



Kebutuhan akan air bersih yang semakin meningkat menjadikan inovasi pengolahan air limbah begitu penting. Di sisi lain, kita dikelilingi dengan berbagai sumber daya potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai agen penyaring limbah, seperti batu kerikil, pasir, dan arang. Tanaman air juga dapat dimanfaatkan sebagai fitoremediator yang akan semakin menyempurnakan penyaringan polutan dalam air limbah. Sejauh ini, pengolahan limbah telah berhasil menyulap air septic tank menjadi air pertanian. Namun, pernahkah kita berpikir bahwa air luaran dari instalasi pengolahan dapat ditingkatkan lagi?

Buku ini memberikan gambaran faktual bahwa limbah septic tank dapat diolah hingga menjadi air bersih berdasarkan klasifikasi air kelas II. Menariknya, hal tersebut cukup sederhana dan dapat dipraktikkan oleh siapa saja karena peralatan dan bahan cukup mudah diperoleh dengan biaya yang relatif murah. Keberhasilan inovasi yang dijelaskan dalam buku ini secara tersirat dapat menjadi motivasi bagi pembaca yang ingin berpartisipasi dalam upaya konservasi sumber daya air secara mandiri. Selamat membaca!



Lies Kurniawati Wulandari, MT (ITN)
Dr. Ir. Mohammad Bisri, MS. IPU. (UB)
Anik Astuti Rahman, ST.MT. (ITN)
Sientot Achmadi, Msi. (ITN)



PENGOLAHAN LANJUT BLACKWATER MENJADI AIR BERSIH

Pengolahan Lanjut Blackwater Menjadi Air Bersih

Penulis:

Dr. Ir. Lies Kurniawati Wulandari, MT

Prof. Dr. Ir. Mohammad Bisri, MS. IPU.

Dr. Nanik Astuti Rahman, ST.MT.

Dr. Ir. Sentot Achmadi, MSi.

Barokah Dua Paragraf
Malang 2022

Pengolahan Lanjut *Blackwater* Menjadi Air Bersih

Penulis:

Dr. Ir. Lies Kurniawati Wulandari, MT
Prof. Dr. Ir. Mohammad Biari, MS. IPU.
Dr. Nanik Astuti Rahman, ST.MT.
Dr. Ir. Sentot Achmadi, MSI.

ISBN: 978-623-98122-3-2

Desain Cover & Tata Letak: Tim Desain Paragraf
Cetakan Pertama, Maret 2022

@Barokah Dua Paragraf
Malang, Maret 2022
106 halaman, 15,5 x 23 cm

Diterbitkan oleh:

CV Barokah Dua Paragraf
Perum Griya Sampurna Sejahtera E7/5-Malang
Email: paragrafpenerbit@gmail.com

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

Prakata

Pemenuhan kebutuhan dasar manusia akan air bersih menjadi hal wajib yang harus selalu menjadi perhatian, terlebih dengan maraknya pencemaran lingkungan yang kian mengancam ketersediaan sumber daya air bersih. Salah satu jenis air limbah yang menarik untuk diolah adalah limbah septic tank -atau yang dikenal dengan sebutan *blackwater*- yang tidak lain adalah kumpulan dari kotoran manusia. *Blackwater* adalah salah satu jenis air limbah dengan kandungan polutan yang berat, yakni karena kandungan bahan organik yang sangat tinggi, dan berbagai mikroba patogen. Dengan kondisi tersebut, "*mungkinkah blackwater dapat diolah hingga menjadi air bersih?*"

Buku ini menyajikan kompilasi kajian pustaka sekaligus hasil percobaan langsung di lapangan bersama tim ahli untuk menjawab pertanyaan tersebut. Penjelasan diuraikan dengan sistematis agar mudah diikuti. Selain itu, buku ini akan memberikan gambaran nyata bahwa pengolahan air limbah septic tank yang terkesan "sulit" menjadi "mungkin", bahkan untuk dilakukan oleh siapapun. Penulis berharap buku ini dapat menginspirasi pembaca sesuai kemampuan masing-masing, di lingkungan/daerah masing-masing, untuk turut aktif dalam melakukan upaya konservasi air.

Daftar Isi

Prakata ... iii

Daftar Isi ... v

Bab 1. Pendahuluan ... 1

Bab 2. Potensi dan Urgensi Pengembangan Teknologi ... 5

Bab 3. Mengenal Blackwater ... 9

Bab 4. Parameter Kualitas Air dan Signifikansinya ... 13

Bab 5. Agen Remediator Polutan ... 25

Bab 6. Pengolahan Lanjutan *Blackwater* ... 31

Bab 7. Hasil Pengolahan IPAL ... 39

Referensi ... 61

Lampiran ... 67

Tentang Penulis ... 95

01

Pendahuluan

Kehidupan manusia yang senantiasa padat akan berbagai aktivitas selalu aktif menghasilkan limbah dalam berbagai bentuk, termasuk limbah cair. Hal tersebut menjadikan upaya pengolahan limbah sebagai program yang harus selalu diaktualisasikan di lapangan. Salah satu jenis limbah yang memerlukan perhatian serius adalah limbah septic tank atau yang juga dikelompokkan dengan sebutan "*blackwater*". Jenis limbah domestik ini memerlukan pengolahan yang tepat agar nantinya dapat dibuang tanpa menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan [1]. Limbah septic tank identik dengan kandungan bahan organik yang tinggi, sehingga apabila diolah dengan baik, luaran yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan kembali dalam memenuhi kebutuhan air bersih.

Salah satu faktor yang mendasari tingginya produksi limbah cair adalah kepadatan penduduk. Semakin besar pertumbuhan penduduk dapat menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki daya tarik tersendiri untuk ditinggali. Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin besar dari waktu ke waktu juga memberikan dampak terhadap peningkatan kebutuhan akan sarana dan prasarana di suatu wilayah. Salah satu dampak yang terjadi akibat pertumbuhan jumlah penduduk adalah peningkatan jumlah penggunaan air bersih. Air bersih ini akan digunakan oleh manusia untuk melakukan kegiatan produksi maupun konsumsi sehari-hari seperti kegiatan industri, pertanian, peternakan, memasak,

mencuci, mandi, dan sebagainya [2]. Setiap kegiatan produksi dan konsumsi air bersih oleh manusia tidak dapat lepas dari residu yang sudah tidak dapat dimanfaatkan lagi (limbah).

Korelasi yang kuat antara kepadatan penduduk dengan tingginya aktivitas manusia menjadikan kebutuhan akan sumber daya air semakin meningkat. Sementara itu, ketersediaan sumber daya seakan semakin terbatas jika tidak diiringi dengan upaya pengolahan limbah yang tepat. Hal ini sering kali tidak didukung oleh penyediaan prasarana sanitasi lingkungan yang seimbang. Sebagai produk akhir dalam pemakaian air bersih selama melakukan aktivitas kehidupan, air limbah memerlukan penanganan yang memadai karena dapat memberi dampak yang cukup serius bagi lingkungan dan manusia jika tidak dikelola dengan baik. Dampak tersebut antara lain mencemari sumber air baku yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih [3].

Degradasi lingkungan dapat tercermin dari tingginya pencemaran oleh air limbah domestik. Penurunan kualitas atau rusaknya keseimbangan suatu lingkungan hidup antara lain disebabkan oleh meningkatnya tingkat pencemaran. Baik pencemaran pada komponen atmosfer, hidrosfer, maupun litosfer akibat limbah buangan pertanian, rumah tangga, dan industri yang telah melampaui ambang batas yang telah ditentukan [4]. Pencemaran tersebut terjadi akibat jumlah beban yang dibuang ke dalam saluran atau perairan sungai telah melampaui kesanggupan alami air sungai guna pemurnian kembali.

Ahli menyatakan bahwa air limbah domestik menduduki peringkat tertinggi sebagai sumber polutan lingkungan sungai, di mana tingkat masukan jenis air limbah tersebut hingga mencapai 75% dari beban organik yang berada di dalam sungai [5]. 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*. Air limbah *blackwater* berasal dari kotoran

manusia yang perlu pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai karena mengandung bakteri patogen [6]. Pada umumnya *blackwater* ditampung ke dalam *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 mencuci pakaian, dan air mandi yang biasanya langsung dibuang ke saluran drainase ataupun ke aliran sungai.

Sejauh ini, pengolahan air limbah septic tank sangat bergantung dari pengembangan teknologi IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Meskipun telah menunjukkan hasil yang nyata dalam mengurangi polutan dalam limbah domestik, namun teknologi tersebut masih perlu ditingkatkan. Instalasi pengolahan air limbah tersebut sederhananya adalah sebuah septic tank raksasa yang dibangun dengan teknologi yang lebih baik dengan menggunakan potensi kinetik dan menggunakan filter 5-7 lapis dapat mengubah limbah cair dan keluarannya diharapkan menjadi air sesuai standard baku mutu limbah domestik yang layak untuk disalurkan ke sungai, atau bahkan dimanfaatkan kembali. Limbah tersebut setelah melalui endapan pada beberapa kolam kemudian langsung dibuang ke sungai. Salah satu contoh instalasi pembuangan air limbah yang cukup terkenal adalah IPAL Komunal Tlogomas yang terdapat di Kota Malang.

Teknologi yang diterapkan dalam instalasi pengolahan limbah domestik pada umumnya adalah berbasis penyaringan dan pengendapan. Pendekatan tersebut tentunya dapat dikembangkan lagi dengan melanjutkan proses pengolahan air limbah melalui pengendapan pada lahan basah buatan. Lahan basah buatan -atau yang umum dikenal dengan istilah *constructed wetland*- merupakan lahan basah buatan yang dikelola dan dikontrol oleh manusia sebagai solusi pengolahan air buangan dengan menggunakan tanaman, aktivitas mikroba dan proses alami lainnya [7]. Lahan basah terdiri atas tiga faktor utama, yakni area yang digenangi air dan mendukung hidupnya tanaman air, memerlukan

tanah sebagai media tumbuh tanaman, serta jenuh air. Perpaduan antara dua teknologi tersebut akan berpotensi meningkatkan kualitas air limbah menjadi lebih baik lagi.

Secara garis besar, gambaran di atas menjelaskan bahwa pengolahan air limbah domestik melalui instalasi pengolahan yang selama ini diterapkan sejatinya masih belum maksimal. Apabila hasil pengolahan limbah *blackwater* masih belum memenuhi standar kualitas air, maka hal tersebut akan berdampak negatif bagi lingkungan. Hal ini berkaitan dengan masih tingginya kandungan bahan organik dan polutan yang terkandung di dalamnya. Pengolahan air limbah dapat disederhanakan dengan menggunakan melihat gambaran peneliti terdahulu menunjukkan bahwa kerikil, arang, dan pasir dapat dimanfaatkan sebagai material filter dalam pengolahan limbah. Selain itu, *treatment* juga dapat ditempuh dengan menggunakan agen remediasi berupa tanaman air.

Tulisan ini menyajikan hasil eksperimen terkait pengembangan teknologi pengolahan limbah di lapangan berdasarkan kekurangan-kekurangan yang dijumpai. Pemilihan seluruh bahan yang akan dimanfaatkan untuk merancang model fisik pengolahan limbah *blackwater* tidak hanya berdasarkan pada potensinya. Peneliti juga mempertimbangkan keberadaan bahan-bahan tersebut yang mudah didapatkan. Dengan kata lain, pemanfaatan model fisik nantinya tidak hanya bertujuan untuk mengolah limbah secara efektif dalam skala atau lingkup tertentu. Namun juga bertujuan untuk menghasilkan teknologi pengolahan limbah yang mudah diaplikasikan oleh masyarakat umum dan dalam skala apapun. Peningkatan kualitas air limbah dievaluasi dengan mengukur beberapa parameter kualitas air. Konsep pengolahan air limbah dikembangkan dengan mempertimbangkan poin kekurangan yang dijumpai di lapangan, gambaran penelitian-penelitian terdahulu, serta ketersediaan sumber daya pendukung.

02

Potensi dan Urgensi Pengembangan Teknologi

Secara umum, terdapat tiga proses pengolahan air limbah yang selama ini dijumpai di lapangan. Proses tersebut terdiri dari proses fisika, kimia, dan biologi. Proses fisika sederhananya meliputi penyaringan, pengendapan dan pengapungan. Proses kimia dilakukan dengan memanfaatkan bahan kimia untuk menetralkan bahan pencemar yang terkandung dalam air limbah. Sementara itu, proses biologi menghilangkan polutan menggunakan kerja mikroorganisme [8]. Pada kenyataannya proses pengolahan ini tidak berjalan sendiri tapi sering harus dilaksanakan dengan kombinasi dari ketiga proses tersebut untuk menghasilkan luaran air dengan peningkatan kualitas yang optimal.

Para ahli dan akademisi telah melaporkan banyak model pengolahan limbah domestik, baik dengan sistem filtrasi tunggal, filtrasi bertingkat, pengendapan dengan lahan basah buatan, maupun perpaduan dari teknologi-teknologi tersebut. Pada eksperimen ini, pengolahan *blackwater* dilakukan melalui dua tahap, yaitu dengan cara penyaringan sebuah filter yang dilanjutkan dengan menggunakan tanaman air, yakni dengan sistem lahan basah dan sistem akuaponik. Ilustrasi pengolahan limbah cair domestik sebelumnya telah dijelaskan oleh para ahli dan akademisi, dimana pengolahan air limbah diawali dengan penampungan pada sebuah septic tank dan selanjutnya dialirkan pada sebuah

sistem penyaringan dengan memanfaatkan material pasir hingga diperoleh hasil yang memenuhi standar dan layak untuk dibuang [9]. Namun, metode tersebut dapat dilanjutkan dengan memanfaatkan tanaman air untuk meningkatkan kualitas limbah melalui proses remediasi.

Penggunaan teknik filtrasi akan selalu relevan untuk diterapkan. Salah satu penelitian terdahulu menunjukkan hasil bahwa penggunaan filter pasir jeram dengan ketebalan 800mm efektif dalam menurunkan kadar Fe dan Mn. Penggunaan filter mampu mengurangi kandungan Fe dan Mn hingga 0,02 dan 0.1 mg/l, sehingga output yang dihasilkan telah memenuhi baku mutu [4]. Selain itu, penelitian lain menjelaskan bahwa kerikil dapat digunakan sebagai filter limbah, dimana kerikil (diameter 0,5-2,0 cm) dapat menurunkan kadar lipid dan deterjen serta menetralkan pH [10]. Di lain penelitian, dijelaskan bahwa arang memiliki kandungan karbon aktif, sehingga mampu menghilangkan bahan pencemar kimiawi [1]. Penerapan metode filtrasi sebelumnya telah terbukti efektif untuk menjernihkan air, hal ini dibuktikan dalam sebuah penelitian yang menerapkan desain filter dengan memanfaatkan material pecahan bata, batu kerikil, ijuk, arang dan kemudian pasir [11]. Selain efektif, metode tersebut juga efisien dan mudah diterapkan khususnya di negara berkembang seperti Indonesia.

Dalam eksperimen ini, sistem filtrasi dilanjutkan dengan remediasi dengan menggunakan tanaman air, di mana pendekatan tersebut dilakukan dengan sistem lahan basah buatan, kemudian dilanjutkan dengan sistem akuaponik. Penelitian terdahulu menunjukkan hasil bahwa sistem *wetland* dapat mencapai efisiensi dan efektivitas yang tinggi untuk menurunkan kandungan bahan organik dan anorganik serta kandungan patogen lain jika dikelola dengan benar dan efisien. Sehingga, *wetland* dapat menjadi solusi yang berguna dalam pengelolaan dan konservasi sumber daya air yang semakin langka. Tanaman air secara simultan berperan besar dalam pemurnian air limbah. Penggunaan tanaman air memiliki

keunggulan antara lain biaya operasional rendah dan teknologi yang sederhana [5], [12]. Selain dapat digunakan sebagai agen bioremediasi, tanaman Akar Wangi juga memiliki ketahanan yang tinggi terhadap polutan. Sedangkan tanaman *Cattail* telah terbukti mampu meningkatkan kualitas indikator air limbah secara signifikan dengan nilai efektivitas lebih dari 80% pada parameter BOD, COD dan TKN [13].

Teknik filtrasi diterapkan secara bertingkat dengan memanfaatkan material-material potensial yang mudah diperoleh di lapangan. Beberapa contoh material filter tersebut misalnya kerikil, batu kali, pasir, arang, serat batok kelapa, dan lain-lain [14]. Material filter dapat dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menyerap kotoran yang ada. Air keluaran dari filter tersebut diatas akan ditampung yang kemudian digunakan sebagai air tanaman yang berfungsi sebagai filter terakhir dengan waktu tinggal. Sistem remediasi dengan tanaman air tersebut disebut dengan perpaduan sistem lahan basah buatan (*wetland*) yang dilanjutkan dengan sistem akuaponik. Sehingga secara keseluruhan, eksperimen ini menerapkan kombinasi dari tiga proses pengolahan, yakni filtrasi bertingkat, lahan basah buatan, dan akuaponik. Aliran limbah septic tank diterima oleh unit filter bertingkat terlebih dahulu, kemudian dialirkan dan diendapkan ke unit lahan basah. Terakhir, proses tersebut disempurnakan kembali dengan mengalirkan air dari lahan basah ke unit akuaponik.

03

Mengenal Blackwater

Air limbah domestik adalah air bekas yang tidak dapat dipergunakan lagi untuk tujuan semula baik yang mengandung kotoran manusia (tinja) atau dari aktifitas dapur, kamar mandi dan cuci. Air limbah domestik dapat didefinisikan sebagai cairan atau limbah yang dibawa zat cair dari rumah tangga dan industri, bersama dengan air tanah, air permukaan. Limbah cair tersebut berasal dari toilet, bak cuci, air mandi, buangan dari mesin cuci serta proses industri dan kadang disebut air buangan (*sewage*). Limbah cair tersebut sebelum digunakan kembali haruslah diolah agar layak untuk digunakan. Buangan air dari unit pengolahan limbah merupakan sumber yang harus diperhitungkan dalam masalah kualitas air. Hasil penelitian menyebutkan limbah cair tersebut merupakan sumber air kedua yang ada di badan air (sungai, danau, laut, dan lain sebagainya) [15].

Setiap komunitas pasti menghasilkan limbah, baik padat maupun cair. Bagian yang cair merupakan bagian yang penting karena merupakan persediaan air bagi komunitas tersebut setelah dipergunakan untuk berbagai kebutuhan. Apabila limbah cair yang tidak terolah diijinkan untuk berakumulatif, dekomposisi dan material organik tersebut dapat meninggalkan bau busuk. Sebagai tambahan biasanya limbah cair tidak terolah mengandung bakteri patogen atau penyebab berbagai penyakit, mikroorganisme yang

tinggal dalam usus manusia maupun yang ada dari limbah industri tertentu. Limbah cair juga mengandung nutrisi yang dapat menstimulasi pertumbuhan tumbuhan air, yang dapat mengandung racun itu [16]. Karena alasan-alasan tersebut, penyingkiran zat-zat yang tidak diinginkan tersebut dilakukan secepatnya dan dilanjutkan dengan pengolahan dan pembuangan.

Air limbah domestik dikarakteristikan sebagai *grey water* dan *black water*. *Grey water* adalah limbah domestik yang berasal dari air bekas cucian piring, air bekas mandi dan cuci baju tidak termasuk air toilet. *Black water* adalah air limbah domestik yang dikeluarkan melalui toilet, urinoir dan bidets. Kedua jenis air limbah domestik ini terdapat dalam hubungan bagaimana air limbah tersebut seharusnya diolah. Dari kepentingan kesehatan masyarakat, air limbah *grey water* dan *black water* sebaiknya tidak digabung bersama [17].

Blackwater adalah air yang berasal dari pembilasan toilet (feces dan urin penyiraman). Dalam bahasa Indonesia, *blackwater* diartikan sebagai limbah hitam adalah air limbah yang berasal dari buangan biologis berbentuk tinja manusia, maupun buangan lainnya berupa cairan ataupun buangan biologis lainnya yang terbawa oleh air limbah rumah tangga bekas cuci piring, maupun limbah cairan dari dapur setiap manusia rata-rata mengeluarkan 250 gram limbah hitam (tinja dan air kencing) per hari, sehingga ribuan ton limbah hitam diproduksi setiap harinya, dan terus meningkat jumlahnya [18]. *Blackwater* mengandung empat komponen berbahaya, yakni:

1. Mikroba (seperti bakteri *Salmonella typhi* penyebab demam tifus dan bakteri *Mibriochoerae* penyebab kolera, hepatitis A, dan virus penyebab polio). Tinja manusia mengandung puluhan miliar mikroba, termasuk bakteri *E. coli*.
2. Materi organik berupa sisa dan ampas makanan yang tidak tercerna dalam bentuk karbohidrat, enzim, lemak, mikroba, dan sel-sel mati. Satu liter tinja mengandung materi organik yang setara dengan 200-300 BOD5. Kandungan BOD yang

tinggi mengakibatkan air mengeluarkan bau tak sedap dan berwarna hitam.

3. Telur cacing. Prevalensi anak cacangan yang diakibatkan cacing cambuk dan cacing gelang bisa mencapai 3% persen dari total seluruh balita di Indonesia.
4. Nutrien yang umumnya merupakan senyawa nitrogen (N) dan fosfor (P) yang dibawa oleh sisa protein dan sel-sel mati. Nitrogen keluar dalam bentuk senyawa amonium, sedangkan fosfor dalam bentuk fosfat. Satu liter tinja manusia mengandung amonium sekitar 25 mg dan fosfat seberat 30 mg. Senyawa nutrien memacu pertumbuhan ganggang (algae), sehingga warna air menjadi hijau. Ganggang menghabiskan oksigen dalam air sehingga ikan dan hewan air lainnya mati. Fenomena yang disebut eutrofikasi ini mudah dijumpai, termasuk di waduk dan danau [19].

Debit air limbah domestik diperkirakan sebesar 80% dari debit penggunaan air bersih, yaitu sebesar 97 L/orang/hari. Berdasarkan hasil survei, diperoleh debit *blackwater* sebesar 26 L/orang.hari, nilai tersebut telah sesuai dengan literatur literatur yang diperoleh. Debit *greywater* dapat dihitung dengan cara mencari selisih antara debit air limbah domestik dengan debit *blackwater*, yaitu sebesar 71 L/orang.hari. Jumlah penghuni Rumah Susun Tanah Merah sebanyak 1552 jiwa, sehingga diperoleh faktor puncak sebesar 1,3. Debit air limbah puncak dapat diperoleh dengan mengalikan debit air limbah rata-rata dengan faktor puncak. Debit puncak air limbah untuk seluruh unit rumah susun adalah 198,7 m³/hari [20].

Blackwater telah banyak dibahas dalam berbagai kajian empiris. Studi terdahulu menjelaskan bahwa limbah cair domestik yang dikenal sebagai *blackwater* merupakan limbah cair yang berasal dari toilet. Sedangkan yang dikenal sebagai *greywater* merupakan limbah cair yang berasal dari dapur, laundry dan kamar mandi. Paling tidak 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 [21], [22].

04

Parameter Kualitas Air dan Signifikansinya

4.1 Padatan Tersuspensi

TSS merupakan materi atau bahan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan air terdiri dari lumpur, pasir halus serta jasad-jasad renik yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa badan air . TSS merupakan salah satu faktor penting menurunnya kualitas perairan sehingga menyebabkan perubahan secara fisika, kimia dan biologi. Perubahan secara fisika meliputi penambahan zat padat baik bahan organik maupun anorganik ke dalam perairan sehingga meningkatkan kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke badan air. Berkurangnya penetrasi cahaya matahari akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton dan tumbuhan air lainnya [23].

Banyaknya TSS yang berada dalam perairan dapat menurunkan kesediaan oksigen terlarut. Jika menurunnya ketersediaan oksigen berlangsung lama akan menyebabkan perairan menjadi anaerob, sehingga organisme aerob akan mati. Tingginya TSS juga dapat secara langsung mengganggu biota perairan seperti ikan karena tersaring oleh insang. Nilai TSS dapat menjadi salah satu parameter biofisik perairan yang secara dinamis mencerminkan perubahan yang terjadi di daratan maupun di perairan. TSS sangat berguna dalam analisis perairan dan buangan domestik yang

tercemar serta dapat digunakan untuk mengevaluasi mutu air, maupun menentukan efisiensi unit pengolahan.

Total padatan tersuspensi (TSS) 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. 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 berguna untuk mengetahui kekuatan pencemaran air limbah domestik, sekaligus untuk penentuan efisiensi unit pengolahan air yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia dan radioaktif [24].

Bahan padat tersuspensi adalah bahan padat yang dihilangkan pada penyaringan (*filtration*) melalui media standar halus dengan diameter 1 mikron. Bahan padat tersuspensi dikelompokkan lagi dalam bahan padat tetap (*fixed solids*) dan yang menguap (*volatile solids*). Bahan padat yang menguap merupakan bahan yang bersifat organik yang diharapkan dapat dihilangkan melalui penguraian secara biologis (*biological degradation*) atau pembakaran (*incineration*). *Fixed solids* merupakan bahan padat yang bersifat tetap. Bahan padat tersuspensi selanjutnya dapat dikelompokkan lagi berdasarkan sifat atau kemampuan pengendapannya. Bahan padat yang dapat diendapkan (*settleable solids*) secara normal dapat dihilangkan dalam ukuran besar pada tangki sedimentasi bahan padat yang tidak dapat mengendap (*nonsettleable solids*) memerlukan perlakuan tambahan, baik secara kimia ataupun biologis, untuk menghilangkannya dari limbah cair. Kandungan bahan padat tersuspensi penting dalam perencanaan dan pembuangan, sebab menentukan persyaratan bangunan untuk penanganan lumpur, termasuk persyaratan untuk penghilangan air (*dewatering*) dan pengeringan (*drying*) lumpur untuk pembuangan akhir [25].

Padatan tersuspensi terdiri dari komponen terendapkan, bahan melayang dan komponen tersuspensi koloid. Padatan tersuspensi mengandung bahan anorganik dan bahan organik. Bahan anorganik antara lain berupa liat dan butiran pasir, sedangkan bahan organik berupa sisa-sisa tumbuhan dan padatan biologi lainnya seperti sel alga, bakteri dan sebagainya, dapat pula berasal dari kotoran hewan, kotoran manusia, lumpur dan limbah industri [26].

Nilai TSS air dapat diketahui menggunakan metode gravimetri. Metode gravimetri adalah pemeriksaan jumlah zat dengan cara penimbangan hasil reaksi pengendapan. Langkah pengukuran pada gravimetri adalah pengukuran berat. Analit secara fisik dipisahkan dari semua komponen lainnya maupun dengan solvenya. Persyaratan yang harus dipenuhi agar gravimetri dapat berhasil ialah terdiri dari proses pemisahan yang harus cukup sempurna sehingga kualitas analit yang tidak mengendap secara analit tidak ditentukan dan zat yang ditimbang harus mempunyai susunan tertentu dan harus murni atau mendekati murni [27].

Konsentrasi padatan tersuspensi mengancam kehidupan spesies ikan, yang menyebabkan infeksi yang menyusahkan dimana abrasi insang parah. Kemampuan mencari makanan ikan juga berkurang karena halangan yang disebabkan oleh padatan yang bergerak dalam suspensi yang selanjutnya membuat spesies ini tersedia bagi predator. Oksigen terlarut yang ada di dalam air sangat dipengaruhi oleh adanya partikel tersuspensi. Sinar matahari yang diserap oleh partikel tersuspensi, meningkatkan suhu air yang mengurangi kapasitas menahan oksigen dari air hangat dan mengganggu spesies air dingin. Keberadaan TSS lebih lanjut mengurangi produksi oksigen karena mengganggu penetrasi cahaya yang diperlukan untuk fotosintesis oleh tanaman [2], [28].

4.2 Padatan terlarut

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 [29].

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 [30]. 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.

Total Dissolved Solid (TDS) atau padatan terlarut adalah padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi. Bahan-bahan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika berlebihan dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan. Tingginya kadar TDS apabila tidak dikelola dan diolah dapat mencemari badan air. Selain itu juga dapat mematikan kehidupan akuatik, dan memiliki efek samping yang kurang baik pada kesehatan manusia karena mengandung bahan kimia dengan konsentrasi yang tinggi antara lain fosfat, surfaktan, ammonia, dan nitrogen serta kadar padatan tersuspensi maupun terlarut, kekeruhan, BOD₅, dan COD yang tinggi [31].

Zat padat terlarut TDS (*Total Dissolved Solid*) adalah terlarutnya zat padat, baik berupa ion, berupa senyawa, koloid di

dalam air. Sebagai contoh adalah air permukaan apabila diamati setelah turun hujan akan mengakibatkan air sungai maupun kolam kelihatan keruh yang disebabkan oleh larutnya partikel tersuspensi didalam air. Sedangkan pada musim kemarau air kelihatan berwarna hijau karena adanya genangan di dalam air. Konsentrasi kelarutan zat padat ini dalam keadaan normal sangat rendah, sehingga tidak kelihatan mata telanjang [32]. Residu dianggap sebagai kandungan total bahan terlarut dan tersuspensi dalam air. Selama penentuan residu ini, sebagian besar bikarbonat yang merupakan ion utama di perairan telah mengalami transformasi menjadi karbondioksida, sehingga karbondioksida dan gas-gas lain yang menghilang pada saat pemanasan tidak tercakup dalam nilai padatan total [33].

Padatan yang terdapat di perairan diklasifikasikan berdasarkan ukuran diameter partikel, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1 Klasifikasi padatan di Perairan

No	Klasifikasi	Ukuran Diameter μm	Ukuran Diameter mm
1	Padatan Terlarut	< 10 ⁻³	< 10 ⁻⁶
2	Koloid	10 ⁻³	10 ⁻⁶ - 10 ⁻³
3	Padatan Tersuspensi	> 1	> 10 ⁻³

Padatan Terlarut Total (*Total Dissolved Solid* atau TDS) adalah bahan-bahan terlarut (diamter < 10⁻⁶ mm) dan koloid (diamter 10⁻⁶ - 10⁻³ mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm TDS biasanya disebabkan oleh bahan anorganik yang berupa ion-ion yang biasanya ditemukan di perairan [34]. Adapun ion-ion yang terdapat di perairan ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.2 Ion-Ion diperairan

Major Ion (Ion Utama) (1,0-1.000 mg/liter)	Secondary Ion (Ion Sekunder) (0,01-10,0 mg/liter)
Sodium (Na)	Besi (Fe)
Kalsium (Ca)	Strontium (Sr)
Magnesium (Mg)	Kalium (K)
Bikarbonat (HCO ₃)	Karbonat (CO ₃)
Sulfat (SO ₄)	Nitrat (NO ₃)
Klorida (Cl)	Fluorida (F)
Boron (Br)	
Silika (SiO ₂)	

Total padatan terlarut merupakan konsentration jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air. Oleh karena itu, analisa total padatan terlarut menyediakan pengukuran kualitatif dari jumlah ion terlarut, tetapi tidak menjelaskan pada sifat atau hubungan ion. Selain itu pengujian tidak memberikan wawasan dalam masalah kualitas air spesifik. Oleh karena itu analisa total padatan terlarut digunakan sebagai uji indikator untuk menentukan kualitas umum dari air. Sumber padatan terlarut total dapat mencakup semua kation dan anion terlarut [35]. Total zat padat terlarut biasanya terdiri atas zat organik, garam anorganik dan gas terlarut. Bila total zat padat terlarut bertambah maka kesadahan akan naik pula. Selanjutnya efek padatan terlarut ataupun padatan terhadap kesehatan tergantung pada spesies kimia pada penyebab masalah tersebut [36].

4.3 Kadar organik biologi

Kadar organik biologi atau 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. *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 20°C. Peningkatan proses biokimia BOD akan cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu air [37].

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah banyaknya oksigen terlarut yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik secara biologis yang terdapat dalam limbah cair dalam keadaan aerobik. *Biological Oxygen Demand* (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biologis (KOB) adalah suatu analisa empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik [38]. Bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*).

Mays [39] mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai. Dari pengertian ini dapat dikatakan bahwa walaupun nilai BOD menyatakan jumlah oksigen, tetapi untuk

mudahnya dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah terurai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

4.4 Kadar organik kimia

COD, atau *Chemical Oxygen Demand* adalah banyaknya senyawa oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi secara kimiawi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair. Sedangkan COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat, sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi [1], [12]. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada.

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasian K₂Cr₂O₇ digunakan sebagai sumber oksigen. COD adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K₂, Cr₂, O₇ 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 [1], [5], [40]. Bahan-bahan organik ini secara alami dioksidasi oleh mikroba sehingga akan menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air.

COD merefleksikan kadar bahan organik dalam air, yakni berdasarkan kebutuhan oksigen (mg O₂) untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi, yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 liter air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat selama 2 jam pada suhu 150°C. Hasil analisis COD menunjukkan bahwa kandungan senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Pengoksidasi ion bikromat K₂Cr₂O₇ yang digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*), COD menjadi angka yang menjadi sumber pencemaran bagi zat-zat organik secara alamiah dan dapat dioksidasi dengan proses mikrobiologis yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang didalam air.

Konsentrasi COD yang tinggi dalam badan air menunjukkan bahwa adanya bahan pencemar organik dalam jumlah tinggi jumlah mikroorganisme baik secara patogen dan tidak patogen yang dapat menimbulkan berbagai macam penyakit untuk manusia. Konsentrasi COD yang tinggi dapat menimbulkan dan menyebabkan kandungan oksigen terlarut didalam badan air menjadi rendah, bahkan habis. Faktor ini dapat mengakibatkan oksigen sebagai sumber kehidupan bagi makhluk yang berada didalam air seperti hewan dan tumbuhan air, tidak dapat terpenuhi sehingga makhluk air tersebut bisa terancam mati dan tidak dapat berkembang biak dengan baik [13], [41].

4.5 Zat besi (Fe)

Besi adalah logam yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia di bumi. Tidak dapat dibayangkan apabila manusia modern sekarang ini belum bisa mememanfaatkannya, mungkin umat manusia masih berada di jaman batu. (Slamet,

2013). Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya besi yang ada dalam air dapat bersifat terlarut (sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+}), tersuspensi sebagai butir koloidal, atau tergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik [18].

Pemanfaatan logam besi sangatlah luas apabila dibandingkan dengan pemanfaatan dari logam-logam yang lain. Kita dapat dengan mudah melihat disekeliling kita banyak percobaan, alat-alat pertukangan, alat transportasi dan bahkan pada rumah/gedung pun menggunakan besi baja sebagai tiang penahannya [42]. Kadar besi pada perairan yang mendapat cukup aerasi (aerob) hampir tidak pernah lebih dari 0.3mg/l. Kadar besi pada perairan alami berkisar antara 0.05-0.2 mg/l. Pada air tanah dalam dengan kadar oksigen yang rendah, kadar besi dapat mencapai 10-100mg/l, sedangkan pada perairan laut sekitar 0.01mg/l. Air hujan mengandung besi sekitar 0.05mg/l Kadar besi >1.0mg/l dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik. Air yang diperuntukkan bagi keperluan pertanian sebaiknya memiliki kadar besi tidak lebih dari 20mg/l [42].

Pada air permukaan jarang ditemui kadar Fe lebih besar dari 1mg/l, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur. Dalam air minum Fe menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi dan kekeruhan. Zat besi merupakan suatu komponen dari berbagai enzim yang mempengaruhi seluruh reaksi kimia yang penting di dalam tubuh. Besi juga merupakan komponen hemoglobin, yang memungkinkan sel darah merah membawa oksigen dan mengantarkannya ke jaringan tubuh [12].

Besi termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup. Pada tumbuhan termasuk algae, besi berperan sebagai penyusun sitokrom dan klorofil. Kadar besi yang berlebihan selain dapat mengakibatkan timbulnya warna merah juga mengakibatkan

karat pada peralatan yang terbuat dari logam, serta dapat memudahkan bahan celupan (dyes) dan tekstil. Pada tumbuhan, besi berperan dalam sistem enzim dan transfer elektron pada proses fotosintesis. Namun, kadar besi yang berlebihan dapat menghambat fiksasi unsur lainnya [38]. Prinsip analisa logam besi (Fe), dididih dalam asam dan hidroksilamin serta penggabungan nya dengan 1.10-fenantrolin akan mengubah semua zat besi menjadi Fe^{2+} yang terlarut. Tiga molekul fenantrolin bergabung dengan satu molekul Fe^{2+} membentuk ion kompleks berwarna orange merah. Sistem warna tersebut mengikuti hukum Beer: sinar cahaya dengan panjang gelombang yang tertentu yaitu 520nm, akan diserap (diabsorbansi) larutan secara proporsional dengan jarak perjalanannya didalam larutan dan dengan kadar kompleks yang berwarna orange-merah ini. Absorbansi tersebut dapat diukur melalui alat spektrofotometer [37].

Sifat kimia perairan dari besi adalah sifat redoks, pembentukan kompleks, metabolisme oleh mikroorganisme, dan pertukaran besi antara fasa cair dan fasa padat yang mengandung besi karbonat, hidroksida dan sulfida. Besi (II) sebagai ion terhidrat yang dapat larut, Fe^{2+} , merupakan jenis besi yang terdapat dalam air tanah. Karena air tanah tidak berhubungan dengan atmosfer, konsumsi oksigen bahan organik dalam media mikroorganisme sehingga menghasilkan keadaan reduksi dalam air tanah [40]. Oleh karena itu, besi dengan bilangan oksidasi rendah, yaitu Fe (II) umum ditemukan dalam tanah dibandingkan Fe (III).

05

Agen Remediator Polutan

5.1 Remediator Fisik

Teknik remediasi limbah yang paling dasar adalah secara fisika, yakni melalui teknik penyaringan (filtrasi). Dalam hal ini, material filter dapat menggunakan berbagai bahan potensial yang dapat dijumpai di lapangan, misalnya kerikil, pasir, arang, dan lainnya. Kerikil termasuk agregat yang umum dimanfaatkan sebagai material pembuatan 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.

Selanjutnya, 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 termasuk dalam kategori sangat kasar bila memiliki ukuran 1-2mm, pasir kasar (1/2-1mm), pasir sedang (1/4-1/2mm), pasir halus (1/8-1/4mm), dan pasir sangat halus (1/16-1/8mm). 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 [4].

Material filter berikutnya yang potensial dan mudah didapatkan adalah arang. Arang dapat diproduksi dari berbagai bahan, baik itu kayu maupun batok kelapa. Arang memiliki kandungan karbon aktif, sehingga ia tidak hanya potensial dalam menyaring padatan saja, namun juga mengikat polutan kimia. 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 20 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 [1]. 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.

5.2 Remediator Biologi

Air limbah tidak cukup hanya diolah dengan penyaringan saja. Untuk memperoleh luaran pengolahan air limbah yang maksimal, maka diperlukan proses lanjutan yaitu pengendapan. Dalam ini, sistem yang dapat diterapkan adalah lahan basah buatan (*constructed wetland*) dan akuaponik. Sistem tersebut dibuat sedemikian rupa dengan memanfaatkan tanaman air yang memiliki potensi untuk menyerap polutan yang terkandung dalam air limbah domestik. Menariknya, terdapat banyak jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan tersebut, dan sebagian besar dapat diperoleh dengan relatif mudah di lapangan. Tanaman air berperan sebagai penyerap polutan, berkat simbiosis yang terdapat pada area akar. Jika air sebelumnya telah tersaring padatnya melalui sistem filtrasi, maka dalam sistem lahan basah maupun akuaponik akan memaksimalkan pengolahan dengan menyerap/mengikat polutan-polutan tersebut hingga kadar polutan berkurang secara signifikan [7].

Pemanfaatan tanaman air pada instalasi pengolahan limbah sekaligus untuk menyediakan oksigen di zona akar tanaman dan untuk menambah luas permukaan bagi pertumbuhan mikro-organisme yang tumbuh di zona akar. Jenis tanaman yang sering digunakan untuk lahan basah buatan maupun akuaponik adalah jenis tanaman air atau tanaman yang tahan hidup di air tergenang (*submerged plants* atau *amphibious plants*) [8]. 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 di atas permukaan air.

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 sepertitas, karpet, gantungan kunci, hiasan dinding dan lain-lain. Selain keunggulan tersebut, tanaman ini telah banyak dibuktikan mampu berperan sebagai penyerap polutan dalam air limbah [37].

Hal penting yang perlu dipahami agar dapat memanfaatkan potensi tanaman Akar Wangi adalah karakteristiknya, serta faktor kelangsungan hidupnya. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan tanaman Akar Wangi antara lain keadaan tanah dan iklim. Jenis tanah Andosol cenderung memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman akar wangi [11], [38]. Hal ini di karenakan tanah andosol memiliki kapasitas air dan kesuburan yang tinggi sehinggadapat menunjang pertumbuhan akar wangi.

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. 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 permukaanlaut. Tanaman akar wangi memerlukan curah hujan yang cukup yaitu sekitar 140 hari pertahun, sedang suhuyang 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.

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. Tanaman Vetiver telah diketahui berpotensi untuk digunakan sebagai tanaman fitoremediasi. 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) [12], [37], [38].

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. 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. *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 daerah rawa, pinggiran danau, maupun dan waduk. Tanaman *Cattail* memiliki tinggi 1,5 - 3 meter dan memiliki lebar daun 2 - 4 cm [43]. 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.

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) [1, 11, 12, 37, 38, 40].

06

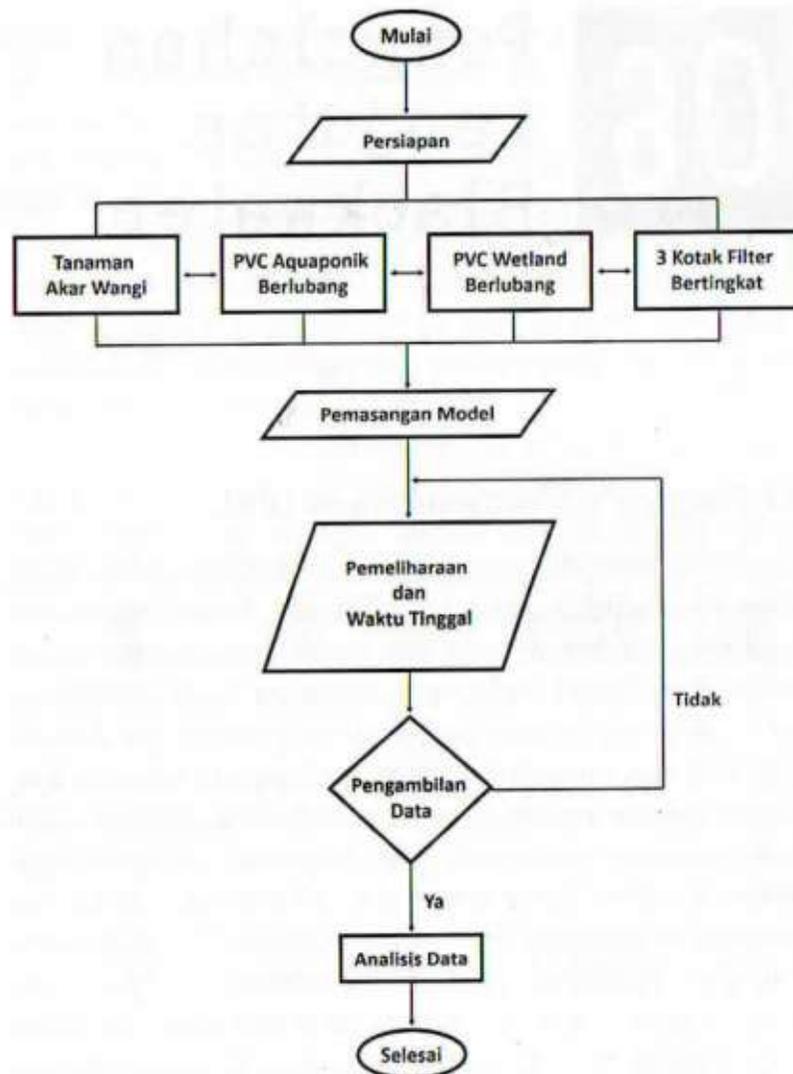
Pengolahan Lanjutan Blackwater

6.1 Diagram alir pengembangan IPAL

Proses pengembangan teknologi pengolahan limbah secara sistematis dijelaskan melalui gambar 6.1. Tujuan umum dari rangkaian eksperimen ini adalah untuk meningkatkan luaran pengolahan limbah septic tank, hingga mencapai kategori air kelas 2. Air kelas 2 merupakan kategori air bersih yang kualitasnya lebih baik dari air irigasi maupun perikanan. Di sisi lain, kandungan polutan tentu telah berkurang signifikan, sehingga luaran hasil pengolahan air limbah tidak berpotensi mencemari lingkungan kembali. Secara garis besar, pelaksanaan dimulai dari persiapan peralatan dan bahan yang diperlukan untuk eksperimen, kemudian dilanjutkan dengan perangkaian desain IPAL berdasarkan konsep yang dibuat. Proses selanjutnya adalah percobaan dengan mengalirkan air limbah septic tank ke dalam unit-unit pengolahan limbah yang secara berurutan terdiri dari:

1. Filtrasi bertingkat
2. Lahan basah buatan
3. Akuaponik

Pengukuran kadar polutan dilakukan pada setiap tahap, termasuk sejak air limbah hendak disalurkan ke dalam unit IPAL. Pengamatan dilakukan langsung di lapangan hingga diperoleh data yang dibutuhkan untuk analisis dan perumusan hasil eksperimen.



Gambar 6.1 Diagram alir eksperimen pengembangan IPAL

6.2 Garis besar pelaksanaan

1. Persiapan

Kegiatan yang dilakukan pada pekerjaan persiapan adalah pembersihan pada semua kolam IPAL sehingga dapat memaksimalkan suatu pekerjaan. Selain itu juga dipersiapkan *wetland* akar wangi untuk ditempatkan atau penanaman secara fitoremediasi

atau tanaman tanpa media yang diletakkan pada kolam ke 2. Persiapan PVC dan dilubangi untuk tanaman akar wangi juga harus dipersiapkan. Persiapan filter bertingkat dengan bronjong baik bahan yang meliputi kerikil, arang batok kelapa, dan pasir Cor yang dikemas dengan menggunakan kawat Weirmesh dan plat besi untuk menjepit atau mengkaitkan pada lubang filter di IPAL.

2. Instalasi Filter Bertingkat

Pemasangan filter bertingkat pada 3 lubang di IPAL dengan menggunakan 3 bronjong yaitu bronjong 1 terdiri dari bahan kerikil yang terbungkus kawat weirmsh dan plat besi, bronjong 2 terdiri dari bahan arang batong kelapa yang terbungkus dengan kawat wiremesh dan plat besi, bronjong 3 terdiri dari bahan pasir cor yang terbungkus dengan kawat weirmesh dan dijepit dengan plat besi. Model bangunan direncanakan dengan menggunakan perbandingan skala 1 : 264, dengan skala debit. Peralatan yang dipersiapkan antara lain adalah 3 kotak sebagai unit filtrasi bertingkat dengan material filter yaitu kerikil, arang dan pasir. Ukuran masing-masing unit filter adalah (20x30x60 cm), (25x30x60 cm) (30x30x60 cm).

Filter bertingkat adalah filter tunggal yang ditumpuk dengan susunan dari kasar ke halus dengan tujuan supaya limbah padatan tersaring lebih dulu atau tertinggal pada filter yang lebih besar diameternya. Filter tunggal dilaksanakan jika hasil filter tunggal kurang maksimal sehingga dilakukan penggabungan pada setiap filter tunggal tersebut dan hasilnya dapat dianalisa. Dengan cara yang sama filter bertingkat disusun kemudian dialiri air limbah blackwater sampai jenuh pada masing-masing bahan filter, kemudian dialirkan pada filter berikutnya atau filter 1 sampai jenuh dibuka krannya utk dialirkan pada filter 2 sampai jenuh kemudian dibuka krannya untuk dialirkan pada filter 3 sampai jenuh kemudian dibuka krannya untuk ditampung airnya untuk test laboratorium sesuai parameter yang terpilih.

3. Instalasi lahan basah buatan

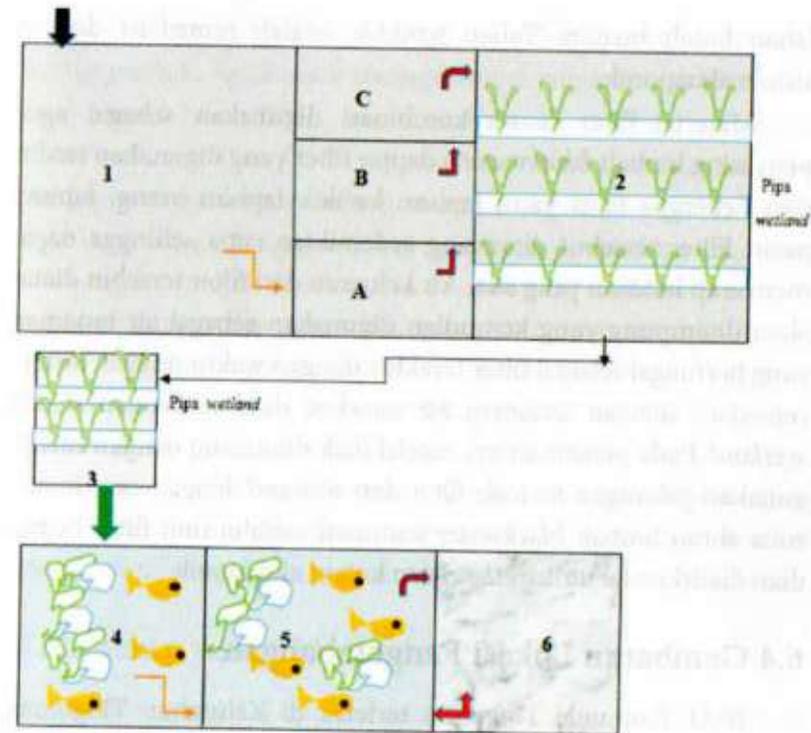
Pipa PVC dengan diameter 4 atau menyesuaikan kebutuhan lokasi dan pipa tersebut dilubangi sesuai kebutuhan tanaman akar wangi tersebut. Lanjutkan penanaman akar wangi dalam pipa dan pasang pada kolam IPAL ke 2 dengan berjajar. Lahan basah buatan dibuat sebanyak 2 buah unit dengan tujuan dapat membandingkan antar dua tanaman tersebut yaitu tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan teratai. Kotak tersebut dengan ukuran (90x30x30 cm) sebanyak 2 buah untuk tanaman akar wangi dan teratai. Pada model fisik ini menggunakan debit limbah yang diambil dari IPAL komunal Tlogomas dengan 120 KK, sehingga debit aktual juga dimodelkan karena menyesuaikan dengan skala laboratorium.

4. Instalasi akuaponik

Hasil air luaran dari kolam ke 2 di terima oleh kolam yang direncanakan sebagai kolam ikan. Kolam tersebut bisa lebih dari 1 unit kolam karena menyesuaikan kondisi lapangan. Air buangan dari kolam, dipompa naik ke atas untuk keperluan kebutuhan air tanaman hidponik IPAL. Spesifikasi teknis dari model kolam akuaponik adalah bangunan dengan konstruksi beton K125 (1 PC : 2 Ps : Kr), kaca penduga (untuk melihat level air), dan dilengkapi dengan kran air berdiameter $\frac{3}{4}$.

6.3 Penerapan di lapangan

Eksperimen ini dilakukan untuk mengembangkan teknologi pengolahan limbah septic tank yang selama ini diterapkan di instalasi pengolahan limbah domestik yang telah ada di lapangan, yakni IPAL Komunal Kelurahan Tlogomas, Kota Malang. Skema pengolahan limbah dijelaskan melalui gambar 6.2 berikut:



Gambar 6.2 Kosep pengembangan IPAL dengan penambahan tiga teknik yang dipadukan; filtrasi bertingkat (A,B,C), lahan basah buatan (2,3), serta akuaponik (4,5)

Pengolahan limbah septic tank mula-mula diawali dengan penampungan pada sebuah tangki, kemudian dialirkan ke dalam sebuah sistem penyaringan dengan memanfaatkan material kerikil, pasir, serta arang batok kelapa hingga diperoleh hasil yang memenuhi standar dan layak untuk dibuang. Namun, pengolahan tidak berhenti di situ, sebab masih dilanjutkan dengan tahap remediasi dengan pemanfaatan tanaman air untuk meningkatkan kualitas air. Dalam eksperimen ini, peran tanaman air dioptimalkan melalui sistem lahan basah buatan dan dilanjutkan dengan akuaponik. Jenis tanaman yang digunakan sebagai agen fitoremediasi adalah Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dan teratai. Jenis tanaman air (*submerged/amphibiuous plants*) yang dapat digunakan untuk

lahan basah buatan. Tahap terakhir adalah remediasi dengan sistem akuaponik.

Material filter secara kombinasi digunakan sebagai agen penyaring limbah *blackwater*, adapun filter yang digunakan terdiri dari beberapa lapis yaitu lapisan kerikil, lapisan arang, lapisan pasir. Filter tersebut dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menyerap kotoran yang ada. Air keluaran dari filter tersebut diatas akan ditampung yang kemudian digunakan sebagai air tanaman yang berfungsi sebagai filter terakhir dengan waktu tinggal. Sistem remediasi dengan tanaman air tersebut disebut dengan sistem *wetland*. Pada penelitian ini, model fisik dirancang dengan menggunakan gabungan metode filter dan *wetland* dengan cara menerima aliran limbah *blackwater* komunal melalui unit filter kemudian dialirkan ke unit *wetland* dan kolam akuaponik.

6.4 Gambaran Lokasi Pengembangan

IPAL Komunal Tlogomas terletak di Kelurahan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, tepatnya disamping aliran sungai Brantas. Mulanya, IPAL Komunal Tlogomas dikenal sebagai "tangki AG" atau Tangki Agus Gunarto (pendiri IPAL Komunal Tlogomas), tepatnya sejak tahun 1986. 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.

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 tanaman. Penataan yang bagus, tertutup dan asri ini menjadikan IPAL jauh dari kesan kumuh. IPAL memiliki sembilan kolam penam-

pungan limbah *blackwater* yang ditumbuhi dengan tanaman eceng gondok. *Septic tank* ditempatkan di bagian sudut IPAL.

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.

6.5 Luaran yang Diharapkan

Luaran yang diharapkan dari eksperimen ini adalah peningkatan kualitas air hasil pengolahan *blackwater* hingga mencapai klasifikasi air kelas II menurut Peraturan Pemerintah 14 Desember tahun 2001 terkait klasifikasi air berdasarkan kelas. Pengolahan air limbah rumah tangga secara komunal dapat meningkatkan kualitas air sehingga dapat terdistribusi dengan baik. Selama masa pengoperasian dan perawatan limbah, pengoperasian filter, lahan basah buatan, maupun kolam akuaponik akan menyesuaikan dengan jumlah debit yang ada.



Hasil Pengolahan IPAL

Hasil eksperimen yang akan dijelaskan pada bagian ini merupakan rangkuman dari hasil analisis data terkait parameter kualitas air yang meliputi padatan tersuspensi (TSS), padatan terlarut (TDS), kadar bahan organik biologi (BOD), kadar bahan organik kimia (COD), serta kadar zat besi (Fe). Analisis data dilakukan dengan menggunakan beberapa metode statistik, yakni:

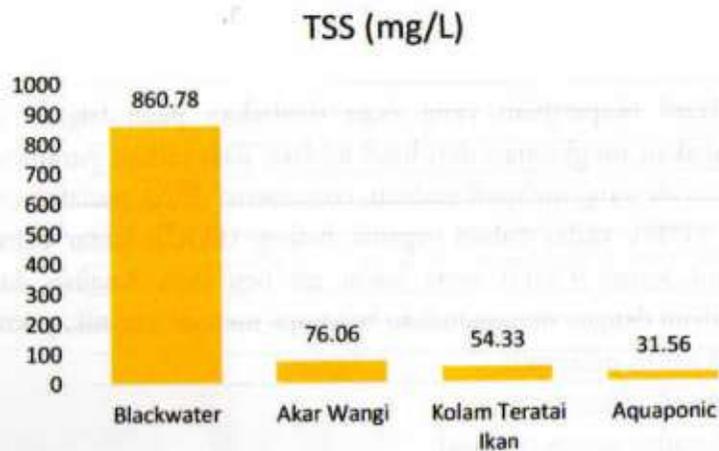
1. Analisis deskriptif
2. Analisis Regresi linier
3. Analisis ragam (Anova)

Secara umum, inovasi yang diterapkan telah mampu meningkatkan kualitas air hasil pengolahan, dari semula berupa *blackwater*, menjadi air bersih yang layak disalurkan ke sungai ataupun dimanfaatkan kembali. Peningkatan kualitas tersebut membuktikan bahwa perpaduan teknik filtrasi bertingkat, lahan basah buatan, dan kolam akuaponik mampu menurunkan kadar polutan dalam limbah septic tank secara signifikan. Bagian ini akan menjelaskan temuan tersebut secara spesifik berdasarkan parameter kualitas air yang diamati.

7.1 Padatan Tersuspensi

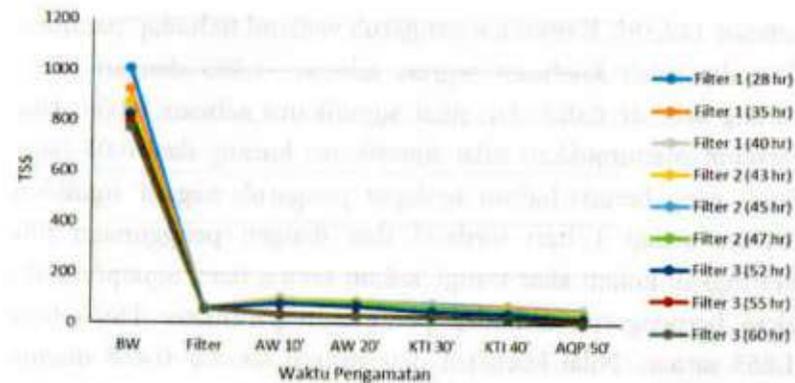
Padatan tersuspensi merupakan parameter pertama yang dikaji dalam eksperimen ini. Padatan tersuspensi atau *total sus-*

pended solids (TSS) merepresentasikan seluruh polutan padat yang terdapat dalam limbah septic tank. Karena bersifat padat dan cenderung kasar, maka diterapkan teknik filtrasi bertingkat. Gambar 7.1 memperlihatkan bahwa kadar TSS mampu diturunkan secara signifikan sejak melalui proses filtrasi bertingkat yang didesain dengan memanfaatkan materiak kerikil, pasir, dan arang batok kelapa. Air luaran dari unit filter langsung dialirkan ke lahan basah untuk proses spengendapan dan remediasi lebih lanjut, hingga kemudian yang terakhir diproses pada unit akuaponik.



Gambar 7.1 Hasil pengukuran padatan tersuspensi (TSS)
Sumber: Data penelitian (2021)

Hasil analisis deskriptif lebih lanjut dijelaskan melalui grafik pada gambar 7.2 yang memperlihatkan pola penurunan kadar padatan tersuspensi pada tiap tahapan. Hasil deskripsi parameter kualitas air TSS di blackwater pada filter 1 sampai filter 3 diperoleh nilai TSS sebesar 776 sampai 1007, kemudian mengalami penurunan yang besar di filter sebesar 58 sampai 63, setelah itu mengalami penurunan hingga aquaponic sebesar 0 sampai 54.



Gambar 7.2 Grafik penurunan kadar padatan tersuspensi (TSS)
Sumber: Data penelitian (2021)

Selanjutnya, perlu diketahui signifikansi pengaruh dari metode pengolahan limbah terhadap kadar padatan tersuspensi. Dalam hal ini, metode analisis data yang digunakan adalah analisis Regresi berganda. Tabel 7.1 berikut memperlihatkan ringkasan hasil analisis lebih lanjut dengan metode regresi linier pada program SPSS.

Tabel 7.1 Pengaruh Wetland terhadap Parameter TSS

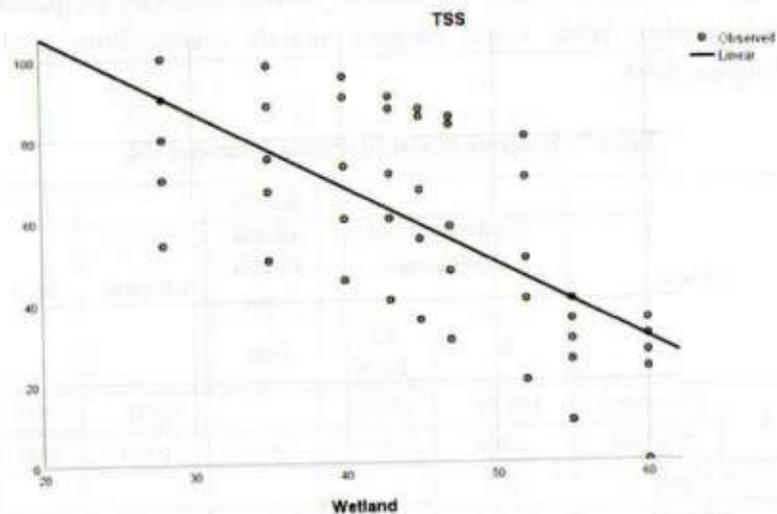
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-hitung	Sig. t
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	142.395	14.236		10.003	.000
	Wetland	-1.865	.310	-.676	-6.023	.000
R-Square		.458				
F-hitung		36.276				
Sig. F		.000				

Sumber: Data penelitian (2021)

Pengaruh antara wetland terhadap parameter TSS diperoleh koefisien konstanta sebesar 142,395 yang artinya tanpa adanya pengaruh dari wetland akan diperoleh prediksi parameter TSS

sebesar 142,395. Kemudian pengaruh wetland terhadap parameter TSS diperoleh koefisien regresi sebesar -1,865 dengan nilai t hitung sebesar 6,023 dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 (sig < 0,05) yang berarti bahwa terdapat pengaruh negatif signifikan, artinya setiap 1 hari wetland dan dengan penggunaan filter bertingkat, kolam akar wangi, kolam teratai ikan, aquaponic dan akan berpengaruh terhadap penurunan parameter TSS sebesar 1,865 satuan. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,458 menunjukkan besarnya pengaruh wetland terhadap parameter TSS adalah sebesar 45,8 persen.

Untuk mengetahui gambaran keterkaitan antara penerapan sistem lahan basah buatan dengan pola penurunan kadar padatan tersuspensi dalam air limbah, maka analisis regresi juga dilakukan dengan metode grafik. Hasil dijelaskan melalui gambar 7.3.



Gambar 7.3 Grafik hubungan penggunaan lahan basah buatan dengan kadar padatan tersuspensi (TSS)

Sumber: Data penelitian (2021)

Analisis selanjutnya yang dilakukan adalah sidik ragam atau Anova (analysis of variance), yakni untuk mengetahui signifikansi

perbedaan kadar padatan tersuspensi pada masing-masing tahap pengolahan, yakni mulai dari input blackwater, tahap pengendapan di lahan basah buatan (sekali-gus merefleksikan efektivitas filtrasi bertingkat), hingga kolam akuaponik. Kadar yang berbeda signifikan antar tahap pengolahan menunjukkan bahwa setiap tahap pengolahan yang diaplikasikan terbukti efektif dalam menurunkan kadar polutan, yang dalam bagian ini adalah padatan tersuspensi. Analisis dilakukan dengan bantuan program statistik SPSS versi 21. Hasil analisis disajikan pada tabel 7.2 sebagai berikut:

Tabel 7.2 Hasil Uji ANOVA terhadap Parameter TSS

	N	Mean	SD	Penurunan	F hit	Sig. F
Black Water	9	860.78	70.539		943.401	.000
Kolam Akar Wangi	9	76.22	23.889	↓ 91.2%		
Kolam Teratai Ikan	9	54.56	18.331	↓ 28.6%		
Aquaponic	9	31.56	18.386	↓ 41.9%		

Sumber: Data Penelitian (2021)

Hasil pengukuran TSS blackwater diperoleh rata-rata sebesar 860,78 kemudian mengalami penurunan sebesar 91,2 persen pada kolam akar wangi menjadi 76,22, kemudian mengalami penurunan sebesar 28,6 persen pada kolam teratai ikan menjadi 54,56, dan mengalami penurunan sebesar 41,9 persen pada aquaponic menjadi 31,56. Hasil uji ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 943,401 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 (sig < 0,05) yang berarti bahwa terdapat perbedaan signifikan antara blackwater, air di kolam akar wangi, air di kolam teratai ikan, dan air di aquaponic terhadap parameter TSS.

7.2 Padatan Terlarut

Padatan terlarut, atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan padatan-padatan yang

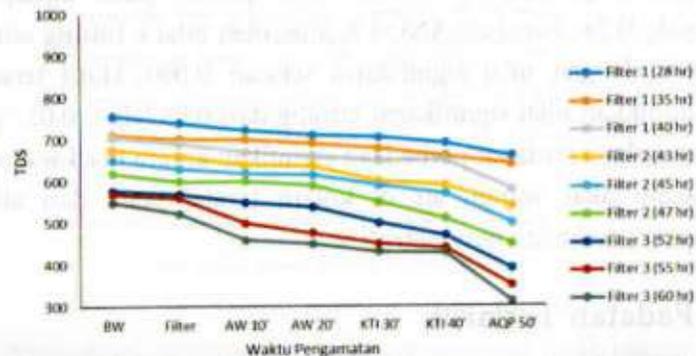
mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi. Tingginya kadar TDS apabila tidak dikelola dan diolah dapat mencemari badan air. Selain itu juga dapat mematikan kehidupan aquatik, dan memiliki efek samping yang kurang baik pada kesehatan manusia karena mengandung bahan kimia dengan konsentrasi yang tinggi. Hasil analisis dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 7.4 Hasil pengukuran padatan terlarut (TDS)

Sumber: Data penelitian (2021)

Selanjutnya, pola penurunan kadar TDS secara spesifik pada tiap tahap pengolahan dijelaskan melalui gambar berikut:



Gambar 7.5 Grafik penurunan kadar padatan terlarut (TDS)

Sumber: Data penelitian (2021)

Hasil deskripsi parameter kualitas air TDS di blackwater pada filter 1 sampai filter 3 diperoleh nilai TDS sebesar 550 sampai 756 mg/L, kemudian mengalami penurunan yang besar di filter sebesar 523 sampai 740 mg/L, setelah itu mengalami penurunan hingga aquaponic sebesar 311 sampai 660 mg/L.

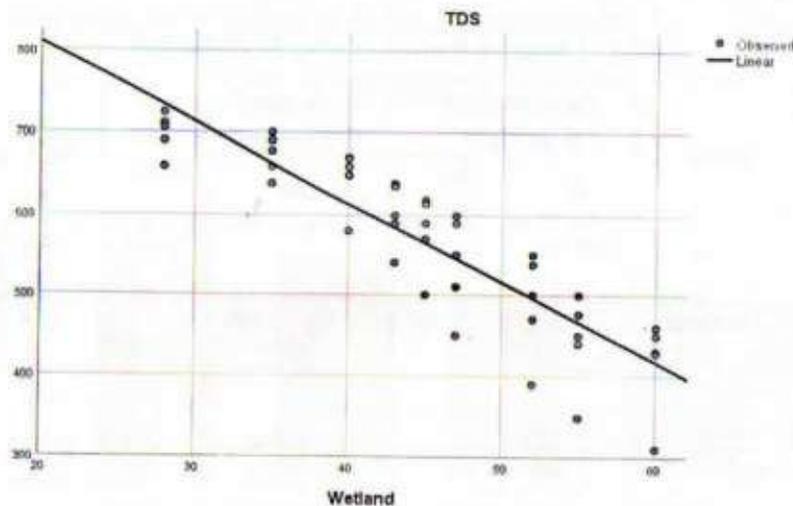
Tabel 7.3 Pengaruh Wetland terhadap Parameter TDS

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-hitung	Sig. t
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constan t)	1007.441	35.276		28.559	.000
	-9.839	.767	-.890	12.822	.000
R-Square	.793				
F-hitung	164.415				
Sig. F	.000				

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Pengaruh antara wetland terhadap parameter TDS diperoleh koefisien konstanta sebesar 1007,441 yang artinya tanpa adanya pengaruh dari wetland akan diperoleh prediksi parameter TDS sebesar 1007,441. Kemudian pengaruh wetland terhadap parameter TDS diperoleh koefisien regresi sebesar -9,839 dengan nilai t hitung sebesar 12,822 dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 (sig < 0,05) yang berarti bahwa terdapat pengaruh negatif signifikan, artinya setiap 1 hari wetland dan dengan penggunaan filter bertingkat, kolam akar wangi, kolam teratai ikan, aquaponic dan akan berpengaruh terhadap penurunan parameter TDS sebesar 9,839 satuan. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,793 menunjukkan besarnya pengaruh wetland terhadap parameter TDS adalah sebesar 79,3 persen.

Selanjutnya, analisis regresi dilakukan dengan metode grafik untuk mengetahui gambaran keterkaitan antara penerapan sistem lahan basah buatan dengan pola penurunan kadar padatan terlarut dalam air limbah. Hasil dijelaskan melalui gambar 7.6 sebagai berikut:



Gambar 7.6 Grafik hubungan penggunaan lahan basah buatan dengan kadar padatan terlarut (TDS)

Sumber: Data penelitian (2021)

Tahap analisis berikutnya adalah uji sidik ragam atau Anova (Tabel 7.4) untuk mengetahui signifikansi perbedaan kadar padatan terlarut pada masing-masing tahap pengolahan, yakni mulai dari input blackwater, tahap pengendapan di lahan basah buatan (sekali-gus merefleksikan efektivitas filtrasi bertingkat), hingga kolam akuaponik. Kadar yang berbeda signifikan antar tahap pengolahan menunjukkan bahwa setiap tahap pengolahan yang diaplikasikan terbukti efektif dalam menurunkan kadar TDS dalam air limbah.

Tabel 7.4 Hasil Uji ANOVA terhadap Parameter TDS

	N	Mean	SD	Penurunan	F hit	Sig. F
Black Water	9	646.11	71.489		4.006	.016
Kolam Akar Wangi	9	601.78	90.475	↓ 6.9%		
Kolam Teratai Ikan	9	564.56	98.345	↓ 6.2%		
Aquaponic	9	491.22	125.164	↓ 13.0%		

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Hasil pengukuran TDS blackwater diperoleh rata-rata sebesar 646,11 kemudian mengalami penurunan sebesar 6,9 persen pada kolam akar wangi menjadi 601,78, kemudian mengalami penurunan sebesar 6,2 persen pada kolam teratai ikan menjadi 564,56, dan mengalami penurunan sebesar 13,0 persen pada aquaponic menjadi 491,22. Hasil uji ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 4,006 dengan nilai signifikansi sebesar 0,016. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat perbedaan signifikan antara blackwater, air di kolam akar wangi, air di kolam teratai ikan, dan air di aquaponic terhadap parameter TDS.

7.3 Kadar Organik Biologi

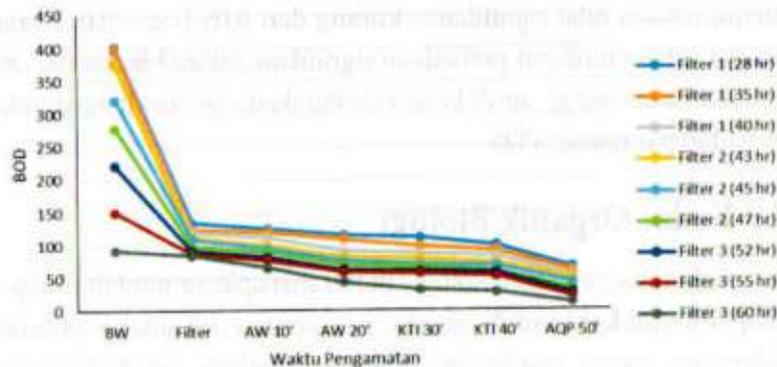
Kebutuhan oksigen biologi (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses penguraian (oksidasi) polutan dalam air secara bio-kimia. BOD merupakan parameter yang sangat penting karena menggambarkan proses biokimia yang terjadi di dalam air. Hasil analisis deskriptif dijelaskan melalui gambar 7.7 dan gambar 7.8. Secara garis besar, terlihat bahwa kadar BOD dalam air limbah mengalami penurunan secara drastis namun berangsur, mengikuti tahap pengolahan yang berlangsung. Hasil deskripsi parameter kualitas air BOD di blackwater pada filter 1 sampai filter 3 diperoleh nilai BOD sebesar 92.4 sampai 401 mg/L, kemudian mengalami penurunan yang besar di filter sebesar 84.38 sampai 134 mg/L, setelah itu mengalami penurunan hingga aquaponic sebesar 12,25 sampai 66 mg/L.

BOD (mg/L)



Gambar 7.7 Hasil pengukuran kadar organik biologi (BOD)

Sumber: Data penelitian (2021)



Gambar 7.8 Grafik penurunan kadar organik biologi (BOD)

Sumber: Data penelitian (2021)

Berikutnya, analisis regresi linier menunjukkan hasil sebagaimana dijabarkan pada tabel 7.5 sebagai berikut.

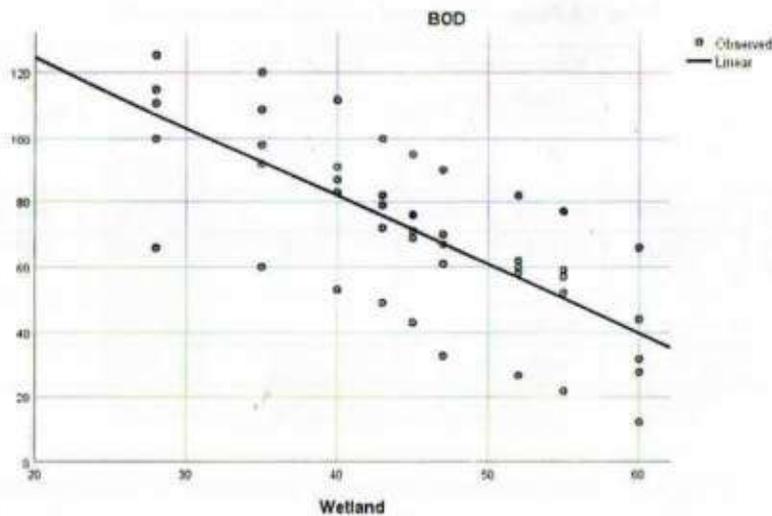
Tabel 7.5 Pengaruh Wetland terhadap Parameter BOD

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-hitung	Sig. t	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	166.554	13.826		12.047	.000
	Wetland	-2.113	.301	-.731	-7.025	.000
R-Square		.534				
F-hitung		49.344				
Sig. F		.000				

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Pengaruh antara wetland terhadap parameter BOD diperoleh koefisien konstanta sebesar 166,554 yang artinya tanpa adanya pengaruh dari wetland akan diperoleh prediksi parameter BOD sebesar 166,554. Kemudian pengaruh wetland terhadap parameter BOD diperoleh koefisien regresi sebesar -2,113 dengan nilai t hitung sebesar 7,025 dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat pengaruh negatif signifikan, artinya setiap 1 hari wetland dan dengan penggunaan filter bertingkat, kolam akar wangi, kolam teratai ikan, aquaponic dan akan berpengaruh terhadap penurunan parameter BOD sebesar 2,113 satuan. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,534 menunjukkan besarnya pengaruh wetland terhadap parameter BOD adalah sebesar 53,4 persen.

Untuk mengetahui gambaran keterkaitan antara penerapan sistem lahan basah buatan dengan pola penurunan kadar organik biologi dalam air limbah, maka analisis regresi juga dilakukan dengan metode grafik. Hasil dijelaskan melalui gambar 7.9 sebagai berikut:



Gambar 7.9 Grafik hubungan penggunaan lahan basah buatan dengan kadar padatan tersuspensi (TSS)

Sumber: Data penelitian (2021)

Terakhir, dijelaskan hasil uji Anova untuk mengetahui signifikansi perbedaan kadar organik biologi dalam air limbah yang diolah, pada 4 tahap. Hasil dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 7.6 Hasil Uji ANOVA terhadap Parameter BOD

	N	Mean	SD	Penurunan	F hit	Sig. F
Black Water	9	290.78	114.097		32.539	.000
Kolam Akar Wangi	9	87.67	21.708	↓ 69.9%		
Kolam Teratai Ikan	9	71.11	22.784	↓ 18.9%		
Aquaponic	9	40.56	18.228	↓ 42.8%		

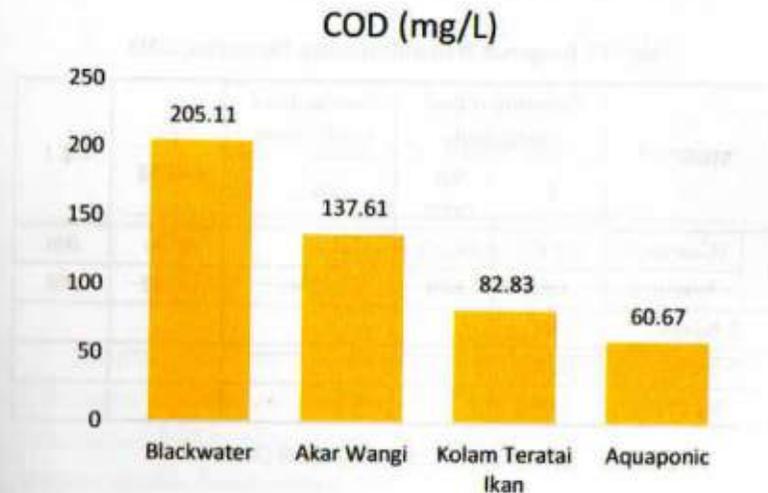
Sumber: Data Penelitian (2021)

Hasil pengukuran BOD blackwater diperoleh rata-rata sebesar 290,78 kemudian mengalami penurunan sebesar 69,9 persen pada kolam akar wangi menjadi 87,67, kemudian mengalami penurunan sebesar 18,9 persen pada kolam teratai ikan menjadi 71,11, dan mengalami penurunan sebesar 42,8 persen pada aquaponic

menjadi 40,56. Hasil uji ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 32,539 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat perbedaan signifikan antara blackwater, air di kolam akar wangi, air di kolam teratai ikan, dan air di aquaponic terhadap parameter BOD.

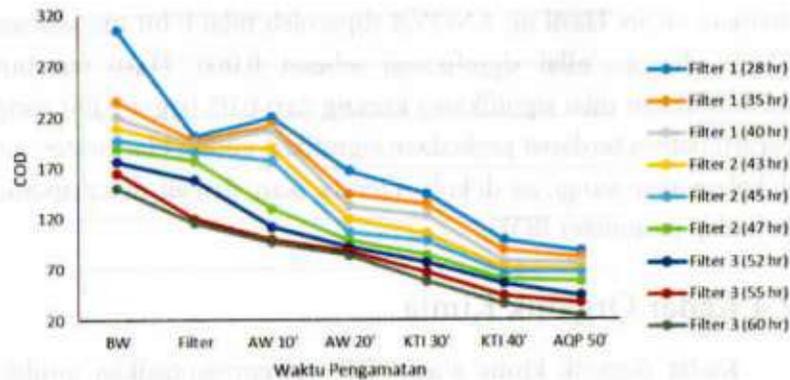
7.4 Kadar Organik Kimia

Kadar organik kimia atau COD merepresentasikan jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent) (G. Alerts dan SS Santika, 1987). Kebutuhan oksigen kimia (COD) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang diperlukan untuk oksidasi komponen-komponen polutan (organik) dalam air dengan cara kimia, yaitu dengan menambah bahan kimia pengoksidasi pada polutan. Hasil analisis dijelaskan melalui gambar 7.10 dan gambar 7.11. Senada dengan hasil-hasil sebelumnya, kadar COD juga terlihat mengalami penurunan seiring dengan progres pengolahan.



Gambar 7.10 Hasil pengukuran kadar organik kimia (COD)

Sumber: Data penelitian (2021)



Gambar 7.11 Grafik penurunan kadar organik kimia (COD)

Sumber: Data penelitian (2021)

Hasil deskripsi parameter kualitas air COD di blackwater pada filter 1 sampai filter 3 diperoleh nilai COD sebesar 150 sampai 305 mg/L, kemudian mengalami penurunan yang besar di filter sebesar 116 sampai 201 mg/L, setelah itu mengalami penurunan hingga aquaponic sebesar 24 sampai 88 mg/L. Selanjutnya, analisis dilanjutkan dengan metode regresi linier untuk mengetahui signifikansi hubungan metode pengolahan limbah yang diterapkan terhadap penurunan kadar COD dalam air.

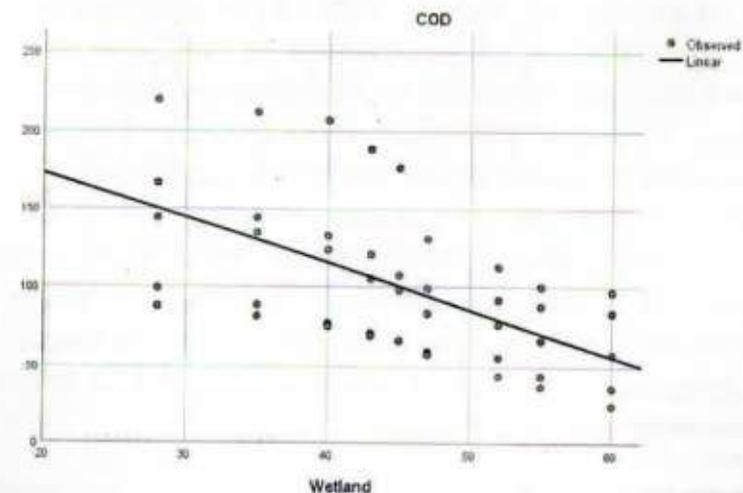
Tabel 7.7 Pengaruh Wetland terhadap Parameter COD

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-hitung	Sig. t	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	231.851	28.519		8.130	.000
	Wetland	-2.923	.620	-.584	-4.712	.000
R-Square		.341				
F-hitung		22.203				
Sig. F		.000				

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Pengaruh antara wetland terhadap parameter COD diperoleh koefisien konstanta sebesar 231,851 yang artinya tanpa adanya

pengaruh dari wetland akan diperoleh prediksi parameter COD sebesar 231,851. Kemudian pengaruh wetland terhadap parameter COD diperoleh koefisien regresi sebesar -2,923 dengan nilai t hitung sebesar 4,712 dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat pengaruh negatif signifikan, artinya setiap 1 hari wetland dan dengan penggunaan filter bertingkat, kolam akar wangi, kolam teratai ikan, aquaponic dan akan berpengaruh terhadap penurunan parameter COD sebesar 2,923 satuan. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,341 menunjukkan besarnya pengaruh wetland terhadap parameter COD adalah sebesar 34,1 persen.



Gambar 7.12 Grafik hubungan penggunaan lahan basah buatan dengan kadar organik kimia (COD)

Sumber: Data penelitian (2021)

Gambar 7.12. memperlihatkan gambaran lebih lanjut terkait hubungan penerapan sistem lahan basah buatan dengan pola penurunan kadar organik kimia melalui analisis regresi dengan metode grafik. Selanjutnya, dijelaskan hasil analisis Anova untuk mengetahui signifikansi perbedaan kadar organik kimia air limbah

pada setiap tahap pengamatan. Hasil uji Anova dapat dilihat pada tabel 7.8 berikut:

Tabel 7.8 Hasil Uji ANOVA terhadap Parameter COD

	N	Mean	SD	Penurunan	F hit	Sig. F
Black Water	9	205.11	45.998		31.523	.000
Kolam Akar Wangi	9	137.89	38.786	↓ 32.9%		
Kolam Teratai Ikan	9	83.22	25.307	↓ 39.8%		
Aquaponic	9	60.67	21.662	↓ 26.8%		

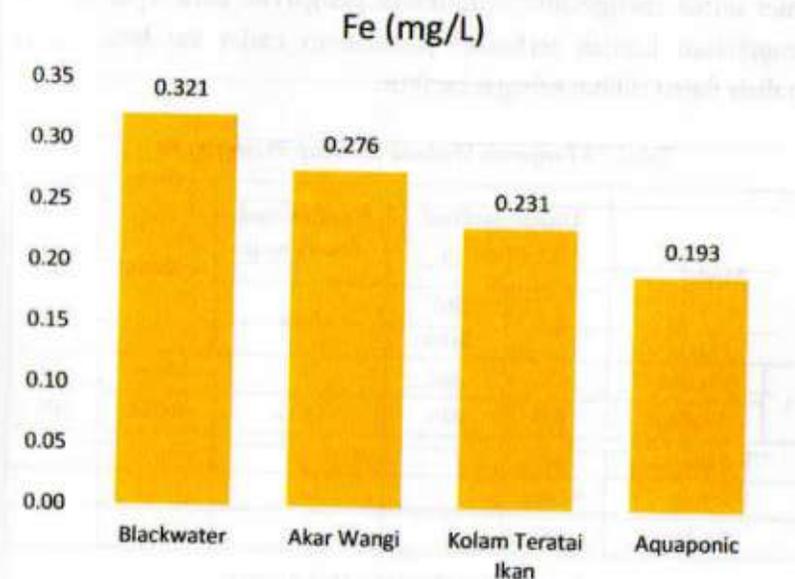
Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Hasil pengukuran COD blackwater diperoleh rata-rata sebesar 205,11 kemudian mengalami penurunan sebesar 32,9 persen pada kolam akar wangi menjadi 137,89, kemudian mengalami penurunan sebesar 39,8 persen pada kolam teratai ikan menjadi 83,22, dan mengalami penurunan sebesar 26,8 persen pada aquaponic menjadi 60,67. Hasil uji ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 31,523 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat perbedaan signifikan antara blackwater, air di kolam akar wangi, air di kolam teratai ikan, dan air di aquaponic terhadap parameter COD.

7.5 Zat besi (Fe)

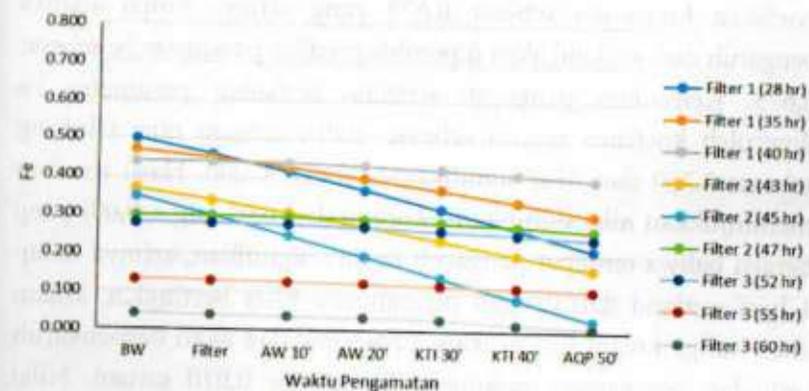
Pada umumnya besi yang ada dalam air dapat bersifat terlarut (sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+}), tersuspensi sebagai butir koloidal, atau bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik (Hamonangan, 2011). Konsentrasi Fe yang tinggi dapat mengakibatkan air menjadi berwarna kekuningan dan memiliki rasa tertentu. Kadar yang berlebihan tentu tidak baik bagi lingkungan maupun kesehatan manusia dan hewan air. Eksperimen ini memperlihatkan data bahwa kadar zat besi terus mengalami penurunan seiring dengan progres pengolahan. Meski demikian, grafik mem-

perlihatkan bahwa penurunan zat besi secara visual tidak terlihat se-signifikan parameter-parameter sebelumnya. Secara lebih spesifik, hasil analisis deskriptif dijelaskan melalui gambar berikut:



Gambar 7.13 Hasil pengukuran kadar zat besi (Fe)

Sumber: Data penelitian (2021)



Gambar 7.14 Grafik penurunan kadar zat besi (Fe)

Sumber: Data penelitian (2021)

Hasil deskripsi parameter kualitas air Fe di blackwater pada filter 1 sampai filter 3 diperoleh nilai Fe sebesar 0,044 sampai 0,500,

kemudian mengalami penurunan yang besar di filter sebesar 0,040 sampai 0,460, setelah itu mengalami penurunan hingga aquaponic sebesar 0,010 sampai 0,397. Selanjutnya, dilakukan analisis regresi linier untuk mengetahui signifikansi pengaruh penerapan teknik pengolahan limbah terhadap penurunan kadar zat besi. Hasil analisis dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 7.9 Pengaruh Wetland terhadap Parameter Fe

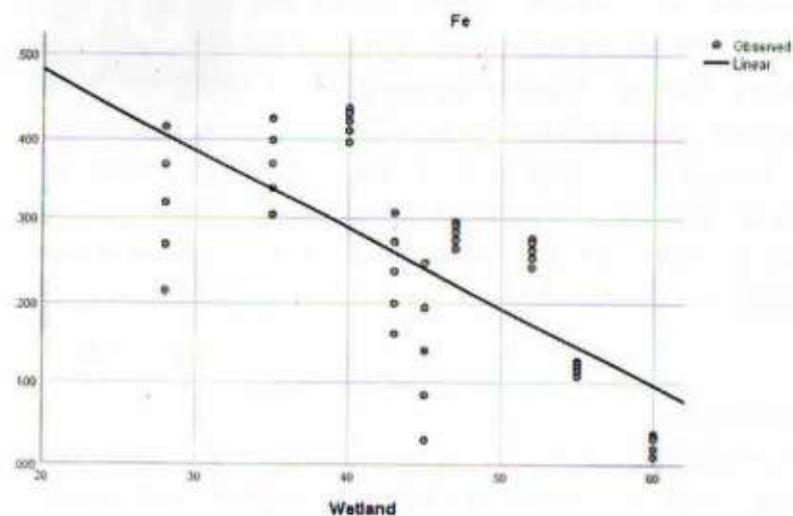
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t-hitung	Sig. t
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.675	.066		10.286	.000
	Wetland	-.010	.001	-.717	-6.750	.000
R-Square		.515				
F-hitung		45.569				
Sig. F		.000				

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Pengaruh antara wetland terhadap parameter Fe diperoleh koefisien konstanta sebesar 0,675 yang artinya tanpa adanya pengaruh dari wetland akan diperoleh prediksi parameter Fe sebesar 0,675. Kemudian pengaruh wetland terhadap parameter Fe diperoleh koefisien regresi sebesar -0,010 dengan nilai t hitung sebesar 6,750 dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ($\text{sig} < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat pengaruh negatif signifikan, artinya setiap 1 hari wetland dan dengan penggunaan filter bertingkat, kolam akar wangi, kolam teratai ikan, aquaponic dan akan berpengaruh terhadap penurunan parameter Fe sebesar 0,010 satuan. Nilai koefisien determinasi sebesar 0,515 menunjukkan besarnya pengaruh wetland terhadap parameter Fe adalah sebesar 51,5 persen.

Selanjutnya, untuk mengetahui gambaran keterkaitan antara penerapan sistem lahan basah buatan (*Constructed wetland*) dengan

pola penurunan kadar zat besi (Fe) dalam air limbah, maka analisis regresi juga dilakukan dengan metode grafik. Hasil dijelaskan melalui gambar 7.15 sebagai berikut:



Gambar 7.15 Grafik hubungan penggunaan lahan basah buatan dengan kadar zat besi (Fe)

Sumber: Data penelitian (2021)

Terakhir, dilakukan analisis sidik ragam atau Anova untuk mengetahui signifikansi perbedaan kadar zat besi pada air limbah pada tiap tahap pengolahan, yakni mulai awal dalam bentuk blackwater, pasca filtrasi bertingkat, saat melalui proses pengendapan dan remediasi di lahan basah buatan, hingga pasca melalui tahap terakhir di kolam akuaponik. Hasil dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 7.10 Hasil Uji ANOVA terhadap Parameter Fe

	N	Mean	SD	Penurunan	F hit	Sig. F
Black Water	9	.32067	.152568		1.513	.230
Kolam Akar Wangi	9	.27633	.132694	↓ 14.0%		
Kolam Teratai Ikan	9	.23122	.125669	↓ 16.3%		
Aquaponic	9	.19278	.127755	↓ 16.5%		

Sumber: Data Penelitian Diolah (2021)

Hasil pengukuran Fe blackwater diperoleh rata-rata sebesar 0,321 kemudian mengalami penurunan sebesar 14,0 persen pada kolam akar wangi menjadi 0,276, kemudian mengalami penurunan sebesar 16,3 persen pada kolam teratai ikan menjadi 0,231, dan mengalami penurunan sebesar 16,5 persen pada aquaponic menjadi 0,193. Hasil uji ANOVA diperoleh nilai F hitung sebesar 1,513 dengan nilai signifikansi sebesar 0,230. Hasil tersebut menunjukkan nilai signifikansi lebih dari 0,05 ($\text{sig} > 0,05$) yang berarti bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara blackwater, air di kolam akar wangi, air di kolam teratai ikan, dan air di aquaponic terhadap parameter Fe.

08

Penutup

8.1 Simpulan

Implementasi konsep pengembangan instalasi pengolahan limbah *blackwater* yang dilakukan di IPAL Komunal Kelurahan Tlogomas, Kota Malang menunjukkan bahwa filter bertingkat, lahan basah buatan, dan kolam akuaponik secara terpadu terbukti mampu menurunkan kadar polutan dalam air limbah *blackwater* hingga memenuhi standar klasifikasi air kelas II menurut Peraturan Pemerintah 14 Desember tahun 2001. Filtrasi bertingkat dengan menggunakan kombinasi material kerikil, pasir dan arang batok kelapa sangat efektif dalam menyaring padatan terlarut dan tersuspensi. Arang batok kelapa -berkat kandungan karbon aktifnya- berperan besar dalam mendukung penyaringan padatan tersuspensi dan mengikat polutan kimia dalam air limbah.

Poin penting yang perlu menjadi bagian dari kesimpulan adalah, bahwa teknik filtrasi saja tidak cukup untuk meningkatkan kualitas air luaran dari IPAL. Sehingga, diperlukan proses lanjutan dengan teknik pengendapan dan remediasi. Penggunaan lahan basah buatan (*constructed wetland*) dan kolam akuaponik dengan memanfaatkan tanaman Akar Wangi dan teratai terbukti mampu menyempurnakan hasil pengolahan dari filter bertingkat. Kualitas air meningkat berkat simbiosis antara tanaman dengan mikro-organisme yang terdapat di area akar tanaman. Hasil akhir dari

pengolahan yang telah dilakukan memperlihatkan peningkatan kualitas air yang signifikan, baik dilihat dari analisis deskriptif, Regresi linier, maupun Anova.

8.2 Saran Pengembangan

Meski upaya pengembangan IPAL telah berhasil memperoleh luaran hingga memenuhi klasifikasi air kelas II, pengembangan lebih lanjut tetap diperlukan untuk lebih meningkatkan efektivitas penyaringan polutan. Atau, meningkatkan kesederhanaan proses pengolahan air limbah. Peneliti di masa depan dapat mempertimbangkan penggunaan material filter lain yang sejauh ini belum dikaji, atau dapat menggunakan jenis arang yang berbeda. Sistem *wetland* dan akuaponik juga dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis tanaman air yang berbeda, maupun dengan desain unit yang berbeda. Selain itu, variasi waktu pengendapan juga dirasa penting untuk diamati secara mendalam. Terakhir, evaluasi kualitas air dapat diperrinci dengan melibatkan parameter lain yang belum dibahas dalam eksperimen ini.



Referensi

- [1] L. K. Wulandari, Munasih, and E. Priskasari, "Coconut Shell Charcoal as Filter Material for Blackwater Purification," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 3, no. 6, pp. 24–29, 2019.
- [2] K. S. I. Sakurai, C. M. E. Pompei, I. N. Tomita, Á. J. Santos-Neto, and G. H. R. Silva, "Hybrid constructed wetlands as post-treatment of blackwater: An assessment of the removal of antibiotics," *Journal of Environmental Management*, vol. 278, no. 3, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111552.
- [3] M. Bisri and L. K. Wulandari, "Quality improvement of blackwater using filter materials and cattail," *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 8, no. 6, pp. 258–261, 2019.
- [4] D. Nurmayanti, Marlik, and N. Haidah, "Efektivitas pasir kuarsa dan pasir hitam dalam pengolahan limbah blackwater," Surabaya, 2019.
- [5] L. K. Wulandari, "Determining the Maximum Discharge of Blackwater in the Treatment Using Wetland System," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 3, no. 10, pp. 7–10, 2019, [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/61588480/71-IJSES-V3N920191223-47803-ts3746.pdf>

- [6] H. I. Abdel-Shafy, M. A. El-Khateeb, and M. Shehata, "Blackwater treatment via combination of sedimentation tank and hybrid wetlands for unrestricted reuse in Egypt," *Desalination and Water Treatment*, vol. 71, pp. 145–151, 2017, doi: 10.5004/dwt.2017.20538.
- [7] Q. Quan, B. Shen, Q. Zhang, and M. A. Ashraf, "Research on Phosphorus Removal in Artificial Wetlands by Plants and Their Photosynthesis," *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2016160506.
- [8] A. Safrodin and S. Mangkoedihardjo, "Desain Ipal Pengolahan Grey Water Dengan Teknologi Subsurface Flow Constructd Wetland Di Rusunawa Grudo Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 144–149, 2016.
- [9] H. Abdulgani, M. Izzati, and Sudarmo, "Pengolahan Llimbah Cair Industri Kerupuk Dengan Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Typha Angustifolia," *BIOMA*, vol. 16, no. 1, pp. 90–101, 2014.
- [10] W. Adi, S. P. Sari, and Umroh, "Efektifitas Filter Bahan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Masyarakat Nelayan Wilayah Pesisir Kabupaten Bangka," *AKUATIK-Jurnal Sumberdaya Perairan*, vol. 8, no. 2, pp. 34–39, 2014.
- [11] E. Yuliani and L. K. Wulandari, "The Effect of Sand Filter and Wetland Residence Time on the Decrease of Blackwater Parameters," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 10, no. 5, pp. 583–589, 2019, [Online]. Available: <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp583http://www.iaeme.com/ijmet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=5http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=5>
- [12] L. K. Wulandari, M. Bisri, D. Harisuseno, and E. Yuliani, "Application of stratified filter and wetland to stabilize the temperature and pH of blackwater," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 1574–1582, 2018.
- [13] S. Lu *et al.*, "Assessment of the treatment of domestic sewage by a vertical-flow artificial wetland at different operating water levels," *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, no. 3, pp. 649–655, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.111.
- [14] A. D. Astuti, M. Lindu, R. Yanidar, and M. M. Kleden, "Kinerja Subsurface Constructed Wetland Multilayer Filtration Tipe Aliran Vertikal dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dalam Penyisihan BOD dan COD dalam Air Limbah Kantin," *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah*, vol. 1, no. 2, pp. 91–108, 2016, doi: 10.25105/pdk.v1i2.1456.
- [15] D. M. Wisesa and A. Slamet, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Susun Tanah Merah Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 199–203, 2016.
- [16] M. A. Umar, M. Baiquni, and S. Ritohardoyo, "Peran masyarakat dan pemerintah dalam pengelolaan air limbah domestik di wilayah Ternate Tengah," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 25, no. 1, pp. 42–54, 2011.
- [17] C. Tendean, S. Tilaar, and H. H. Karongkong, "Pengelolaan air limbah domestik di permukiman kumuh di kelurahan calaca dan Istiqlal Kecamatan Wenang," *Sabua*, vol. 6, no. 3, pp. 293–306, 2014.
- [18] A. F. Situmorang, "Analisis Kadar Logam Besi (Fe), pH, Turbiditas Pada Limbah Domestik di Instalasi Pengolahan Air Limbah Cemara Medan Perusahaan Daerah Air Minum Tirtanadi," Medan, 2017.
- [19] W. Atima, "BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah," *Jurnal Ilmu Biologi dan Pendidikan*, vol. 4, no. 1, pp. 83–93, 2015.
- [20] D. P. Ramadhani, "Analisa Kadar Total Padatan Tersuspensi (TSS) dari Air Limbah Domestik Menggunakan Metode

- Gravimetri di Instalasi Pengolahan Air Limbah PDAM Tirtanadi Cemara Medan," Medan, 2017.
- [21] E. Kustiyaningsih and R. Irawanto, "Total Dissolved Solid (TDS) Measurement in Phytoremediation of Detergent by *Sagittaria lancifolia* Plant," *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, vol. 7, no. 1, pp. 143–148, 2020.
- [22] Y. Ambarwati and S. Bahri, "Fitoremediasi Limbah Logam Berat dengan Tumbuhan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) - Sebuah Studi Literatur," *Jurnal FMIPA Universitas Lampung*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2007.
- [23] M. Besson, S. Berger, L. Tiruta-barna, E. Paul, and M. Spérandio, "Environmental assessment of urine, black and grey water separation for resource recovery in a new district compared to centralized wastewater resources recovery plant," *Journal of Cleaner Production*, vol. 301, pp. 1–41, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126868.
- [24] B. T. Hawkins *et al.*, "Remediation of Suspended Solids and Turbidity by Improved Settling Tank Design in a Small-scale, Free-standing Toilet System Using Recycled Blackwater," *Water and Environmental Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 3–9, 2018, doi: 10.1111/wej.12369.
- [25] J. C. Mende, V. A. Kumurur, and I. L. Moniaga, "Kajian Sistem Pengelolaan Air Limbah Pada Permukiman Di Kawasan Sekitar Danau Tondano (Studi Kasus: Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa)," *Sabua*, vol. 7, no. 1, pp. 395–406, 2015.
- [26] R. Wimbaningrum, I. Arianti, and H. Sulistiyowati, "Efektivitas Tanaman Lembang (*Typha angustifolia* L.) di Lahan Basah Buatan dalam Penurunan Kadar TSS, BOD dan Fosfat pada Air Limbah Industri Laundry," *Berkala Sainstek*, vol. 8, no. 1, p. 25, 2020, doi: 10.19184/bst.v8i1.16499.
- [27] A. Rinarti and I. M. Kamil, "Penggunaan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) untuk Menyisihkan Logam Timbal pada Tanah Tercemar Lindi Studi Kasus: Leuwigajah, Kota Cimahi," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 16, no. 1, pp. 21–30, 2010.
- [28] J. Spångberg, P. Tidåker, and H. Jönsson, "Environmental impact of recycling nutrients in human excreta to agriculture compared with enhanced wastewater treatment," *Science of the Total Environment*, vol. 493, no. 2014, pp. 209–219, 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.123.
- [29] A. P. Florentino, R. Xu, L. Zhang, and Y. Liu, "Anaerobic digestion of blackwater assisted by granular activated carbon: From digestion inhibition to methanogenesis enhancement," *Chemosphere*, vol. 233, no. 4, pp. 462–471, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.255.
- [30] U. Dorji *et al.*, "Exploring shredded waste PET bottles as a biofilter media for improved on-site sanitation," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 148, no. 4, pp. 370–381, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2020.09.066.
- [31] A. Yulistyorini *et al.*, "Peningkatan Pengetahuan Sanitasi Masyarakat Kampung Tridi Kota Malang Melalui Sosialisasi Septic Tank Untuk Pemukiman Padat Penduduk," *Aptekmas Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, vol. 3, no. 2, pp. 1–25, 2020, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.36257/apts.vxix>
- [32] Khairunnisa, "Proses Pengolahan Air Limbah dan Penentuan Beberapa Parameter Mutu Air limbah di PDAM Tirtanadi IPA Limbah Cemara," 2017.
- [33] D. M. Wisesa and A. Slamet, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah di Rumah Susun Tanah Merah Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 1–5, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18279.
- [34] Sutrisno, *Teknologi Penyediaan Air Bersih*, 2nd ed. Jakarta: PT Rineka Cipta, 1991.
- [35] L. K. Wulandari, "The Development of Broad-Crested Weir by Using Physical Modelling," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 3, no. 10, pp. 11–17, 2019.

- [36] M. A. Umar, M. Baiquni, and S. Ritohardoyo, "Peran Masyarakat dan Pemerintah dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik di Wilayah Ternate Tengah," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 25, no. 1, pp. 42–54, 2016, doi: 10.22146/mgi.13360.
- [37] L. K. Wulandari, M. Bisri, D. Harisuseno, and E. Yuliani, "Abilities of stratified filter and wetland to reduce TDS and TSS in blackwater domestic waste," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 469, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012016.
- [38] L. K. Wulandari, M. Bisri, D. Harisuseno, and E. Yuliani, "Reduction of BOD and COD of by using stratified filter and constructed wetland for blackwater treatment," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 469, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012024.
- [39] R. M. Mulia, *Kesehatan Lingkungan*, 1st ed. Jakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [40] L. K. Wulandari, Munasih, and E. Prikasari, "The Modification of Communal Wastewater Treatment Plant (IPAL) Tlogomas Malang Using Sand Filter," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 3, no. 7, pp. 30–35, 2019, [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/5337/>
- [41] Slamet SJ, *Kesehatan Lingkungan*, 1st ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2009.
- [42] D. Firmansyah, B. Yulianto, and S. Sedjati, "Studi kandungan logam berat besi (Fe) dalam air, sedimen, dan jaringan lunak kerang darah (*Anadara granosa*) di Sungai Morosari dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak," *Journal of Marine Research*, vol. 2, no. 2, pp. 45–54, 2013.
- [43] S. Royani, A. S. Fitriana, A. B. P. Enarga, and H. Z. Bagaskara, "Kajian COD dan BOD dalam Air di Lingkungan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Kaliiori Kabupaten Banyumas," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 13, no. 1, pp. 40–49, 2021.



Lampiran

Lampiran 1. Data Eksperimen

Pasir	Wetland	TSS	TDS	BOD	COD
30	28	100	723	125	220
30	35	98	700	120	212
30	40	95	670	112	207
30	43	90	640	100	189
30	45	87	620	95	177
30	47	85	600	90	130
30	52	80	550	82	112
30	55	40	500	77	100
30	60	35	460	66	97
30	28	90	710	115	167
30	35	88	690	109	144
30	40	90	660	91	132
30	43	87	637	82	120
30	45	85	615	76	107
30	47	83	590	70	99
30	52	70	538	62	92
30	55	35	476	59	88
30	60	31	450	44	84
30	28	80	705	111	144
30	35	75	678	98	134
30	40	73	650	87	123

Lampiran 4. Dokumentasi

A. Kondisi IPAL Komunal Tlogomas



B. Kegiatan persiapan

