wetland*)

Persamaan model didapatkan guna untuk mendapatkan kualitas air buangan dengan menyesuaikan debit limbah yang ada sehingga sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Debit model maksimum mampu menampung 42,768 liter/ hari, sedangkan debit IPAL aktual untuk 120 KK menampung 30 liter/hari. Dari hasil perhitungan didapatkan selisih 12,768 liter/ hari yang dipersiapkan jika ada tambahan pada anggota keluarga masing-masing.

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 Sungai 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 WaterPurification 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/ijerph15030477.
- 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 Growth 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. Anurakpongsatorn, 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 Bayongbong" (*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>mck-terpadu <http://sosok.wordpress.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 Agriqultural 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