

LAPORAN AKHIR PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL



TEKNOLOGI PENANGANAN LIMBAH CAIR UNTUK MEWUJUDKAN LINGKUNGAN PERKEBUNAN KOPI RAKYAT YANG SEHAT DAN BERKELANJUTAN

TIM PENELITI

Ketua	Dr. Elida Novita, S.TP, M.T	NIDN. 0030117302
Anggota	Dr. Sri Wahyuningsih, S.P, M.T	NIDN. 0030117204

Dibiayai oleh:
Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Strategis
Nasional Nomor 228/UN25.3.1/LT/Stranas/2015 Tanggal 5 Februari 2015

UNIVERSITAS JEMBER

Desember 2015

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Teknologi Penanganan Limbah Cair untuk Mewujudkan Lingkungan Perkebunan Kopi Rakyat yang Sehat, Produktif dan Berkelanjutan

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr ELIDA NOVITA M.T
Perguruan Tinggi : Universitas Jember
NIDN : 0030117302
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Pertanian
Nomor HP : 0811354686
Alamat surel (e-mail) : elida_novita@yahoo.com

Anggota (1)

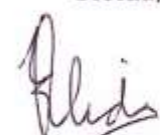
Nama Lengkap : Dr SRI WAHYUNINGSIH S.P, M.T
NIDN : 0030117204
Perguruan Tinggi : Universitas Jember
Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : Koperasi Buah Ketakasi
Alamat : Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Jember
Penanggung Jawab : Suwarno
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 85.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 190.000.000,00

Mengetahui,
Dekan Fakultas Tek. Pertanian



(Dr. Yuli Witono, S.TP., M.P)
NIP/NIK 196912121998021001

Jember, 18 - 12 - 2015
Ketua,



(Dr ELIDA NOVITA M.T)
NIP/NIK 197311301999032001

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



(Prof. Ir. Achmad Subagio, M.Agr., Ph.D)
NIP/NIK 196905171992011001

RINGKASAN

Kopi organic Sidomulyo telah diekspor dan mendapat penghargaan sertifikasi Utz, meskipun mutunya belum sesuai harapan sehingga harganya masih ditentukan oleh eksportir. Sebagai salah satu upaya perbaikan ekonomi rakyat di perkebunan kopi adalah peningkatan mutu kopi yang dilakukan melalui perubahan proses pengolahan. Akan tetapi perubahan metode olah kering menjadi olah basah menimbulkan dampak limbah cair terhadap lingkungan dan dikhawatirkan mempengaruhi sanitasi lingkungan masyarakat perkebunan kopi.

Beberapa alternatif penanganan limbah cair proses pengolahan kopi semi basah yang dapat dilakukan adalah penanganan fisika dengan filtrasi dan sedimentasi, penanganan kimia dengan koagulasi flokulasi dan netralisasi, penanganan biologi dengan fitoremediasi dan bioremediasi. Tujuan umum penelitian ini adalah meningkatkan sanitasi lingkungan perkebunan kopi rakyat melalui penerapan konsep nir limbah dan proses penanganan limbah cair pengolahan kopi rakyat yang ramah lingkungan.

Penelitian secara umum dilakukan menggunakan tiga rancangan penanganan limbah cair kopi yaitu (1) rancangan penanganan fitokoagulasi (2) rancangan desain penanganan fitofiltrasi, dan (2) rancangan penanganan anaerobik untuk menghasilkan biogas. Penelitian dilaksanakan dalam 2 (dua) tahun. Penelitian tahun pertama menunjukkan bahwa perlakuan fitoremediasi menggunakan eceng gondok dan biji kelor dapat diupayakan untuk diterapkan pada penanganan limbah cair kopi. Penelitian tahun kedua melakukan upaya untuk mengoptimalkan proses fitoremediasi menggunakan eceng gondok. Efisiensi terbaik dapat dicapai hingga 90% menggunakan perlakuan fitoremediasi semi kontinyu dibantu aerator. Adapun eceng gondok yang terbaik adalah eceng gondok yang memiliki panjang akar 30 cm. Umur optimal eceng gondok dalam menyerap polutan limbah cair kopi adalah 7 hari, untuk selanjutnya harus diganti karena akan menambah konsentrasi bahan organik di air. Eceng gondok yang sudah tidak dimanfaatkan dapat digunakan sebagai sumber bioenergi melalui proses anaerobik.

Proses anaerobik semi kontinyu merupakan salah satu tahapan penanganan yang mampu menurunkan konsentrasi limbah cair penanganan kopi hingga 57% sekaligus menghasilkan biogas. Proses anaerobik hanya optimal apabila konsentrasi limbah cair kopi (COD) di atas 2000 mg/L. Oleh karena itu penambahan bahan organik lain seperti kulit kopi dan eceng gondok dapat meningkatkan nilai COD.

Kata kunci: kopi rakyat, limbah cair, semi basah, fitokoagulasi, fitoremediasi, anaerobik, eceng gondok, biogas.

PRAKATA

Alhamdulillahirrohmanirrohim, segala puji dan syukur penyusun sampaikan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga laporan akhir Penelitian Strategis Nasional yang berjudul “Teknologi Penanganan Limbah Cair Untuk Mewujudkan Lingkungan Perkebunan Kopi Rakyat Yang Sehat dan Berkelanjutan dapat diselesaikan pada bulan Desember 2015.

Laporan penelitian ini merupakan laporan akhir dari seluruh kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan selama 2 (dua) tahun. Berbagai kendala dan ide muncul selama kegiatan penelitian sejak tahun pertama hingga tahun kedua ini. Lebih kurang 5 orang mahasiswa telah terlibat pada penelitian di tahun pertama dan 17 orang mahasiswa pada tahun kedua. Berdasarkan hasil penelitian dan saran dari penguji skripsi pada tahun pertama, ternyata memberikan ide-ide dan peluang penelitian baru untuk dilaksanakan pada tahun kedua. Jumlah mahasiswa yang cukup banyak di tahun kedua cukup menyulitkan dalam koordinasi biaya, bahan dan alat. Akan tetapi merupakan kebahagiaan tersendiri bagi tim pelaksana mengingat tingginya minat mahasiswa mengikuti penelitian mengenai limbah cair kopi ini. Meskipun demikian dalam pelaksanaan, tim merasa perlu untuk menyampaikan ucapan terima kasih karena penelitian tidak akan dapat berjalan lancar tanpa dukungan beberapa pihak di bawah ini.

1. Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Ketua Jurusan Teknik Pertanian yang telah mendukung dan memberikan ijin pelaksanaan kegiatan.
2. Lembaga Penelitian Universitas Jember yang telah menjadi media penyedia dana penelitian ini.
3. PTPN XII Kebun Kalisat Jampit, Bondowoso, Koperasi Buah Ketakasi Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo khususnya Pak Suwarno, Pak Sunari yang telah bersedia diganggu untuk mengambil limbah cair hasil proses pengolahan kopi.
4. Adik-adik mahasiswa yang selalu bersemangat menimba ilmu *perlimbahan* dan ilmu *perkopian*. Semoga hasil kerja keras kita dalam kesatuan penelitian ini bermanfaat bagi masyarakat.
5. Semua pihak yang telah turut berpartisipasi dalam penelitian ini.

Hasil penelitian yang disampaikan dalam laporan ini pastilah tidak sempurna karena sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Meskipun demikian tim insya Allah akan selalu berusaha untuk menuliskan yang terbaik bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan penerapannya dalam perkembangan pertanian kopi Indonesia yang berkelanjutan.

Jember, Desember 2015
Tim Penelitian Strategis Nasional

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	2
Ringkasan.....	3
Prakata.....	4
Daftar Isi.....	5
BAB 1. PENDAHULUAN	8
1.1. Latar Belakang	8
1.2. Rumusan Permasalahan	10
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1. State of The Art.....	12
2.2. Peta Jalan Penelitian	13
2.3. Studi Pendahuluan dan Hasil Yang Telah Dicapai	14
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	17
BAB 4. METODE PENELITIAN.....	19
3.1. Bahan dan Alat.....	19
3.2. Metodologi Penelitian.....	20
BAB 5. HASIL YANG DICAPAI.....	28
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tahapan Penelitian	27
Tabel 2. Karakteristik Umum Limbah Cair Proses Pengolahan Semi Basah	28
Tabel 3. Rasio karbon dan nitrogen pada berbagai bahan	36
Tabel 4. Temperatur optimum bakteri	36
Tabel 5. Karakteristik limbah cair Proses Anaerobik	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Jalan Penelitian.....	14
Gambar 2. Sistem Tertutup Unit Pengolahan Kopi Rakyat Berbasis Produksi Bersih	15
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4. Rangkaian Akuarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi.....	22
Gambar 5. Rangkaian Akuarium Fitoremediasi Semi Kontinyu Dengan Aerasi ..	23
Gambar 6. Rancangan Fitoremediasi Dengan Pergantian Eceng Gondok.....	24
Gambar 7. Rancangan Reaktor Pertumbuhan Inokulan (Reaktor 1).....	24
Gambar 8. Rancangan Reaktor Konvensional (Reaktor 2).....	25
Gambar 9. Desain Struktural Reaktor CSTR (Reaktor 3).....	25
Gambar 10. Desain Struktural Reaktor UASB (Reaktor 4)	26
Gambar 11. Tahapan Analisis Data	26
Gambar 12. Limbah Cair Pengolahan Kopi di Sidomulyo	28
Gambar 13. Kondisi Kolam Penampung Limbah Cair Pengolahan Kopi	28
Gambar 14. Penurunan Nilai COD Selama Proses Fitoremediasi	34
Gambar 15. Pola umum degradasi polimer organik menjadi metana dalam fermentasi anaerobik (Malina dan Pohland 1992).....	34
Gambar 16. Instalasi Digester Yang Digunakan Pada Penanganan Anaerobik....	36
Gambar 17. Perubahan nilai parameter fisik selama proses anaerobik.....	39

BAB I. PENDAHULUAN

Kesehatan lingkungan adalah suatu kondisi lingkungan yang mampu menopang keseimbangan ekologis yang dinamis antara manusia dan lingkungan untuk mendukung tercapainya realitas hidup manusia yang sehat, sejahtera dan bahagia. Pencapaian kesehatan lingkungan diwujudkan melalui upaya untuk melindungi kesehatan manusia melalui pengelolaan, pengawasan dan pencegahan factor-faktor yang dapat membahayakan manusia. Salah satu upaya pencapaian kesehatan lingkungan adalah melalui upaya pengendalian pencemaran dan pengolahan air buangan.

Usaha perkebunan kopi rakyat di Desa Sidomulyo, Kecamatan Silo merupakan salah satu sentra produksi perkebunan kopi rakyat terbesar di Kabupaten Jember. Sebagai salah satu kopi organik yang telah diekspor ke mancanegara dan mendapat penghargaan sertifikasi Utz menjadikan masyarakat Desa Sidomulyo sangat bergantung pada keberlanjutan pertanian kopi (Novita et al., 2010). Kopi memang telah memberikan manfaat tersendiri bagi masyarakat Indonesia termasuk masyarakat di Desa Sidomulyo. Bahkan kopi memiliki nilai sosial dan ekonomi bagi satu juta keluarga petani kecil di Indonesia serta merupakan salah satu komoditi ekspor andalan sektor perkebunan (FAO, 2010; Mawardi, 2008; Suryana, 2006).

Beberapa upaya peningkatan mutu kopi telah dilaksanakan melalui perbaikan proses. Salah satunya adalah perubahan metode olah kering menjadi olah basah. Akan tetapi perubahan proses ini menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Upaya peningkatan mutu biji kopi yang diharapkan berdampak pada pendapatan petani, ternyata memiliki konsekuensi peningkatan volume limbah cair dan padat yang harus ditangani. Limbah cair yang dihasilkan tersebut belum ditangani sepenuhnya sehingga mencemari lingkungan di sekitar perkebunan kopi yang dikhawatirkan akan berdampak pada kesehatan masyarakat.

Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kopi terutama adalah sisa-sisa bahan organik dan anorganik, limbah padat dan limbah cair hasil

proses pengupasan dan pencucian biji kopi. Novita et al. (2009) menjelaskan limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan kopi di Desa Sidomulyo dapat mencapai 2,452 m³/ton buah kopi. Adapun limbah padat mencapai 50 – 60 % dari total buah kopi yang diolah. Limbah cair dan limbah padat tersebut dapat menimbulkan eutrofikasi di perairan dan berbau tidak sedap. Menurut Pelupessy (2003), beberapa bagian dari limbah organik pada proses pengolahan kopi dapat didaur ulang menjadi produk yang bernilai ekonomis.

Upaya pengurangan pencemaran melalui minimisasi air input diterapkan di Desa Sidomulyo sehingga menghasilkan metode pengolahan semi basah sebagai hasil modifikasi metode olah basah (Syarief et al., 2012). Prinsip pengurangan pencemaran merupakan bagian dari teknologi bersih yang diterapkan menggunakan prinsip 3R (*reduce, reuse and recycle*). Dalam aplikasinya, pengurangan pencemaran merupakan bagian konsep produksi bersih (*cleaner producton*) atau nir limbah (*zero waste*) (Djajadiningrat, 2001; Pudjiastuti, 1999).

Akan tetapi modifikasi metode olah basah melalui minimisasi air input meningkatkan konsentrasi limbah cair yang dihasilkan sehingga membutuhkan penanganan yang tepat. Menurut Novita (2012), peningkatan konsentrasi limbah cair menghasilkan potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai penghasil biogas dan pupuk cair apabila ditangani secara anaerobik. Bahkan berdasarkan penelitian pengusul di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia (ICCRI), volume biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi lebih tinggi 18 kali dari biogas yang dihasilkan melalui kotoran ternak (Novita, 2012).

Murthy et al. (2004); Von Enden dan Calvert (2002), menegaskan penanganan anaerobik limbah cair pengolahan kopi dalam suatu reactor tangki merupakan pilihan yang sesuai karena mampu menghasilkan biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, meskipun membutuhkan stabilitas proses yang baik. Akan tetapi, Mendoza dan Rivera (1998); Novita (2012), menjelaskan proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi dapat menghasilkan efluen (air setelah proses) yang belum layak dibuang langsung

ke badan air apabila masih berada di atas nilai baku mutu lingkungan. Pada kondisi demikian dibutuhkan tahap penanganan lanjutan yang lebih produktif agar produk yang dihasilkan dapat dimanfaatkan kembali (*recycle*) ataupun dibuang ke lingkungan perkebunan sebagai sumber air pertanian. Upaya pemanfaatan kembali ini merupakan bagian pemulihan materi dan nutrisi sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Pemulihan materi dan nutrisi saat ini telah berkembang melalui pendekatan bioremediasi dan fitoteknologi yang dianggap memiliki dampak minimal terhadap lingkungan sebagai upaya pendekatan sanitasi lingkungan yang berkelanjutan. Bioremediasi menekankan pada pemanfaatan mikroorganisme untuk menghilangkan pengaruh kontaminan sehingga substansinya berkurang. Adapun fitoteknologi memusatkan tumbuhan sebagai bagian dari teknologi lingkungan hidup yang mampu menyesuaikan masalah lingkungan (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Melalui teknologi bioremediasi dan fitoteknologi diharapkan terjadi kesetimbangan teknologi alamiah dan buatan manusia dalam kerangka menutup jaring-jaring materi dan nutrisi dalam ekosistem. Dengan demikian dapat terwujud sanitasi lingkungan perkebunan kopi rakyat yang sehat dan produktif.

1.1. Rumusan Permasalahan

Beberapa alternatif penanganan limbah cair proses pengolahan kopi semi basah yang dapat dilakukan adalah penanganan fisika dengan filtrasi dan sedimentasi, penanganan kimia dengan koagulasi flokulasi dan netralisasi, penanganan biologi dengan fitoremediasi dan bioremediasi. Pada tahun pertama telah dilakukan dua proses penanganan fitoremediasi menggunakan eceng gondok (fitofiltrasi) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) untuk fitokoagulasi. Penanganan fitokoagulasi menunjukkan bahwa biji kelor berukuran 70 mesh mampu menurunkan konsentrasi bahan organik hingga 30% COD dan kekeruhan hingga 80%. Adapun eceng gondok melalui fitoremediasi sistem batch memiliki nilai efisiensi penanganan lebih baik

dapat mencapai 96% (COD). Kemampuan eceng gondok sebagai penyerap pencemar limbah cair kopi ditentukan oleh perlakuan penanganan dan konsentrasi bahan organik limbah cair kopi. Eceng gondok masih mampu menurunkan konsentrasi bahan organik hingga 6000 mg/L COD. Selain itu eceng gondok mampu ditanam langsung di kolam limbah cair tanpa harus perlakuan netralisasi sebagaimana proses koagulasi biji kelor.

Berdasarkan hasil penelitian tahun pertama fitoremediasi menggunakan eceng gondok merupakan proses penanganan yang lebih baik dibandingkan fitokoagulasi untuk diaplikasikan pada limbah cair hasil pengolahan kopi. Eceng gondok mampu bertahan hingga 14 hari dalam penanganan limbah cair kopi. Eceng gondok yang telah mati masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi biomassa melalui proses anaerobik.

Proses anaerobik yang menghasilkan biogas merupakan salah satu alternatif teknologi bioremediasi pada proses yang terkontrol. Kultur campuran mikroorganisme tersebut berperan penting dalam proses regenerasi, degenerasi dan dekomposisi senyawa yang terkandung pada limbah cair. Proses anaerobik dapat menghasilkan produk biogas dan pupuk organik yang diharapkan mampu meningkatkan kualitas lingkungan perkebunan kopi rakyat serta ekonomi masyarakat petani kopi.

Proses anaerobik membutuhkan bioreaktor yang layak sehingga kandungan bahan organik limbah cair kopi yang tinggi dapat didegradasi secara optimal. Integrasi proses fitoremediasi dan anaerobik dalam penanganan limbah cair kopi rakyat dapat dilaksanakan melalui tahapan rancangan penanganan fitoremediasi yang terbaik, rancangan bioreaktor anaerobik yang mampu menangani limbah cair dan limbah padat pengolahan kopi, upaya pemanfaatan hasil penanganan fitoremediasi dan anaerobik. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, dibutuhkan analisis kelayakan secara sosial, ekonomi dan lingkungan sehingga dapat diterapkan di lingkungan perkebunan kopi rakyat.

Oleh karena itu penelitian tahun kedua ini adalah melakukan perbaikan proses fitoremediasi dan mengembangkan proses anaerobik pada penanganan limbah cair proses pengolahan kopi serta menghasilkan produk yang memiliki nilai tambah bagi petani kopi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. State of The Art

Kopi telah memberikan manfaat tersendiri bagi kelangsungan hidup masyarakat Indonesia karena telah menjadi sumber pendapatan utama bagi lebih dari satu juta keluarga petani kecil (*smallholder*) dan pelaku bisnis di tingkat hulu maupun hilir. Keberadaan kopi bagi masyarakat Indonesia selain mempunyai fungsi ekonomi juga memiliki fungsi sosial. Jenis kopi yang diusahakan oleh rakyat umumnya adalah kopi robusta. Sekitar 86,38% tanaman kopi yang ditanam di Indonesia adalah robusta dimana 96,33% nya berasal dari perkebunan rakyat (Ditjen Perkebunan, 2011).

Pengolahan kopi yang umum dilakukan adalah proses olah kering dan olah basah. Pengolahan kering lebih sering dilakukan di tingkat petani karena tidak membutuhkan input air dan peralatan yang dapat menambah biaya produksi. Akan tetapi mutu biji kopi yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibandingkan mutu biji kopi perkebunan besar yang menerapkan pengolahan basah. Introduksi pengolahan semi basah pada pengolahan kopi rakyat merupakan upaya meningkatkan mutu biji kopi rakyat dengan input air lebih sedikit dan peralatan sederhana tetapi buah kopi melalui proses fermentasi yang dipercaya dapat meningkatkan cita rasa (Mulato dkk, 2006; Najiyati dan Danarti, 2006; Novita, et al., 2010) sehingga dapat meningkatkan harga kopi rakyat.

Penggunaan input air pada pengolahan semi basah menghasilkan output berupa limbah cair maupun limbah padat yang dapat mencemari lingkungan. Beberapa upaya pemanfaatan limbah padat yang dapat dilakukan adalah pembuatan kompos, pupuk organik dan pakan ternak (Baon dkk, 2005;

Pujiyanto, 2007). Adapun penanganan limbah cair yang telah dilakukan belum sepenuhnya menghasilkan efluen (air hasil proses) yang dapat diterima oleh lingkungan karena konsentrasi pencemaran masih di atas baku mutu (Syarief et al., 2012). Mburu (2004); Chanakya dan De Alwis (2004), menjelaskan upaya penanganan pencemaran lingkungan dari proses pengolahan kopi hanya dapat dikontrol melalui kombinasi minimisasi limbah dan pengolahan limbah cair yang efektif.

2.2. Peta Jalan Penelitian

Jember sebagai salah satu kabupaten yang berada di timur pulau Jawa merupakan salah satu sentra penghasil kopi rakyat nasional. Penelitian ini merupakan bagian integral dari upaya peningkatan peran kopi sebagai salah satu komoditas pertanian yang dapat meningkatkan kesejahteraan nasional. Pengembangan teknologi penanganan limbah yang ramah lingkungan merupakan salah satu upaya peningkatan peran teknologi pengolahan dan pemanfaatan limbah kopi sebagai bagian dari teknologi proses dan peralatan pengolahan biji kopi.

Menurut Novita (2012), aplikasi metode semi basah pada pengolahan kopi rakyat untuk meningkatkan mutu kopi ternyata menimbulkan dampak pencemaran air terutama akibat kandungan bahan organik yang tinggi. Proses penanganan limbah cair yang diterapkan saat ini di salah satu sentra pengolahan kopi rakyat belum mampu menurunkan konsentrasi pencemaran hingga memenuhi baku mutu lingkungan menurut Permen LH No. 82 Tahun 2001. Hal ini jika tidak segera dilakukan penanganan akan menimbulkan kontraproduktif terhadap upaya peningkatan mutu dan harga kopi rakyat. Di sisi lain, kandungan bahan organik yang tinggi pada limbah cair kopi merupakan potensi cukup besar sebagai upaya peningkatan nilai tambah proses pengolahan kopi rakyat.

Berdasarkan kondisi tersebut, peta jalan penelitian pada tahun pertama adalah membangun informasi awal terkait karakteristik limbah cair pengolahan kopi dari metode semi basah, optimasi proses fitoremediasi dan

rancang bangun reaktor bioremediasi. Hasil penelitian pada tahun pertama akan menjadi dasar untuk melakukan aplikasi proses fitoremediasi dan bioremediasi skala laboratorium untuk penanganan limbah cair proses pengolahan kopi serta mengetahui karakteristik pupuk cair dan efluen akhir proses penanganan. Di akhir tahun diharapkan dapat diketahui alternatif penanganan terbaik bagi limbah cair pengolahan kopi sebagai dasar penerapan di sentra pengolahan kopi berdasarkan kelayakan teknis, proses dan ekonomi. Penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung tujuan khusus Universitas Jember untuk menjadi institusi unggul pengembang kopi di tingkat nasional maupun internasional. Arah jalan penelitian dapat digambarkan sebagai berikut.

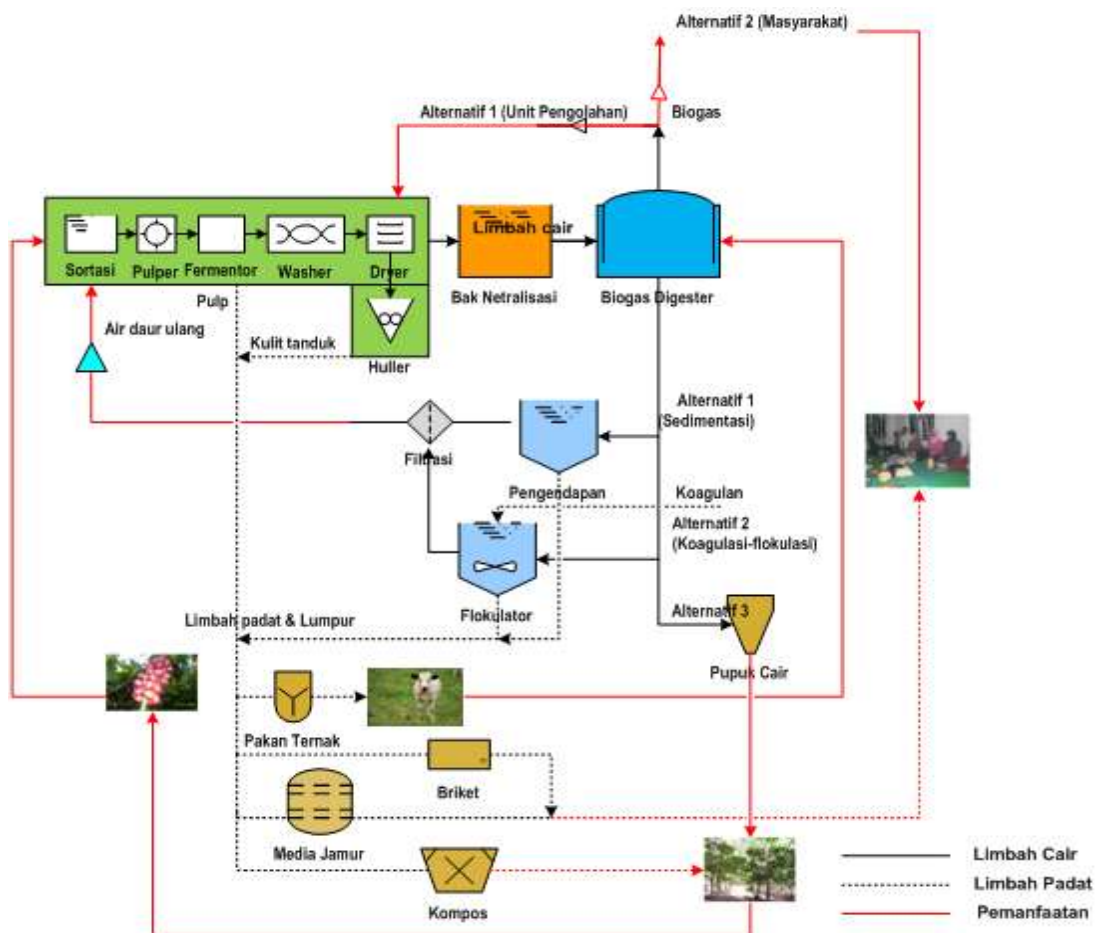


Gambar 1. Peta Jalan Penelitian Teknologi Penanganan Limbah Cair untuk Mewujudkan Lingkungan Perkebunan Kopi Rakyat yang Sehat dan Berkelanjutan.

2.3. Studi Pendahuluan dan Hasil Yang Telah Dicapai

Mulato et al. (2006), menjelaskan proses giling basah atau yang saat ini dikenal dengan proses semi basah merupakan upaya peningkatan mutu biji kopi rakyat dengan menggunakan input air lebih sedikit dibandingkan pengolahan basah umumnya. Minimisasi air input pada proses pengolahan

kopi meningkatkan konsentrasi limbah cair yang dihasilkan sehingga membutuhkan penanganan yang dapat diterapkan oleh petani kopi terutama skala kelompok. Menurut Novita (2012), modifikasi proses olah basah melalui minimisasi air input merupakan bagian dari penerapan konsep produksi bersih yang terkait erat dengan konsep pembangunan berkelanjutan. Produksi bersih meminimalkan limbah yang dihasilkan dari proses produksi melalui upaya mengurangi jumlah sumber daya yang digunakan dan meningkatkan produktivitasnya. Produksi bersih telah menjadi promotor teknologi yang ramah lingkungan. Secara skematis, desain sistem tertutup proses pengolahan kopi rakyat yang berbasis produksi bersih disajikan pada Gambar 2. (Novita, 2012).



Gambar 2. Sistem Tertutup Unit Pengolahan Kopi Rakyat Berbasis Produksi Bersih

Volume limbah cair yang dihasilkan minimum dari proses semi basah tetapi memiliki konsentrasi pencemar lebih tinggi dan berpotensi untuk menghasilkan biogas melalui penanganan anaerobik. Volume biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik limbah cair pengolahan kopi lebih tinggi dibandingkan biogas yang dihasilkan dari kotoran ternak (Novita, 2012). Akan tetapi petani masih belum sepenuhnya tergerak untuk menerapkan proses anaerobik biogas mengingat instalasi alat yang cukup besar dan membutuhkan pengontrolan stabilitas proses. Di sisi lain, penanganan anaerobik masih menghasilkan efluen yang membutuhkan penanganan lanjutan agar layak untuk dibuang ke lingkungan. Beberapa alternatif penanganan lanjutan yang dapat dilakukan adalah koagulasi flokulasi, filtrasi (penyaringan) dan pemanfaatan sebagai air irigasi di perkebunan kopi (Novita, 2012 ; Syarief, 2012). Kombinasi penanganan limbah cair yang tepat perlu diupayakan agar penerapannya di tingkat petani dapat efektif dilaksanakan.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan umum penelitian ini adalah meningkatkan sanitasi lingkungan perkebunan kopi rakyat melalui penerapan konsep nir limbah dan proses penanganan limbah cair pengolahan kopi rakyat yang ramah lingkungan.

Penelitian pada tahun pertama difokuskan pada tujuan sebagai berikut:

1. mengetahui karakteristik limbah cair proses pengolahan kopi rakyat hasil olah semi basah sebagai dasar penilaian sanitasi lingkungan.
2. merancang unit penanganan limbah sederhana dan aklimatisasi eceng gondok sebagai filter alami yang ramah lingkungan.
3. menentukan perlakuan dan dosis optimum proses koagulasi menggunakan biji kelor sebagai koagulan alami ramah lingkungan.

Pada tahun kedua, penelitian secara khusus bertujuan untuk:

1. menetapkan teknologi proses fitoremediasi yang layak diterapkan pada limbah cair pengolahan kopi menggunakan eceng gondok.
2. merancang unit pengolahan proses anaerobic untuk menghasilkan biogas dan pupuk cair organik.
3. melakukan analisis kelayakan financial, sosial dan ekologi penanganan limbah cair pengolahan kopi metode fitoremediasi dan bioremediasi sebagai dasar pemilihan penanganan terbaik bagi unit pengolahan kopi rakyat.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan secara umum di unit pengolahan kopi rakyat di seluruh Indonesia. Secara khusus hasil penelitian ini dapat diterapkan di unit pengolahan kopi rakyat di Kabupaten Jember sehingga mendukung pengembangan agroindustri kopi robusta terutama di Sentra Pengolahan Kopi Rakyat Sidomulyo, Kecamatan Silo. Adapun manfaat dari kegiatan penelitian ini adalah untuk:

1. Mendapatkan informasi mengenai karakteristik lingkungan dan limbah cair hasil pengolahan kopi rakyat.
2. Mendapatkan teknologi tepat guna yang terbaik dapat diterapkan untuk menangani limbah cair hasil pengolahan kopi rakyat.

3. Membantu meningkatkan upaya pengembangan agroindustri kopi rakyat berorientasi mutu sekaligus ramah lingkungan dan bernilai tambah.
4. Memberikan pedoman dalam melaksanakan pengolahan kopi yang berorientasi mutu, ramah lingkungan dan bernilai tambah melalui penerapan 3R (pengurangan volume air proses, penanganan limbah dan pemanfaatan hasil pengolahan limbah cair) yang mampu meningkatkan harga kopi rakyat.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1. Jenis Data, Bahan dan Alat Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terutama berupa data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari objek yang diteliti atau pengukuran langsung di laboratorium. Data sekunder yang digunakan berasal dari dokumen dan publikasi. Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian meliputi :

- a) Data Primer berupa data hasil penelitian teknologi terapan fitoremediasi dan penanganan anaerobik,
- b) Data Sekunder berupa data yang diperoleh dari literatur terkait yang bersumber dari buku dan jurnal. Data sekunder yang dibutuhkan terutama adalah jenis-jenis penanganan limbah cair kopi berbasis bioremediasi khususnya penanganan anaerobik, rancangan teknis penanganan anaerobik dan fitoremediasi.

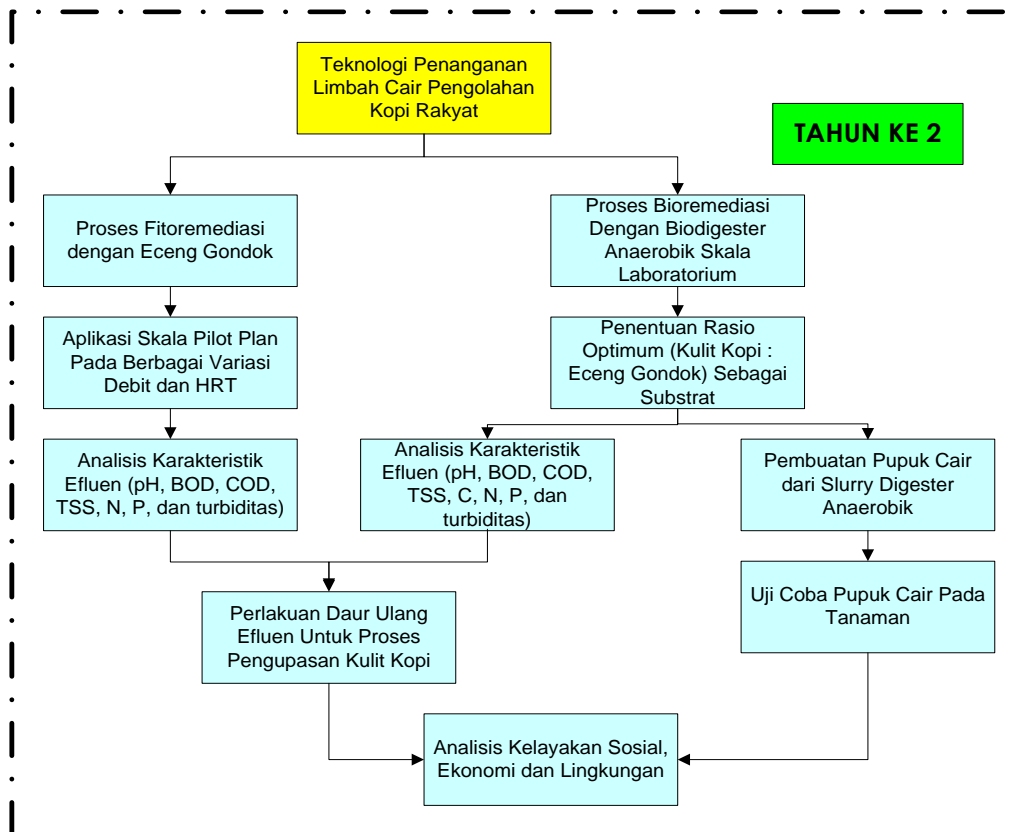
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah : akuarium kaca, keran, lem PVC, lem kaca, tong plastik, pompa, selang, pipa, flow meter, saringan, jerigen, flow meter, meja kayu, saringan, kertas saring 0,45 μ , pipa T, bak limbah 80L, klep, penggaris, aerator Vosso, cutter, gunting besar, selang diameter 1,5 m, silt karet, aluminium foil, nampan, poly bag, manometer, sensor pH, sensor suhu, mikrokontroler ATMega 8, PCB lubang IC, LCD M1632, relay 5V, Socket mikrokontroler 28 kaki, kristal 8000, motor AC/DC, timah, Kapasitor, Resistor 1 Kohm, Kapasitor 20 - 38 pF, LED, Kapasitor polar, Kabel bakar, Transistor c828, Besi hider, Socket besi hider, Kabel pelangi, pompa wiper, pipa air, reaktor botol biogas, labu erlenmeyer, tutup karet, magnetic stirrer,

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aquades, Reagen COD High Range, benih tomat, limbah cair kopi hasil pengolahan.

e. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui inventarisasi pustaka terkait karakteristik limbah cair proses pengolahan kopi rakyat, literatur mengenai rancangan penanganan fitoremediasi dan anaerobik. Pengumpulan data primer dilakukan melalui percobaan di laboratorium dan analisis sampel di laboratorium dan ITS.

Penelitian secara umum dilakukan menggunakan dua rancangan penanganan limbah cair kopi yaitu (1) rancangan desain penanganan fitofiltrasi optimum menggunakan eceng gondok, dan (2) rancangan penanganan anaerobik (bioremediasi) untuk menghasilkan biogas. Penelitian dilakukan dengan ulangan selama masa panen dan analisis contoh secara *duplicate*. Parameter analisis limbah cair meliputi BOD (*biochemical oxygen demand*), COD (*chemical oxygen demand*), TSS (*total suspended solid*), TDS (*total dissolved solid*), fosfat, total nitrogen, C/N, perubahan fisiologi eceng gondok selama penanganan. Secara umum tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian fitoremediasi lanjut di tahun kedua ini diarahkan pada upaya penerapan yang optimal pada skala laboratorium dan pilot plan. Tahapan penelitian fitoremediasi lanjutan di tahun kedua ini meliputi :

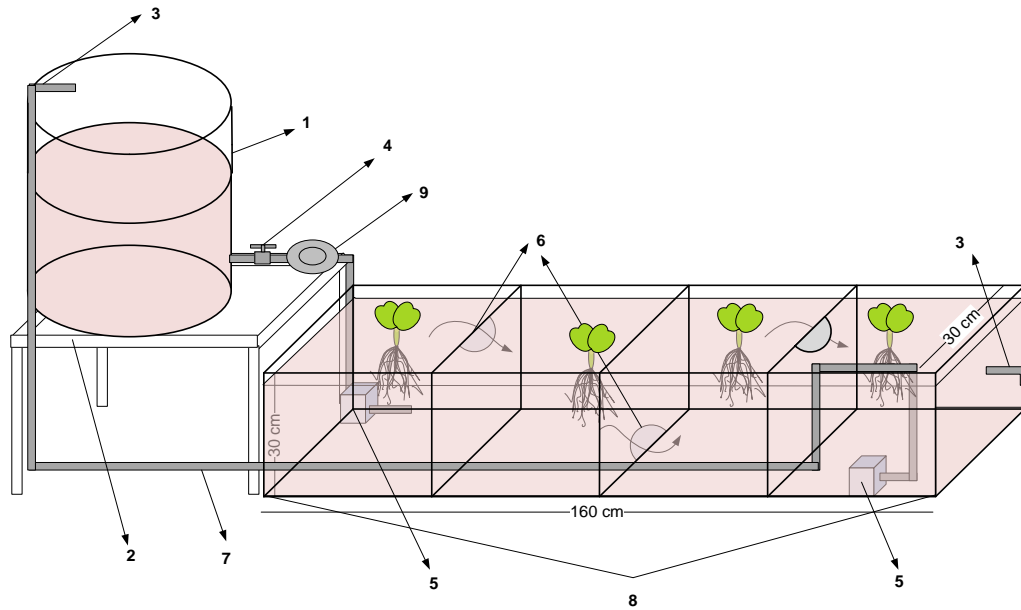
1. Kajian Lanjut Perlakuan Debit Sirkulasi Proses Fitoremediasi Eceng Gondok Pada Limbah Cair Pengolahan Kopi.
2. Kajian Waktu Tinggal dan Panjang Akar Eceng Gondok Terhadap Penurunan Konsentrasi Limbah Cair Pengolahan Kopi
3. Kajian Pergantian Eceng Gondok Pada Sirkulasi Proses Fitoremediasi Limbah Cair Pengolahan Kopi
4. Kajian Pemberian Aerasi Proses Fitoremediasi Eceng Gondok Pada Limbah Cair Pengolahan Kopi Secara Kontinyu
5. Variasi waktu tinggal kombinasi proses fitoremediasi dan penanganan fisik limbah cair pengolahan Kopi
6. Desain Sistem Wetland Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow*) Menggunakan Eceng Gondok Pada Penanganan Limbah Cair Kopi
7. Analisis Kelayakan Penerapan Proses Fitoremediasi Limbah Cair Kopi (Studi Kasus Desa Sidomulyo, Kec. Silo, Kab. Jember).

Adapun kajian penelitian anaerobik diarahkan untuk memanfaatkan eceng gondok hasil fitoremediasi dan upaya menghasilkan biogas berdasarkan jenis bioreaktor terbaik pada skala laboratorium. Tahapan penelitian anaerobik bioremediasi limbah cair kopi meliputi:

1. Kajian Proses Anaerobik Pada Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi Dengan Metode Semi Kontinyu.
2. Sistem Kontrol Proses Anaerobik Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Reaktor UASB.
3. Sistem Kontrol Proses Anaerobik Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi Menggunakan Reaktor CSTR.
4. Variasi Input Reaktor Anaerobik Pada Proses Penanganan Limbah Cair Pengolahan Kopi (Kulit Kopi, Eceng Gondok, Kulit Kopi dan Eceng Gondok).
5. Pemanfaatan Efluen Reaktor Anaerobik Limbah Cair Pengolahan Kopi Untuk Pertumbuhan Tanaman Tomat.

6. Pemanfaatan Lumpur Hasil Variasi Input Reaktor Anaerobik Untuk Pertumbuhan Tanaman Tomat.
7. Analisis Kelayakan Penerapan Proses Anaerobik Limbah Cair Pengolahan Kopi (Studi Kasus Desa Sidomulyo, Kec. Silo, Kab. Jember)

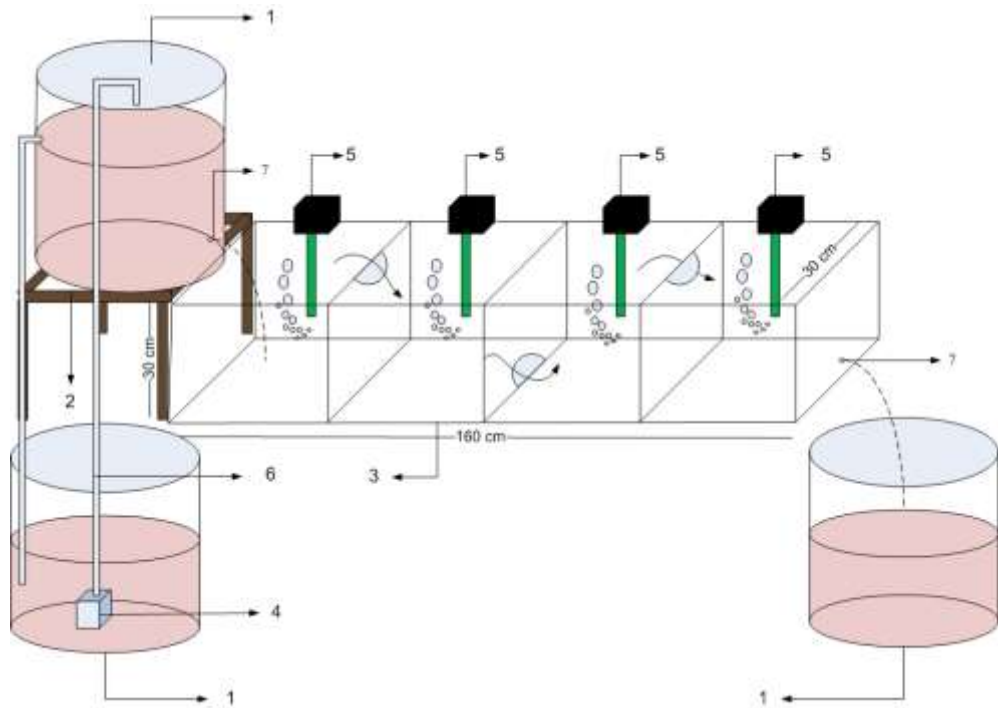
Rancangan Peralatan Fitoremediasi.



Gambar 4. Rangkaian Aquarium Fitoremediasi dengan Sirkulasi

Keterangan:

1. Bak Penampung Limbah	2. Meja	3. Kran Keluaran Limbah
4. Stop Kran	5. Pompa	6. Lubang Sirkulasi
7. Selang	8. Aquarium Fitoremediasi	9. Flow meter

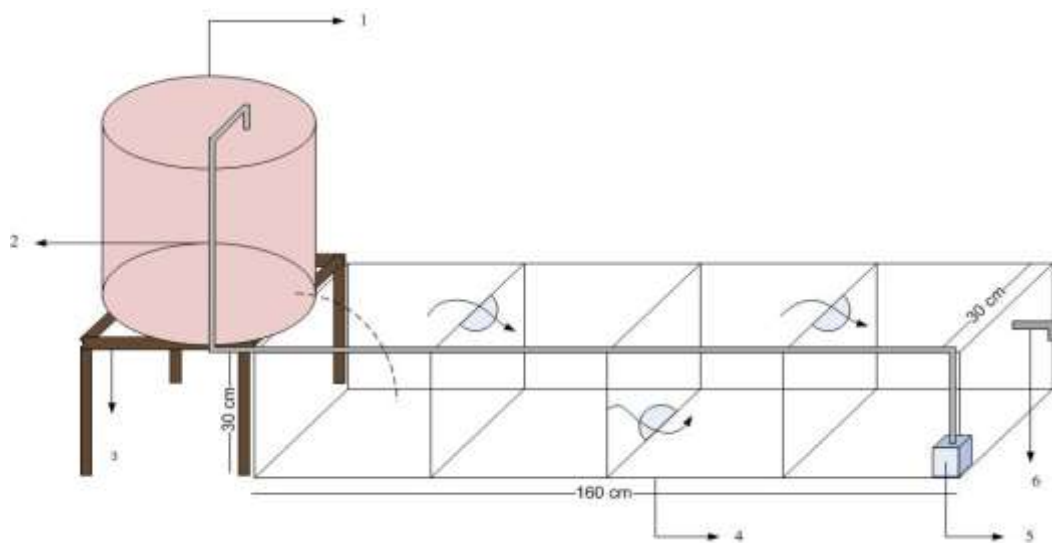


Gambar 5. Rangkaian Akuarium Fitoremediasi Semi Kontinyu Dengan Aerasi

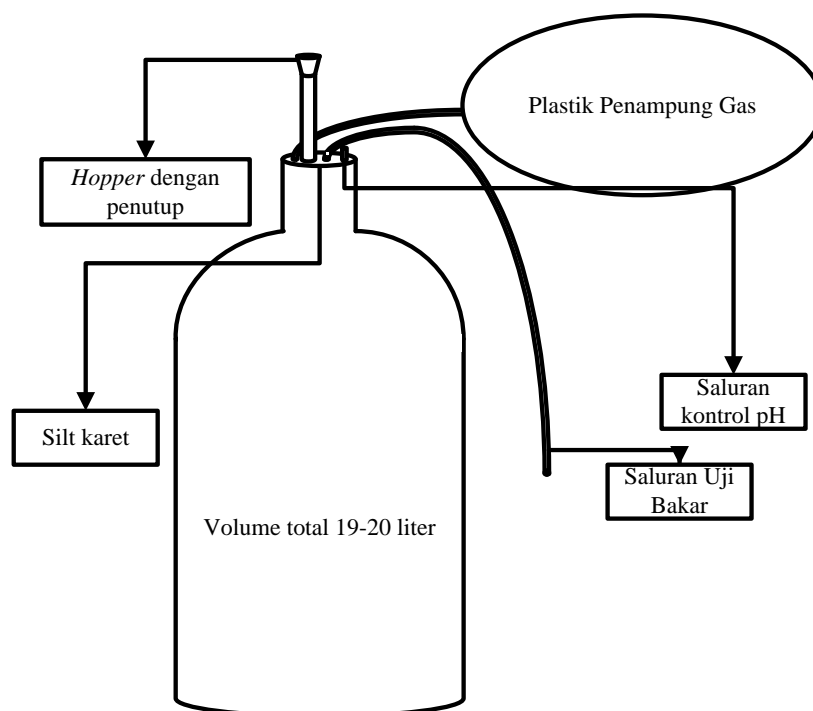
Keterangan:

1. Bak Penampung Limbah	2. Meja Kayu	3. Akuarium	7. Lubang Input
4. Pompa KD-105	5. Aerator	6. Selang	

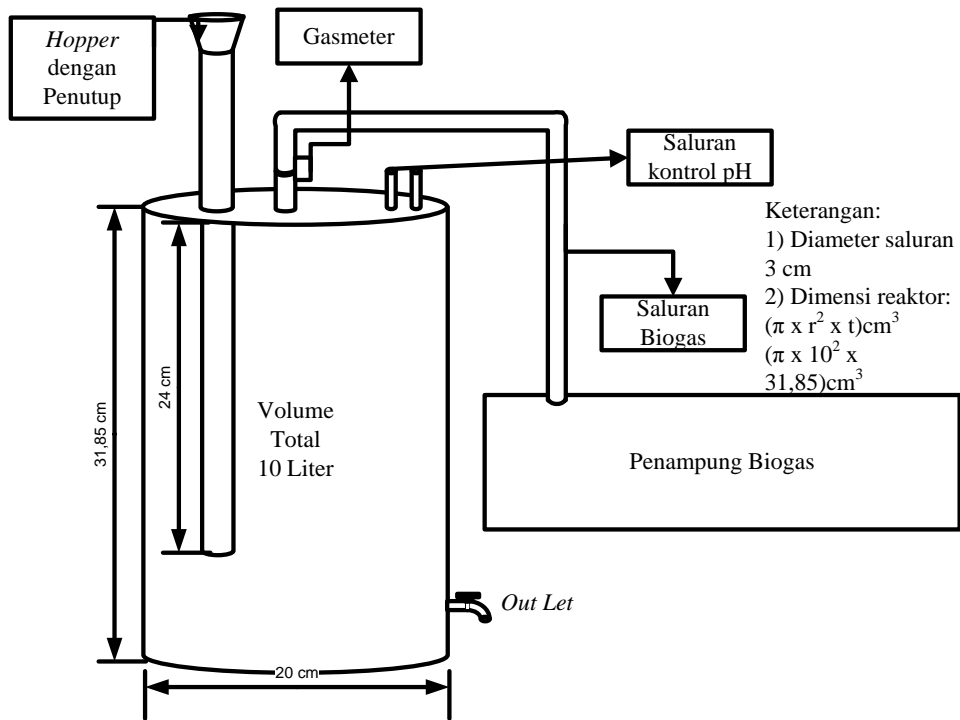
Akuarium dirancang dengan menggunakan bahan kaca bening dengan panjang 160 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm. Dimensi ukuran tersebut berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Bak penampung terbuat dari bahan plastik dengan volume 150 liter. Penggunaan bak tersebut dikarenakan tahan karat, tahan perubahan suhu dan harganya lebih murah dibanding dengan bahan lainnya. Limbah dari bak penampung dikeluarkan melalui pipa PVC yang disambung pada bagian bawah bak penampung serta dipasang stop keran ukuran 0,5 inci. Lubang untuk aliran kaca dibuat dengan aliran upflow (aliran dari atas ke bawah). Pada sekat pertama dan ketiga, bagian atas kaca dibuat lubang setengah lingkaran dengan diameter 5 cm. Sedangkan pada sekat kedua, bagian bawah kaca dibuat lubang setengah lingkaran dengan diameter 5 cm. Untuk mengalirkan limbah secara kontinyu, dibuat lubang pada kaca akuarium bagian bawah dengan diberi stop keran ukuran 0,5 inci. Penambahan aerator diletakkan pada bagian tengah setiap kotak akuarium yang telah diberikan sekat yang berfungsi untuk menambahkan oksigen.



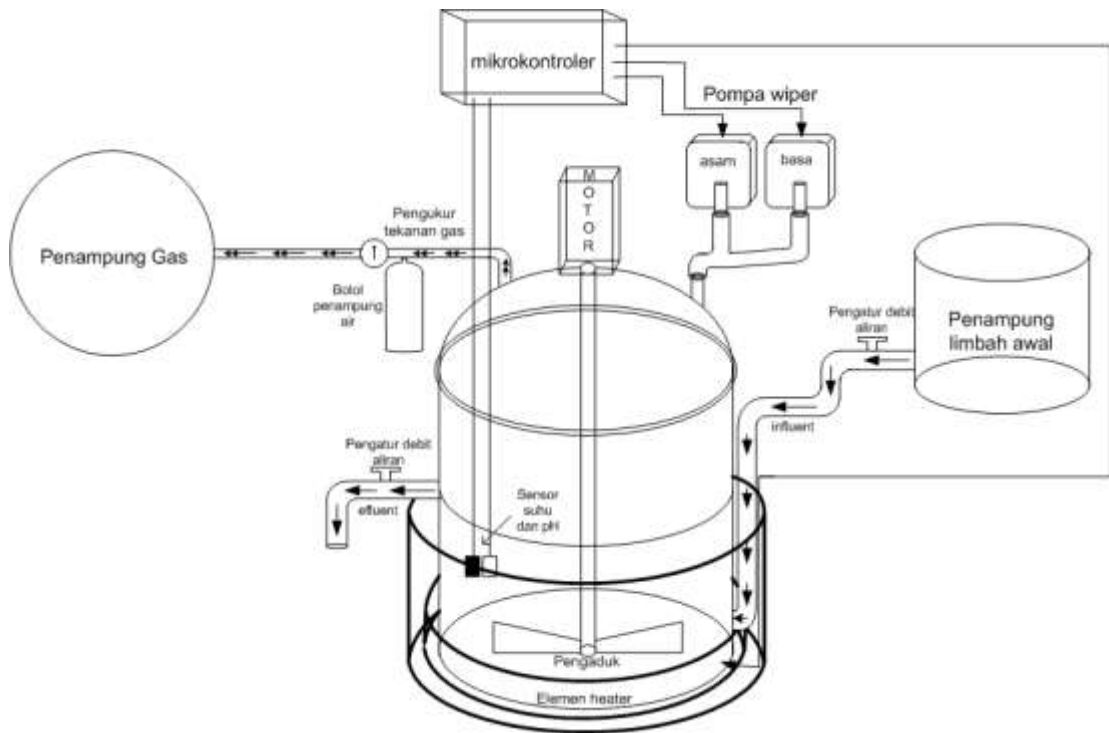
Gambar 6. Rancangan Fitoremediasi Dengan Pergantian Eceng Gondok.



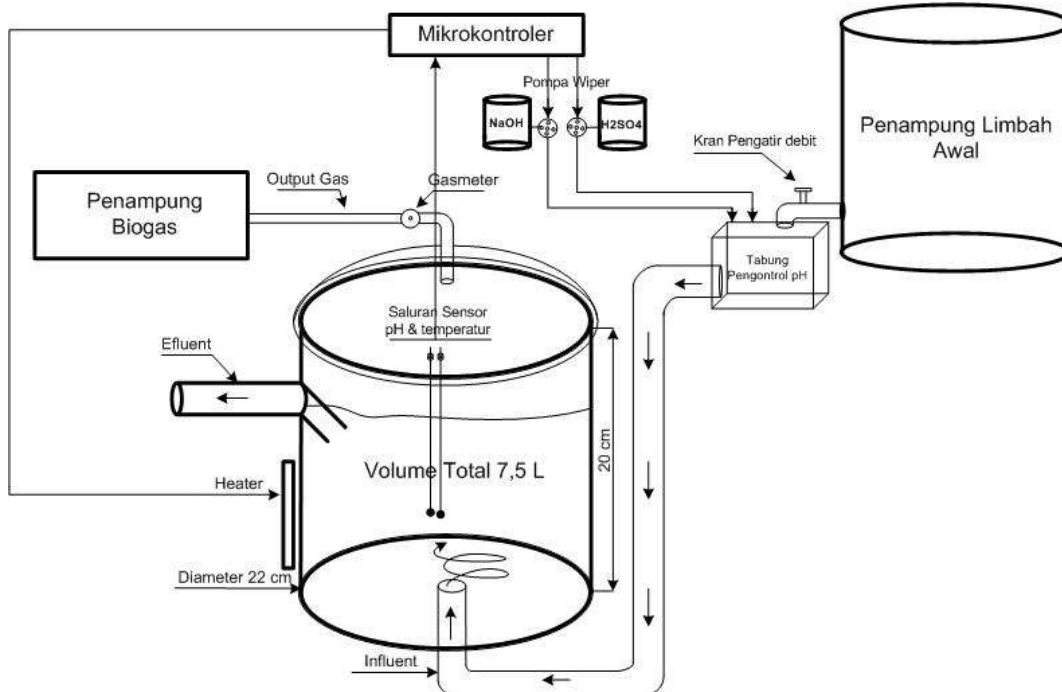
Gambar 7. Rancangan Reaktor Penumbuhan Inokulan (Reaktor 1)



Gambar 8. Rancangan Reaktor Konvensional (Reaktor 2)



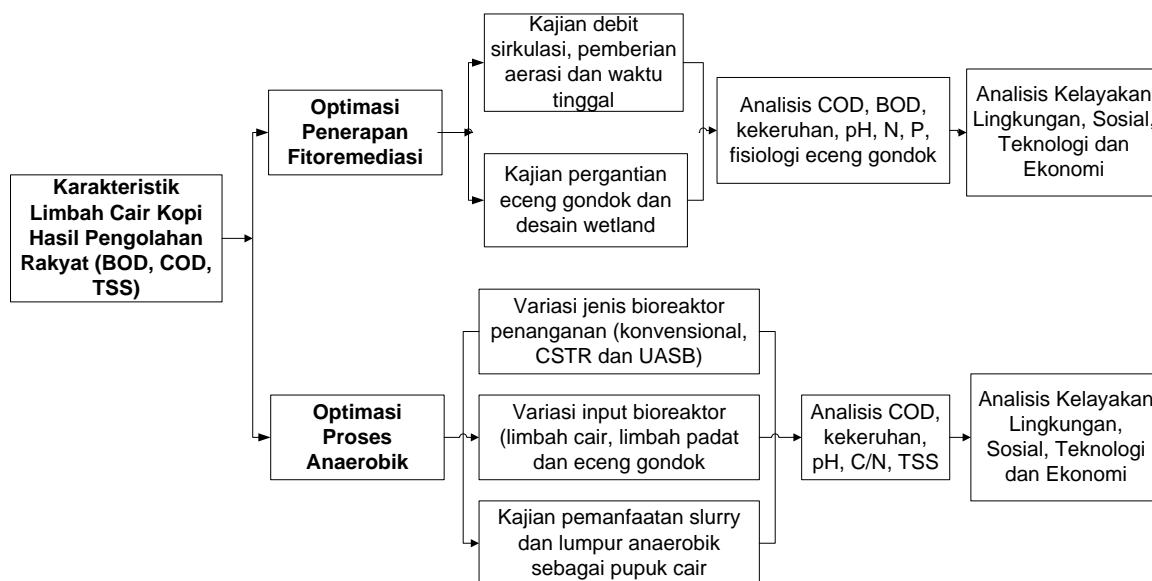
Gambar 9. Desain Struktural Reaktor CSTR (Reaktor 3)



Gambar 10. Desain Struktural Reaktor UASB (Reaktor 4)

4.2. Metode Analisis Data

Beberapa permasalahan penelitian dianalisis menggunakan beberapa parameter dengan tahapan seperti pada Gambar 10. Keterkaitan antara tujuan, variabel, metode pengumpulan data dan analisis penelitian disajikan pada Tabel 2 berikut.



Gambar 11. Tahapan Analisis Data

Tabel 1. Tahapan Penelitian

<i>No</i>	<i>Tahapan</i>	<i>Jenis Data</i>	<i>Metoda Analisis</i>	<i>Output yang diharapkan</i>	<i>Indikator</i>
1	Karakterisasi Limbah Cair Proses Pengolahan Kopi Semi Basah	Primer dan Sekunder	Metode Gravimetri, Titrimetri dan Spektrofotometri	Nilai parameter pencemaran (BOD, COD, TSS, pH dan turbiditas)	Diperolehnya nilai-nilai yang menggambarkan karakteristik limbah cair proses pengolahan kopi
2	1. Optimasi penerapan fitoremediasi 2. Optimasi proses anaerobik	Primer dan Sekunder	Metode Gravimetri, Titrimetri, spektrofotometri dan kelayakan teknis proses, perhitungan efisiensi proses dan HRT Efisiensi = $(\text{Awal} - \text{Akhir}) / \text{Awal} \times 100\%$. HRT = $(\text{volume tanki} / \text{laju alir influen})$	1. Variasi desain fitoremediasi yang terbaik 2. Waktu tinggal eceng gondok 3. Variasi desain anaerobik yang terbaik 4. Pupuk cair 5. Artikel ilmiah di di pertemuan ilmiah atau Jurnal terakreditasi nasional	1. Penurunan konsentrasi limbah terbaik 2. Pupuk cair yang dapat dimanfaatkan 3. Jenis bioreaktor terbaik. 4. Desain wet land 5. Artikel ilmiah dapat dimuat di pertemuan ilmiah
3.	Analisis kelayakan lingkungan, sosial, dan teknoekonomi.	Primer	Efisiensi = $(\text{Awal} - \text{Akhir}) / \text{Awal} \times 100\%$. NPV, B/C, IRR, kajian sosial deskriptif	1. Kelayakan proses penanganan limbah cair kopi. 2. Artikel ilmiah	1. Nilai-nilai kelayakan proses fitoremediasi dan anaerobik. 2. Artikel ilmiah dapat dimuat dalam pertemuan ilmiah/jurnal

BAB 5. HASIL YANG DICAPAI

5.1. Karakteristik Limbah Cair Hasil Proses Pengolahan Semi Basah.

Limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan semi basah berasal dari proses pengupasan kulit buah (*pulping*) dan pencucian biji (*washing*) setelah fermentasi. Umumnya petani membuang limbah cair mereka ke kolam tampungan (Gambar 12 dan Gambar 13.) yang selanjutnya dialirkan ke sungai kecil yang tidak jauh lokasinya dari lokasi proses pengolahan kopi. Karakteristik limbah cair hasil proses pengolahan semi basah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair Proses Pengolahan Semi Basah

No	Jenis Limbah	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	N (mg/L) (NH ₃ N)	P (mg/L) PO ₄ -P
1	Limbah Hasil Pengupasan	1832	1150	219,24	28,57
2	Limbah Hasil Pencucian	1568	980	201,65	20,68
3	Limbah Campuran	2548	1600	216,10	19,93



Gambar 12. Limbah Cair Pengolahan Kopi di Sidomulyo



Kondisi Kolam Sebelum Panen Kopi

Kondisi Kolam Saat Panen Kopi

Gambar 13. Kondisi Kolam Penampung Limbah Cair Pengolahan Kopi

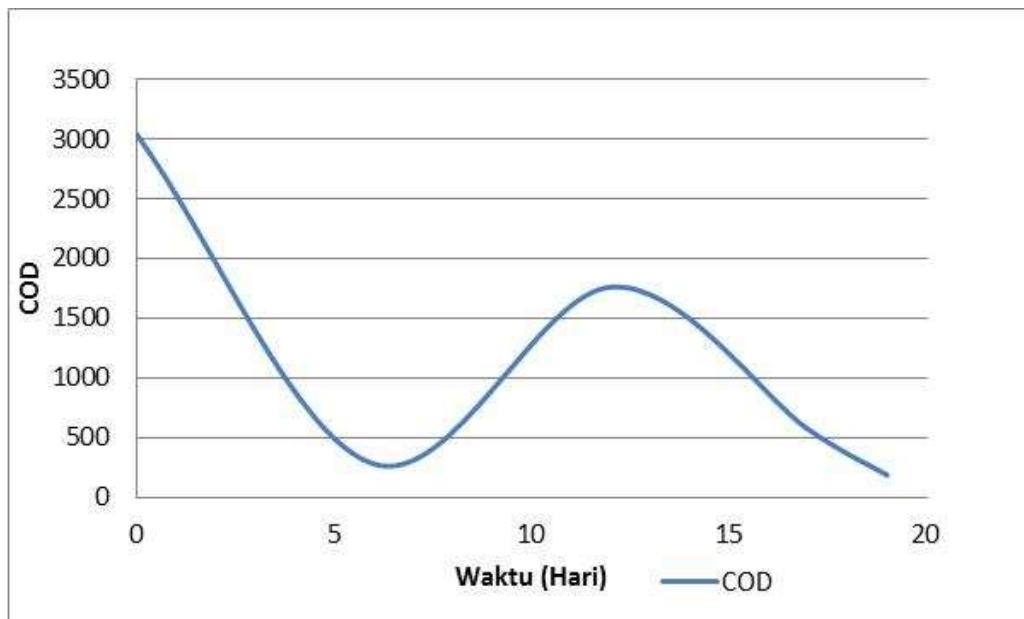
Limbah cair hasil proses pengupasan memiliki karakteristik agak berbeda dibandingkan limbah cair hasil pencucian. Hal ini dipengaruhi oleh proses fermentasi. Proses fermentasi pada pengolahan kopi semi basah bertujuan untuk mengurai senyawa-senyawa yang terkandung di dalam lendir buah kopi yang dibantu oksigen dari udara. Menurut Ciptadi dan Nasution (1985), selama proses fermentasi ini akan terjadi pemecahan komponen lapisan lendir (protopektin dan gula) dengan dihasilkannya asam-asam dan alkohol. Proses pemecahan komponen menjadi lebih sederhana inilah yang turut mempengaruhi penurunan nilai COD dan BOD air limbah yang dihasilkan dari proses pencucian dibandingkan air limbah dari proses pengupasan.

5.2. Optimasi Penerapan Proses Fitoremediasi Eceng Gondok

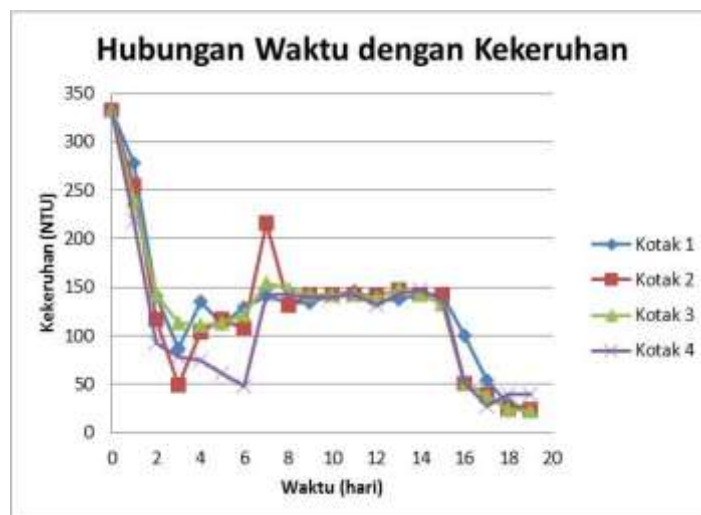
Optimasi penerapan proses fitoremediasi eceng gondok dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu (1) melakukan berbagai variasi proses fitoremediasi untuk mendapatkan waktu tinggal terbaik dan (2) aplikasi pada sistem *wetland* skala laboratorium sebagai dasar pengembangan di lapangan. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi rancangan terbaik yang dapat diterapkan pada *sistem wetland* proses penanganan limbah cair kopi. Sistem *wetland* adalah sistem yang didesain menyerupai lahan basah alami yang menggabungkan sistem penanganan fisika (sedimentasi, dan penyaringan), dan penanganan biokimia melalui aktifitas mikroorganisme dan tanaman. Aplikasi konstruksi lahan basah pada penelitian ini adalah pengaliran limbah cair kopi secara perlahan melalui tanaman eceng gondok yang ditanam pada media berpori batu kali dan kerikil.

Variasi proses fitoremediasi ditetapkan berdasarkan sistem sirkulasi, sistem semi kontinyu dan sistem semi kontinyu kombinasi aerasi. Nilai terbaik didapatkan pada perlakuan penerapan sistem semi kontinyu dengan penambahan aerasi pada penanganan limbah cair kopi. Debit yang dialirkan selama 21 hari proses dengan HRT 10 jam 15 menit mampu menurunkan kandungan parameter COD hingga 93,80%. Pemberian oksigen melalui sistem aerasi terbukti cukup efektif dibandingkan pemberian oksigen melalui sistem sirkulasi. Karena melalui aerator, jumlah oksigen yang diberikan lebih tinggi dan mampu mendukung proses reduksi bahan –bahan organik yang ditunjukkan nilai COD dan BOD yang

menurun. Meskipun demikian nilai COD yang dihasilkan membutuhkan waktu cukup lama untuk mencapai baku mutu yaitu COD awal 3047 mg/L menjadi 187 mg/L setelah 21 hari. Adapun baku mutu COD limbah cair pengolahan kopi adalah 200 mg/L (Gambar 13). Hasil penelitian ini mendukung penelitian pada tahun pertama dimana, proses fitoremediasi menggunakan aerasi pada metode batch juga mampu menurunkan nilai COD dan kekeruhan hingga 90 % dimana eceng gondok mampu bertahan hingga 20 hari (Gambar 14).



Gambar 13. Penurunan Nilai COD Selama Proses Fitoremediasi



Gambar 14. Penurunan Kekeruhan Pada Fitoremediasi Limbah Cair Beraerasi

5.3. Karakteristik Eceng Gondok Terbaik Untuk Proses Fitoremediasi

Pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan pada tanaman eceng gondok, untuk mendapatkan informasi sejauhmana kemampuan eceng gondok dalam penanganan limbah cair kopi. Eceng gondok adalah tumbuhan air yang umumnya berada dalam kondisi mengapung di perairan dangkal dan berair keruh. Tumbuhan ini mampu beradaptasi terhadap perubahan yang cukup ekstrim dari ketidaktersediaan nutrien, racun maupun arus air. Pertumbuhan eceng gondok yang cepat di air terutama karena kandungan nutrisi air yang tinggi yang kaya akan nitrogen dan fosfat. Eceng gondok terutama banyak dimanfaatkan saat ini untuk mengatasi bahan pencemar perairan. Akan tetapi apabila eceng gondok telah mencapai titik jenuhnya dalam menyerap kontaminan, maka kemampuan penyerapan kontaminannya akan menurun, bahkan tanaman dapat melepaskan kembali kontaminan yang telah diserap. Hal ini menurut Zubair et al (2014), diperkirakan karena sebagian besar kontaminan yang diserap umumnya disimpan dan terakumulasi dalam jaringan tanaman.

Penelitian mengenai kemampuan eceng gondok dalam penanganan limbah cair kopi ini dilakukan melalui kajian pergantian eceng gondok dan menentukan panjang akar optimal eceng gondok dalam menyerap kontaminan. Penentuan waktu terbaik untuk mengganti eceng gondok didasarkan pada kondisi kelayuan daun eceng gondok. Adapun penentuan panjang akar optimal didasarkan pada efisiensi terbaik yang dicapai dari berbagai variasi panjang akar.

Pada umumnya penyerapan optimum eceng gondok hanya terjadi selama 6 hari, untuk seterusnya daun mulai menguning, coklat dan mati. Kelayuan daun dimulai dari tepi-tepi daun, yang menandakan bahwa terjadi penghambatan metabolisme pada sel-sel daun sehingga kekurangan nutrien dan akhirnya sel mati. Berdasarkan hasil pengamatan, waktu terbaik untuk mengganti eceng gondok adalah pada hari ke-7. Karena apabila lebih dari 7 hari, dikhawatirkan jaringan tanaman yang menyimpan kontaminan akan mengeluarkan kembali bahan-bahan organik yang telah terserap ke lingkungan sehingga akan meningkatkan kembali konsentrasi limbah cair (COD).

Perlakuan variasi panjang akar eceng gondok dilakukan berdasarkan kondisi umum eceng gondok yang berada di perairan bebas. Eceng gondok yang berada

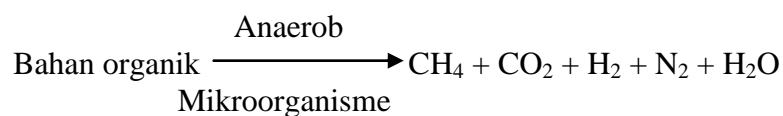
di perairan bebas umumnya bervariasi terutama panjang akar yang dimiliki. Panjang akar terutama juga ditentukan oleh umur eceng gondok. Mengingat akar eceng gondok adalah komponen utama yang berfungsi mengikat unsur-unsur hara maupun kontaminan, maka perlu diketahui umur optimum eceng gondok dalam menyerap kontaminan. Umur eceng gondok dapat diperkirakan berdasarkan panjang akar yang dimilikinya.

Berdasarkan hasil pengamatan pada perlakuan variasi akar eceng gondok (10 cm, 20 cm dan 30 cm), diketahui bahwa panjang akar eceng gondok yang paling baik efisiensinya adalah 30 cm (77 %). Meskipun demikian nilai yang diperoleh pada panjang akar 20 cm (75%) dan 10 cm (73%) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Terdapat korelasi yang cukup jelas bahwa semakin panjang akar eceng gondok semakin besar kemampuannya dalam menyerap polutan dalam perairan.

5.4. Optimasi Penerapan Proses Anaerobik Limbah Cair Pengolahan Kopi

Proses anaerobik adalah proses fermentasi oleh mikroorganisme tanpa kehadiran oksigen yang meliputi proses hidrolisis, pembentukan asam (asidifikasi) dan pembentukan gas metana (metanogenesis). Biogas yang terdiri dari gas metana, karbondioksida, hidrogen dan hidrogen sulfida merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari proses anaerobik, selain slurry. Biogas merupakan salah satu sumber energi yang menguntungkan bagi petani yang dapat dihasilkan dari fermentasi bahan organik yang banyak terkandung pada limbah proses pengolahan produk pertanian.

Secara sederhana, reaksi penguraian senyawa organik secara anaerobik adalah sebagai berikut:

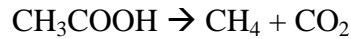


Menurut Malina dan Pohland (1992); Droste (1997), konversi substrat organik oleh mikroorganisme anaerobik menjadi metana merupakan proses biogenik yang kompleks mencakup sejumlah populasi mikroorganisme. Sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 15**, proses konversi secara keseluruhan terkait hubungan simbiotik langsung maupun tidak langsung antara sejumlah grup

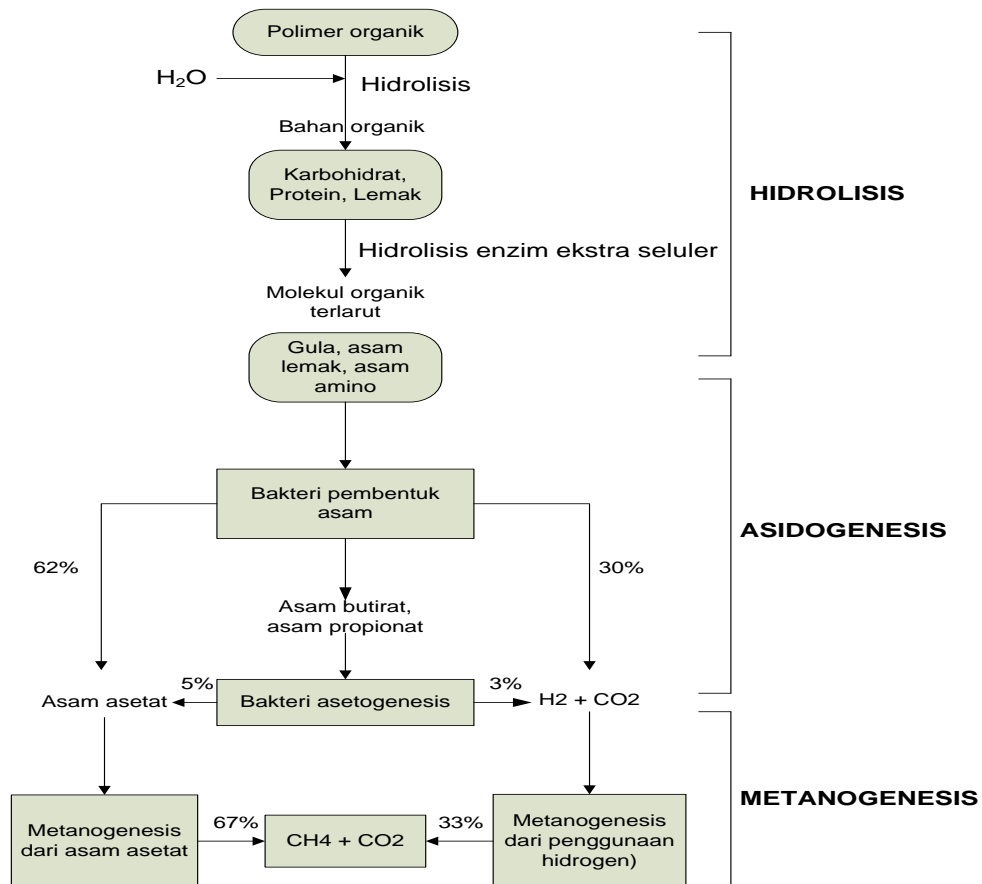
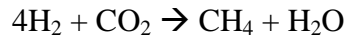
mikroorganisme. Toerin *et al.* (1970) diacu dalam Droste (1997), menyatakan bahwa proses biokimia dengan keterlibatan mikroorganisme tersebut dapat dibagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu;

1. Hidrolisis, merupakan tahapan penting awal dalam metabolisme anaerobik. Pada tahap ini terjadi pemecahan molekul yang berukuran besar dan kompleks terlarut dan tak terlarut (polimer) seperti karbohidrat, lemak, dan protein menjadi molekul yang berukuran lebih kecil seperti asam amino, gula sederhana, asam lemak, dan beberapa alkohol oleh enzim-enzim ekstraseluler yang dapat ditransportasi ke dalam sel mikroorganisme dan dimetabolisasi sebagai sumber makanan. Laju dekomposisi tahap hidrolisis tergantung pada karakteristik substrat. Transformasi dari selulosa dan hemiselulosa umumnya membutuhkan waktu lebih lama dan berlangsung lambat dibandingkan dekomposisi protein.
2. Asetogenesis dan formasi asam. Mikroorganisme yang sama yang melakukan proses hidrolisis melakukan fermentasi hingga ke tahap ini. Lebih detil, proses asetogenesis dapat dibagi menjadi tahap fermentasi dan oksidasi anaerobik. Tahap fermentasi tergantung pada aneka mikroorganisme dan substrat yang digunakan. Berbagai organisme cenderung aktif pada tahap ini dibandingkan tahap proses lainnya, antara lain *Enterobacterium*, *Bacteriodes*, *Acetobacterium*, dan *Eubacterium*. Selama tahap fermentasi, produk akhir dari hidrolisis difermentasi menjadi karbon organik, komponen molekul dengan BM rendah, hidrogen, dan karbondioksida. Asam propionat dan butirrat diuraikan oleh bakteri asetogenik menjadi asam asetat. Produk utama dari tahap ini adalah asam asetat. Tahap oksidasi anaerobik merupakan tahap lanjut pemecahan rantai asam lemak yang tidak terjadi pada tahap fermentasi. Oksidasi anaerobik merupakan tahapan sangat penting dalam proses biogas karena merupakan penghubung antar reaksi oleh organisme pengoksidasi dan penghasil metan pada tahap metanogenesis. Konsentrasi gas hidrogen yang diproduksi sangat menentukan kelanjutan proses. Jika gas hidrogen yang dihasilkan terlalu tinggi, maka oksidasi anaerobik akan berhenti dan mikroorganisme tidak akan memiliki energi yang cukup untuk tumbuh dan akhirnya mati.

3. Metanogenesis. Produk utama dari proses anaerobik dapat terjadi melalui dua cara. Cara utama adalah fermentasi produk utama pada fase pembentukan asam, asam asetat menjadi metana dan karbondioksida. Asetat merupakan sumber utama penghasil biogas yang diproduksi dalam tangki anaerobik. Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah bakteri asetoklastik (*acetophilic*) berdasarkan reaksi berikut;



Kemudian karbondioksida dan hidrogen yang terbentuk dalam reaksi penguraian disintesa oleh bakteri pembentuk metana menjadi metana dan air (*hydrogenophilic methanogens*) dengan reaksi sebagai berikut:



Gambar 15 Pola umum degradasi polimer organik menjadi metana dalam fermentasi anaerobik (Malina dan Pohland 1992).

Malina dan Pohland (1992), menguraikan tahapan konversi menjadi 9 tahap, dengan setiap tahapan dimediasi oleh sekelompok mikroorganisme dan enzim yang spesifik. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut.

- (1) Hidrolisis enzimatis dari polimer organik menjadi monomer intermediet organik seperti gula, asam lemak, dan asam amino.
- (2) Fermentasi dari monomer organik menjadi hidrogen (format), bikarbonat, piruvat, alkohol, dan asam lemak rendah (asetat, butirat dan propionat).
- (3) Oksidasi dari produk organik yang telah direduksi menjadi hidrogen (*formate*), bikarbonat, dan asetat oleh OHPA (*obligate hydrogen-producing acetogens*).
- (4) Respirasi asetogenik dari bikarbonat oleh *homoacetogens* (HA).
- (5) Oksidasi dari produk organik yang telah direduksi (alkohol, butirat, dan propionat) menjadi bikarbonat dan asetat oleh bakteri pereduksi nitrat (NRB-*nitrate-reducing bacteria*) dan bakteri pereduksi sulfat (SRB-*sulfate reducing bacteria*).
- (6) Oksidasi dari asetat menjadi bikarbonat oleh NRB dan SRB.
- (7) Oksidasi dari hidrogen (format) oleh NRB dan SRB.
- (8) Fermentasi metan *aseticlastic*.
- (9) Respirasi metanogenik dari bikarbonat

Bakteri metanogenik sangat penting keberadaannya pada tahapan stabilisasi anaerobik. Akan tetapi, metanogenik hanya memanfaatkan substrat sederhana untuk pertumbuhan dan metabolisme. Oleh karena itu, pada kondisi sumber yang kaya akan substrat organik, diperkirakan 2/3 dari metana diproduksi melalui konversi mikrobial yang diturunkan dari metil asetat dan 1/3 diturunkan dari reduksi karbondioksida.

Semakin tinggi kandungan bahan organik pada limbah semakin besar potensi biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik. Meskipun demikian rasio C/N dari bahan organik juga menentukan proses konversi bahan organik tersebut. Hal ini terjadi karena bakteri yang tinggal dalam lingkungan tanpa oksigen akan memanfaatkan karbon dan nitrogen untuk hidup. Menurut Budiyono dkk (2013), nilai C/N yang optimal untuk proses konversi bahan organik pada proses

anaerobik adalah 20 – 30. Berikut nilai C/N pada berbagai bahan organik pertanian.

Tabel 3. Rasio karbon dan nitrogen pada berbagai bahan

No.	Bahan	Kandungan C/N
1)	Kotoran bebek	8
2)	Kotoran manusia	8
3)	Kotoran ayam	10
4)	Kotoran kambing	12
5)	Kotoran babi	18
6)	Kotoran domba	19
7)	Kotoran sapi/kerbau	24
8)	Eceng gondok	25
9)	Kotoran gajah	43
10)	Batang jagung	60

(Sumber: Padang, dkk., 2011:55)

Berdasarkan nilai C/N pada Tabel 3. dapat diketahui bahwa eceng gondok yang digunakan pada proses fitoremediasi memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber biogas. Oleh karena itu pada penelitian ini, eceng gondok bersama-sama dengan kotoran sapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan organik yang dikonversi menjadi biogas. Kotoran sapi digunakan sebagai starter sumber mikroorganisme anaerobik.

Lingkungan juga memiliki pengaruh yang besar terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme proses anaerobik. Beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain:

1. Temperatur. Gas dapat dihasilkan pada suhu antara 4 – 60°C dan dijaga konstan. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada temperature optimum. Semakin tinggi temperatur reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang. Beberapa jenis bakteri dapat bertahan pada rentang temperatur tertentu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4 Temperatur optimum bakteri

Jenis Bakteri	Rentang temperature (°C)	Temperatur Optimum (°C)
<i>a. Cryophilic</i>	2 – 30	12 – 18
<i>b. Mesophilic</i>	20 – 45	25 – 40
<i>c. Thermophilic</i>	45 – 75	55 – 65

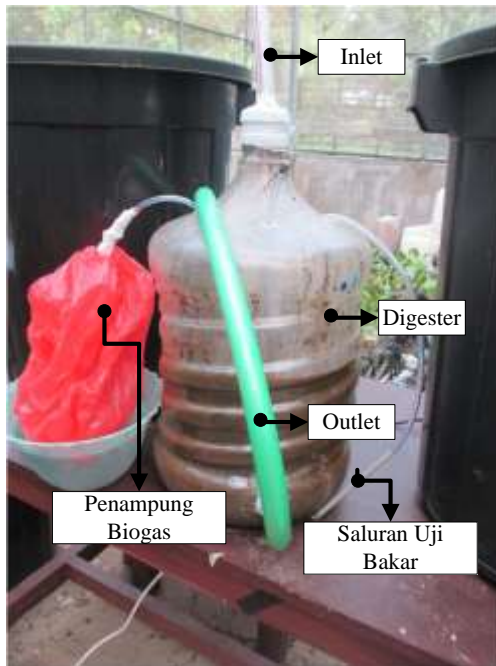
2. pH (keasaman). Bakteri penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana antara 6,4 – 7,4. Bakteri yang tidak menghasilkan metana tidak begitu sensitif terhadap perubahan pH dan dapat bekerja pada pH antara 5 hingga 8,5. Karena proses

anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana. Untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur.

3. Konsentrasi substrat. Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat. Kandungan air yang tinggi memudahkan proses penguraian.
4. Zat beracun. Zat organik maupun anorganik baik terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat dalam konsentrasi tinggi.

Kemampuan proses anaerobik untuk mendegradasi pencemar organik yang bervariasi terutama sangat dipengaruhi oleh kondisi proses dan konsentrasi senyawa organik. Senyawa organik yang memiliki konsentrasi tinggi cenderung memiliki efek inhibitor pencemar organik akan mudah didegradasi pada konsentrasi rendah. Secara umum, proses mesofilik memiliki kapasitas biodegradasi yang paling besar karena variabilitas mikroorganisme yang dapat berkembang biak pada kondisi ini dibandingkan pada kondisi temperature tinggi. Waktu tinggal limbah cair dapat menjadi faktor yang menentukan, karena banyak pencemar organik lambat didegradasi. Kontaminan yang diketahui dapat mempengaruhi proses pembentukan biogas (anaerobik) adalah senyawa *benzene* (*fenol*, *xylene*, *benzene*, dan *toluene*), *phthalates* dalam plastik, senyawa alifatik dan aromatik, dan berbagai komponen nitrogen.

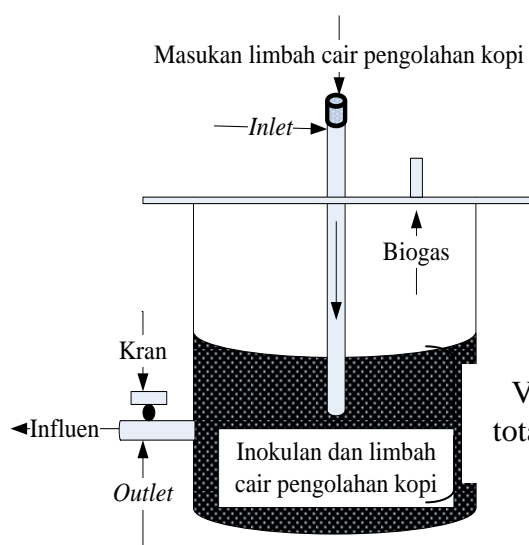
Proses stabilisasi dan adaptasi limbah cair pengolahan kopi perlu dilakukan terlebih dahulu terutama karena nilai pH limbah cair kopi yang sangat asam dan karakteristik mikroorganisme metagenik pada kotoran sapi yang sensitif terhadap fluktuasi konsentrasi organik limbah cair pengolahan kopi. Tahap stabilisasi dan adaptasi mikroorganisme dilakukan pada digester batch dan tahap penanganan dilakukan secara semi kontinyu pada digester 2 (Gambar 16.). Sebelum penanganan limbah cair kopi juga sebaiknya dinetralkan terlebih dahulu untuk menghindari kematian dari mikroorganisme pengurai.



Digester Stabilisasi Mikroorganisme



Digester Sistem Semi Kontinyu

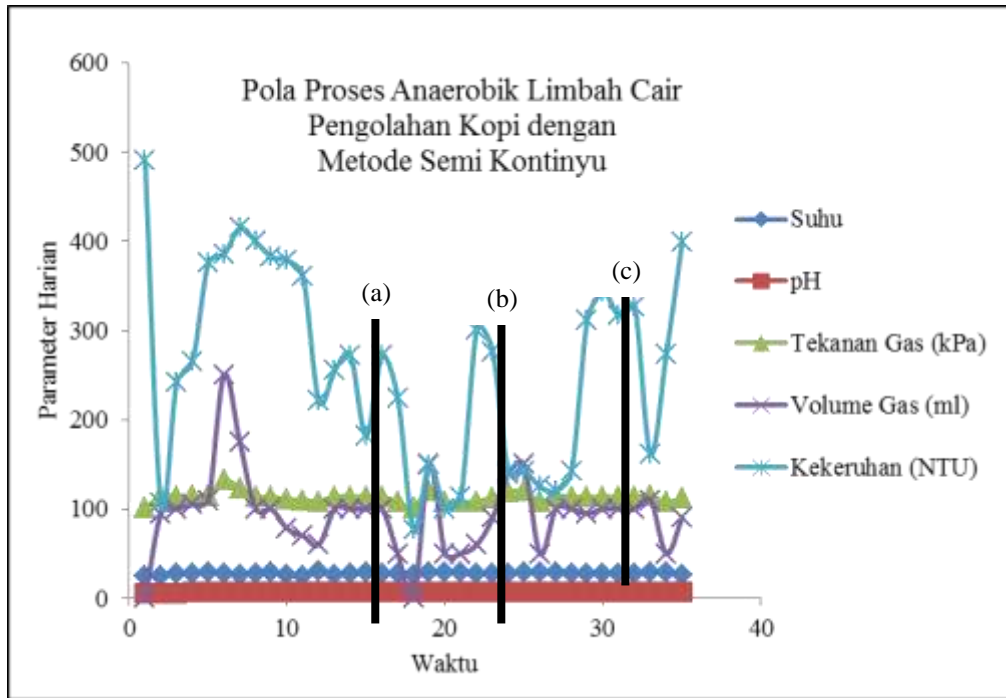


Skema Kerja Reaktor Semi Kontinyu



Hasil Uji Bakar Biogas Reaktor Anaerobik

Gambar 16. Instalasi Digester Yang Digunakan Pada Penanganan Anaerobik



(a) Penambahan limbah cair ke-1; (b) penambahan limbah cair ke-2 + kotoran sapi; (c) penambahan limbah cair ke-3.

Gambar 17. Perubahan nilai parameter fisik selama proses anaerobik

Tabel 5. Karakteristik limbah cair Proses Anaerobik

No.	Limbah Awal	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	BOD akhir	COD akhir	Efisiensi BOD (%)	Efisiensi COD (%)
1.	Limbah awal	7022	11160	2990	4760	57,42	57,35
2.	Penambahan ke-1	4775	6867	2800	4450	41,36	35,20
3.	Penambahan ke-2	1866	4372	1080	3122	42,12	28,59
4.	Penambahan ke-3	1720	5074	1480	2342	13,95	53,84

(Sumber: Data primer diolah, 2015)

Secara umum menurut (Gerlach, dkk., 2013:5), komposisi biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik terdiri atas 50-70% gas metana, 24-45% gas karbondioksida serta 2-10% gas-gas lain (sulfur, nitrogen, hidrogen, uap air dan amoniak). Berdasarkan pengamatan dapat diperkirakan komposisi biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik (Tabel 6).

Tabel 6. Prediksi komposisi biogas pada limbah cair pengolahan kopi

No.	Jenis Gas	Komposisi (%)
1.	Gas metan (CH ₄)	54,7
2.	Gas karbondioksida	39,1
3.	Gas dengan volume kecil	6,1

(Sumber: Data Primer diolah, 2015)

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Hasil penelitian tahun pertama telah menghasilkan perlakuan fitoremediasi menggunakan eceng gondok lebih baik dibandingkan perlakuan fitokoagulasi menggunakan biji kelor dalam penanganan limbah cair kopi
2. Penelitian tahun kedua melakukan upaya-upaya untuk mengoptimalkan proses fitoremediasi menggunakan eceng gondok. Efisiensi terbaik dapat dicapai hingga 90% menggunakan perlakuan fitoremediasi semi kontinyu dibantu aerator.
3. Adapun eceng gondok yang terbaik adalah eceng gondok yang memiliki panjang akar 30 cm karena semakin panjang akar eceng gondok semakin besar kemampuan penyerapan kontaminan.
4. Umur optimal eceng gondok dalam menyerap polutan limbah cair kopi adalah 7 hari, untuk selanjutnya harus diganti dan mencegah matinya eceng gondok dalam kolam fitoremediasi, karena akan menambah konsentrasi bahan organik di air.
5. Eceng gondok yang sudah tidak dimanfaatkan dapat digunakan sebagai sumber bioenergi melalui proses anaerobik.
6. Proses anaerobik semi kontinyu merupakan salah satu tahapan penanganan yang mampu menurunkan konsentrasi limbah cair penanganan kopi hingga 57% sekaligus menghasilkan biogas.
7. Proses anaerobik hanya optimal apabila konsentrasi limbah cair kopi (COD) di atas 2000 mg/L. Oleh karena itu penambahan bahan organik lain seperti kulit kopi dan eceng gondok dapat meningkatkan nilai COD.
8. Selanjutnya akan diperlukan kajian scale-up dari kolam fitoremediasi untuk penerapan di masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Baon, J.B, Sukasih, R., dan Nurkholis. 2005. Laju dekomposisi dan kualitas kompos limbah padat kopi: pengaruh aktivator dan bahan baku kompos. *Pelita Perkebunan* 2005 21(1): 31-42.
- Budiyono, Pratiwi, E., M., dan Sinar, I.N.Y. 2013. Pengaruh Metode Fermentasi, Komposisi Umpan, pH awal dan Variasi Pengenceran Terhadap Produksi Biogas dari Vinasse. *Jurnal Penelitian Kimia*, Vol. 9 (1): 1-12.
- Ditjenbun [Direktorat Jenderal Perkebunan]. 2011. *Statistik Perkebunan 2009-2011*. Direktorat Jenderal Perkebunan Departemen Pertanian, Jakarta.
- Djajadiningrat, S.T. 2001. *Pemikiran, Tantangan dan Permasalahan Lingkungan*. Bandung: Departemen Teknik Industri ITB.
- [FAO] Food and Agricultural Organization. 2010. Summary of World Food and Agricultural Statistics. *FAO Statistical Yearbooks*. <http://www.fao.org/faostat>. [23 Januari 2012].
- Gerlach, F., Grieb, B dan Zenger, U. 2013. Sustainable Biogas Production: A Handbook for Organic Farmers. Jerman: FiBL Projekte GmbH.
- Mangkoedihardjo, S. dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Mawardi S. 2008. Strategi ekspor komoditas perkebunan dalam situasi krisis finansial global, kasus pada kopi. *Makalah di dalam Seminar Nasional dan Display Product Dies Natalis Fakultas Pertanian Universitas Jember ke-44*. Jember, 23 Desember 2008.
- Mburu J.K. 2004. Coffee processing waste management. Di dalam *Proceedings of 20th International Conference on Coffee Science*, 11 – 15 Oktober 2004. Bangalore, India : ASIC: 513-516.
- Mendoza R.B., dan Rivera C.M.F. 1998. Start-up of an anaerobic hybrid UASB/filter reactor treating wastewater from a coffee processing plant. *Anaerobe Environmental Microbiology* Vol. 4: 219 – 225
- Mulato S, Widyotomo S, Suharyanto E. 2006. *Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kopi*. Jember: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Murthy KVN, D'Sa A, Kapur G. 2004. *An Effluent Treatment-Cum-Electricity Generation Option at Coffee Estates: Is it Financially Feasible?* Draft for International Energy Initiative at Bangalore. <http://www.iei-ais.org/IEIBLRREWSURreport.pdf>. [15 Februari 2010].
- Najiyati, S., dan Danarti. 2006. *Kopi, Budidaya dan Penanganan Pasca Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Novita, E. 2012. *Desain Proses Pengolahan Pada Agroindustri Kopi Robusta Menggunakan Modifikasi Teknologi Olah Basah Berbasis Produksi Bersih*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Novita, E., Syarief, R., Noor, E., dan Mulato, S. 2009. Analisis Neraca Massa pada Rancangan Minimalisasi Air Proses Pengolahan Biji Kopi. *Jurnal Agro-Techno* Vol. 1 No. 8 Juli-Desember 2009.
- Novita, E., Syarief, R., Noor, E., dan Mulato, S. 2010. Peningkatan Mutu Biji Kopi Rakyat dengan Pengolahan Semi Basah Berbasis Produksi Bersih. *Jurnal Agroteknologi* Vol. 4 No.1. Januari, 2010.
- Pelupessy, W. 2003. Environmental Issues in The Production of Beverages: Global Coffee Chain. Di dalam: Mattsson B, Sonesson U, editor.

- Environmentally-Friendly Food Processing*. Cambridge England: CRC Press, Woodhead Publishing Limited. hlm 95-115.
- Suryana, A. 2006. Arah penelitian dan pengembangan pertanian dalam mendorong perkopian nasional yang tangguh. Makalah di dalam *Simposium Kopi Tahun 2006 di Surabaya*. Jember: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao.
- Syarief, R., Novita, E., Noor, E., dan Mulato, S. 2012. Smallholder Coffee Processing Design Using Wet Technology Based on Clean Production. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation* Vol. 7 No. 2, June 2012.
- Padang, Y.A., Nurcahyati dan Suhandi. 2011. Meningkatkan kualitas biogas dengan penambahan gula. *Jurnal Teknik Rekayasa*, Vol. 12(1):53-62
- Pujiyanto. 2007. Pemanfaatan kulit buah kopi dan bahan mineral sebagai amelioran tanah alami. *Pelita Perkebunan* 23 (2) 2008: 104-117.
- Von Enden, J.C, Calvert, K.C. 2002. *Review of Coffee Waste Water Characteristics and Approaches to Treatment*. New Zealand: Intercargill.
- Zubair, A., Arsyad, A., dan Rosmiati. 2014. Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) menggunakan Kombinasi Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Dengan Aliran Batch.

LAMPIRAN
(Artikel ilmiah pada ICWRD)

Circulation Effect of Coffee Wastewater Flow in Water Hyacinth Phytoremediation

Elida Novita, Sri Wahyuningsih, Siswoyo Soekarno, Betty Siska Rukmawati*

*Department of Agricultural Engineering, University of Jember, Kalimantan Street
37Tegalboto, Jember, Indonesia*

**Corresponding author's e-mail: siskabetty@gmail.com*

ABSTRACT

Coffee processing wastewater contains of high organic matter. If the coffee waste water debit into waterways, it would contaminate and be harmful to people who consume it. Therefore, wastewater from the coffee industry must be treated before discharging into the environment. Process employed was studied for treating coffee industry effluents by using macrophyte water hyacinth (*Eishornia crassipes (Mart.) Solms*) in phytoremediation tank with circulation holes. Besides, it was analysed the effect of the circulation in the aquarium wastewater treatment phytoremediation coffee at the decreasing of COD and BOD content, turbidity, NH₃ and pH of the wastewater. The flowing waste water uses two categories that consist of four types of discharge with a different value of HRT (*Hydraulic Residence Time*). Base on this research, it was known that the roots of water hyacinth on the phytoremediation process affected the value of HRT despite the debit category and the density of water hyacinth was similar. On the other hand, it is known that the greater value of HRT, the higher value of the reduction of coffee wastewater parameters. The biggest reduction in the value of the parameter was at HRT 8 h 31 '50" where the removal efficiency of COD, BOD, turbidity, and NH₃-. Respectively were 97,5%, 97,6%, 75,4% and 82,1%.

KEYWORDS

Circulation; coffee wastewater; phytoremediation; water hyacinth

INTRODUCTION

Coffee processing's methods that can provide a good quality result is wet processing. A large number of coffee's production by wet processing methods will require washing water in large amounts. Wash water in wet processing cause wastewater contaminates the environment if it is discharged into water body. The high content of organic material in coffee wastewater causes pollution. Therefore, the coffee wastewater needs to be processed in order to safely dispose of and in accordance with the effluent standards set.

One alternative wastewater treatment is phytoremediation. Phytoremediation is the conversion of harmful substances into harmless contaminants carried by plants (Mangkoedihardjo, 2005). Hyper accumulator plants often use for phytoremediation water hyacinth (*Eichornia crassipes (Mart) Solms*). According to research which was conducted by Rahma (2014), water hyacinth is able to reduce the COD, turbidity, and

TSS in coffee wastewater. Phytoremediation is mostly done by using the batch method, as Jenie and Rahayu (1993) state that the flow rate and diversity is an important factor to design a process. In most wastewater treatment systems, the treatment unit should be designed based on peak flow rate. It requires flow rate study to minimize the diversity of the flow rate when the process works. Although phytoremediation uses water hyacinth plants in ponds that is mostly done by a batch method, but there is no attempt to modify and to carry out studies on the flow rate of the water hyacinth in pond in order to improve the performance of hyacinth to reduce the content of the coffee wastewater. One step to study the flow rate is to provide circulation.

This research aims to design an aquarium phytoremediation wastewater of coffee processing with circulation method and to determine the time required for the wastewater flows through the circulation holes at the aquarium with varies discharges. Besides, the research is done to analyse the effects of circulation in the aquarium coffee wastewater treatment by phytoremediation based on removal efficiency of COD, BOD, turbidity, NH₃, and the pH parameters.

MATERIALS AND METHODS

Plant material and growth condition

Water hyacinth plant was taken from a swamp Village Gumukmas District of Gumukmas, Jember. It was cleaned first of mud and particles adhering to the plant. Hyacinth was planted with a density of 200 grams per 10 liters of wastewater (Rahma, 2014).

The design of the aquarium phytoremediation with circulation

Phytoremediation aquarium with circulation made using materials of clear glass with dimensions of (160 x 30 x 30) cm³. Having 30 cm high, because, according to Orth, (1989) the depth of phytoremediation is limited by the length of the roots of water hyacinth. The length of Water hyacinth roots in the wastewater pond is approximately more than 20 cm. Because as much as possible waste water should flow from the root space, then only a little extra depth required for sedimentation and sludge buildup. So it was decided the dimensions of height / depth of the pool is 30 cm.

Cylinder reservoir is made of plastic materials for rust resistant, resistant to changes in temperature and less expensive than aluminum. To remove the wastewater, PVC pipes are placed and connected to taps. Circulation holes are made from glass bulkhead by a semi-circular hole with the diameter is 5 cm at the bottom or top alternately so that water flow occurs. The circuit components of phytoremediation aquarium which connect its parts completely and the circulation can be seen in Fig. 1:

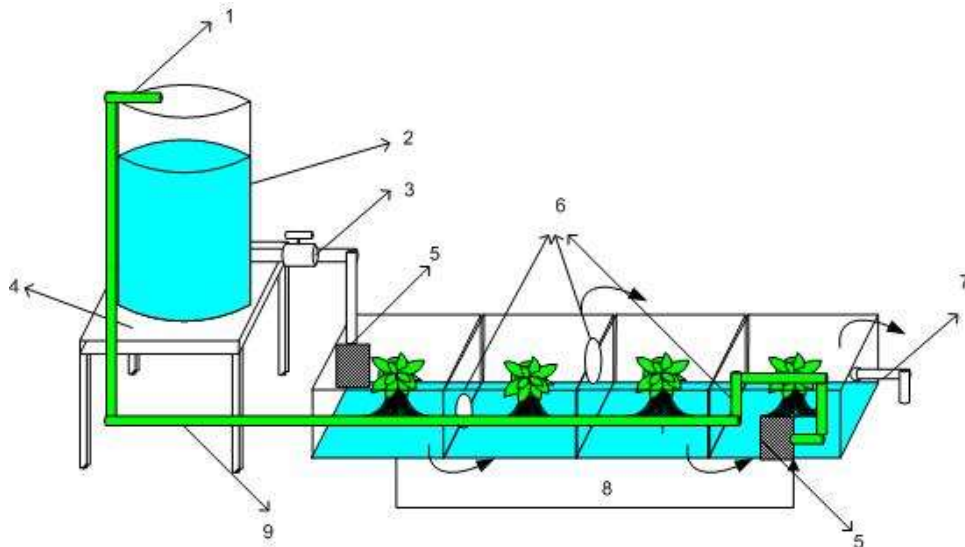


Figure 1. Phytoremediation aquarium design for wastewater of coffee processing with circulation

Notes :

- 1 : tap for wastewater output
- 2 : cask for wastewater of coffee before processing
- 3 : valve stop to regulate the debit of water
- 4 : the supporting table of cylinder reservoir
- 5 : aquarium pumps
- 6 : circulation holes
- 7 : tap for depletion
- 8 : glass aquarium
- 9 : pipe to flow wastewater into the cask

Work mechanism of phytoremediation aquarium:

Circulation of the wastewater stream flows through the tank, then it flows into several boxes which contains of water hyacinth, then in the box 4th (last), coffee wastewater flowing back into the tank until there is circulation. Analysis of COD, BOD, turbidity, NH₃, and pH at the beginning and end of treatment are done to determine the value of the reduction that occurs during the waste treatment process.

RESULT AND DISCUSSION

Results Phytoremediation Aquarium Design Wastewater Processing Method Coffee with Circulation

The tool design is conducted to determine or to measure easily the efficiency of circulation in the phytoremediation aquarium. The working stages mechanism in phytoremediation aquarium for waste water of coffee processing with the circulation are;

1. Sedimentation: sedimentation process begins when the waste put into the tub. The gravity causes the separation of a substance with sinking and floating substances. Further precipitation occurs when sewage begins flowing into the aquarium by using the output discharge tap of wastewater with a few variations. At this aquarium, when the water flows into the aquarium through the expenditure tap directly into the first box on the aquarium, substances that is sediment in the bottom of the aquarium.
2. Activities of microorganisms: Microorganisms that play an important role in the wastewater degradation process are Nitrosomonas and Nitrobacter. Both of these bacteria are in the roots of water hyacinth. According Mangkoedihardjo *et al.* (2010), there are two

processes in phytoremediation, which have most important role in absorbing organic materials and contaminants in the wastewater. Those are *rhizofiltration* and *rizhodegradation* in the roots of water hyacinth. At this aquarium, wastewater of coffee makes contact with the roots of water hyacinth during the waste treatment process so that the absorption of contaminants can occur during the waste processing in the aquarium. 3. Circulation in the aquarium: The circulation in the glass aquarium partitions has a semi-circular hole. At the aquarium, circulation hole serves to drain water from one box to another. Giving bulkhead with circulation holes aims to prevent thermal and chemical stratification.

Circulation Wastewater Coffee

The wastewater of coffee streams starting from the tank, then flows with gravity and suction assistance of an aquarium pump. Phytoremediation aquarium with this circulation is an open channel. The movement of water in the open channel is caused by the gravitation effect of the earth and the pressure distribution in water is hydrostatic. Drainage of wastewater using four kinds of treatment discharge (Q_A , Q_B , Q_C , and Q_D) with two categories of discharge. Debit entry affects the value at Hydrolic Residence Time (HRT) in the aquarium circulation and in the parameters of the wastewater of coffee. Table 1 it shows of the calculation results of HRT on phytoremediation aquarium with circulation.

Table 1. Phytoremediation with HRT at the Aquarium Circulation

Category debit	Debit	Value Debit Entry (ml/s)	HRT
I	Q_A	10.09	7 hours 4 minutes 21 seconds
	Q_B	10.61	8 hours 31 minutes 50 seconds
II	Q_C	18.93	2 hours 31 minutes 38 seconds
	Q_D	19.22	1 hours 53 minutes

Based on the table, it is known that HRT value is different at every discharge treatment, although it has the same discharge. HRT difference is caused by several things; there are the roots of water hyacinth. Water hyacinth has hairy roots with bushy hair so that even water discharge entering from the same tap, the distribution of velocities will be different. Therefore, the time which is required to fill the aquarium is different as well. According Kodoati (2009), differences in the distribution of the velocities are due to the friction on the walls of the channel, the cross section of the channel, and the location of the channel. In this case, the velocity distribution difference of water is caused by the friction in the side of channel. In addition, the roots of heavy water hyacinth in the aquarium (location line) also affect the difference in the velocities distribution. The effect of HRT towards the decrease of pollutant parameters on the coffee wastewater can be seen in Fig.2:

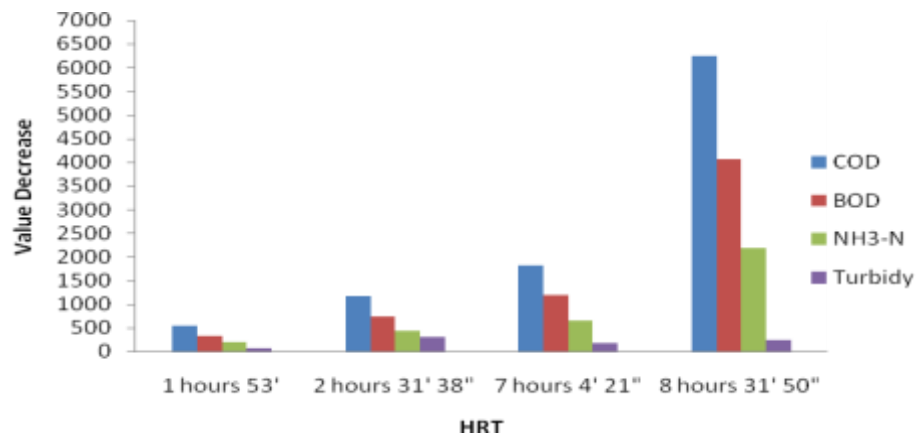


Figure 2. The correlation of HRT graph with the value of the parameter reduction of coffee wastewater pollution

Based on the graph, (Fig.2) it can be seen that the greater the value of HRT then the pollutant reduction value parameters also higher. This is because the contaminants of coffee wastewater will be more and more absorbed by the roots, when the coffee wastewater is discharged with a small debit and contact in longer time between the wastewater with water hyacinth roots. Besides, the circulation in the aquarium that serves to prevent thermal and chemical stratification allegedly also affect the reduction value of decrease COD, BOD, NH₃-N, and turbidity of the coffee wastewater at the end of the treatment.

Measurement Parameters COD and BOD

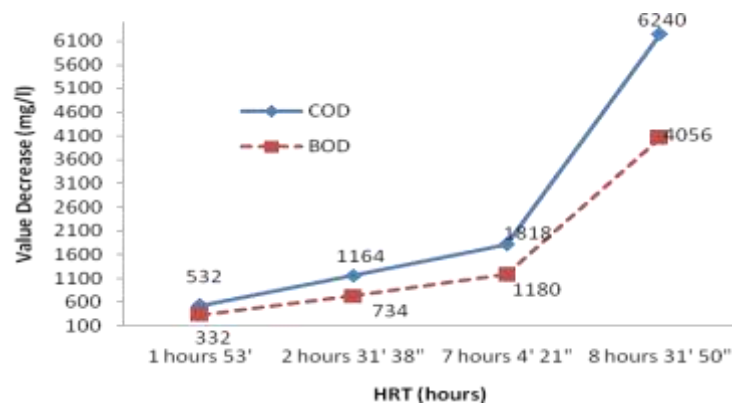


Figure 3. Influence Graph HRT Decline Against COD and BOD

Based on the graph of fig. 3 it is known that the longer HRT the higher the reduction of value COD and BOD content of the wastewater of coffee processing. The biggest reduction in the value of HRT is 8 hours 31 minutes 50 seconds with the amount reduced from COD and BOD which are respectively 6,250 mg/L and 4,056 mg/L and the highest efficiency are 97.50% and 97.55%, respectively the process of reduction in the levels of contaminants in wastewater using aquatic plants with a collaboration between plants and microbes associated with these plants. Circulation flow in the aquarium will help flatten the distribution of oxygen vertically. This even distribution of oxygen will help the microbes to reduce the content of COD and BOD in waste because oxygen is one of the living viz microbe.

There are several things that affect the efficiency of COD and BOD impairment, i.e. the smoothness of circulation, which is influenced by the performance of circulating pumps. So in order that the circulation runs smoothly, the circulation pump must be controlled so there is no blockage. The function of providing circulation to the wastewater treatment is to prevent thermal stratification. According to Fatima (2010), a thermal stratification is the event of temperature differences between the two layers so that water is not mixed and has different chemical and biological properties. With the cessation of the circulation at the time of the coffee wastewater treatment will cause the effectiveness of COD and BOD is not maximum because of the increasing temperature in the wastewater that does not circulate and thermal stratification cannot be avoided.

Measurement Parameters of NH3-N

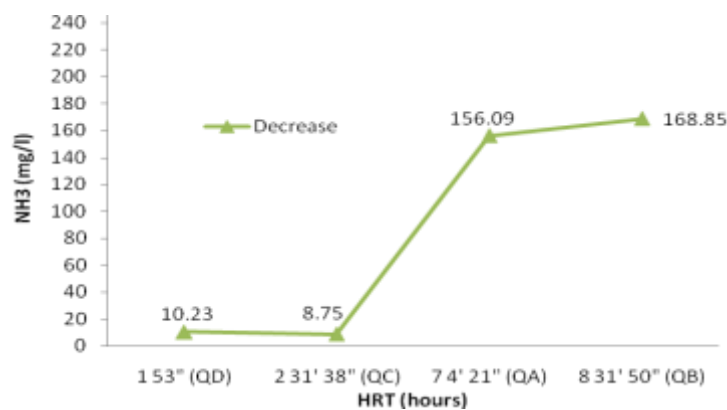
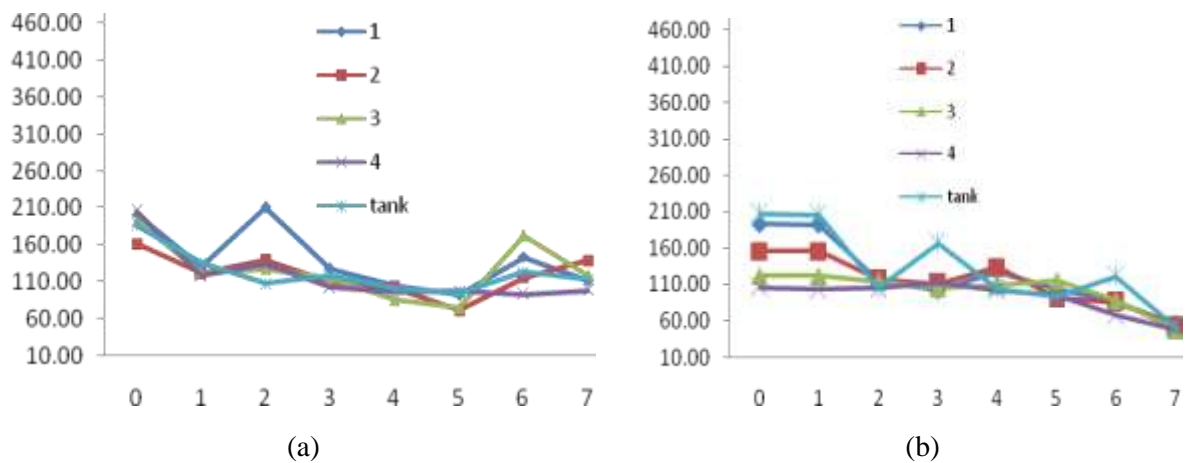


Figure 4. Effect Graph HRT Decline Against NH3-N

The biggest reduction in the value of the NH3-N (ammonia) content is the residence time of 8 hours 31 minutes 50 seconds with a value reduction of 168.85 mg/L and the highest efficiency is 86.8%. Value reduction of NH3-N (ammonia) is the highest in the longest HRT because NH3-N (ammonia) is absorbed more on the roots of water hyacinth. Giving the circulation supports the nitrification process. Nitrification process is important because ammonia compounds can be used by phytoplankton and aquatic plants after it is converted to nitrite and nitrate by bacteria in the nitrification process.

Measurement of Turbidity



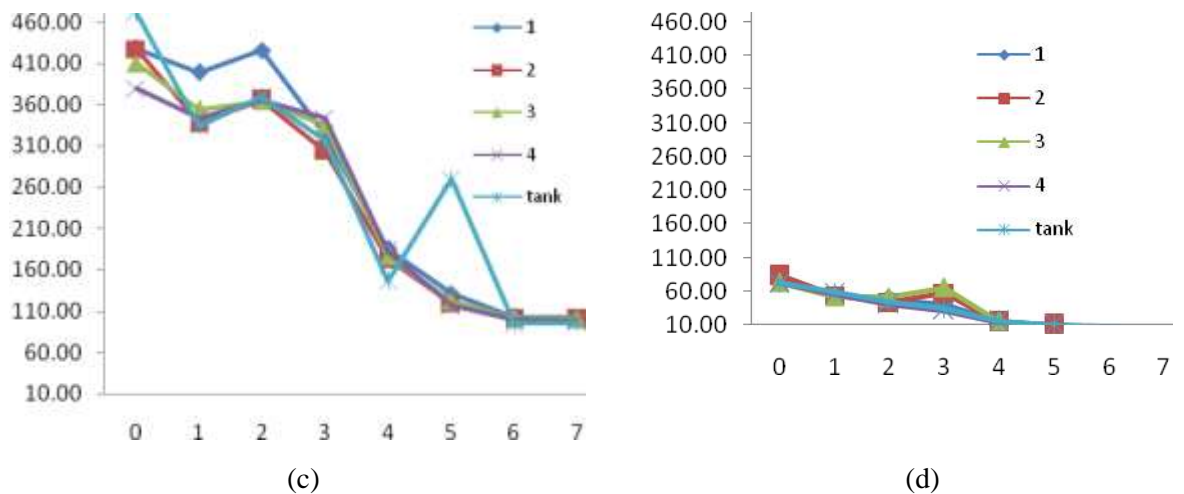


Figure 5. Decreasing Turbidity

Circulation flow is able to decrease the turbidity values before and after treatment. Almost all of discharge treatments (QA, QB, QC, and QD), it can increase and decrease turbidity every day. It is due to the flow turbulence in the circulation holes that cause turbidity changes every day. Decreasing in turbidity is caused by the roots adsorption of water hyacinth on *rhizofiltration* process as claimed by Mangkoedihardjo et al. (2010) that *rhizofiltrasi* an adsorption process or precipitation contaminants on the roots or absorption into the roots. Adsorption or absorption process is ionic bonds, where this process occurs because of the differences in ionic charge and ionic contaminants roots in the waste.

Measurement of pH

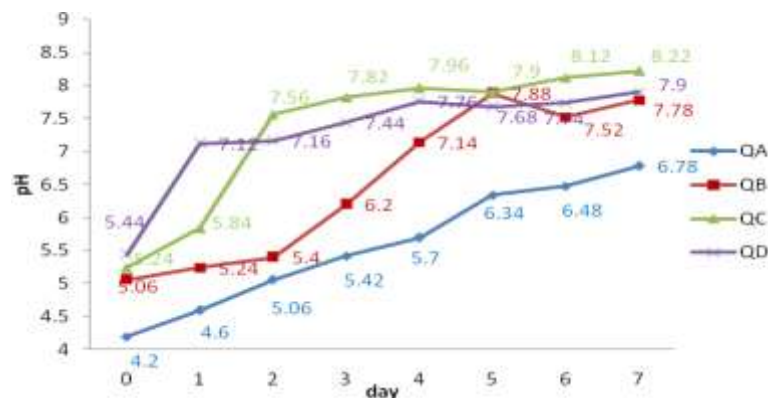


Figure 6. Increasing pH

Based on the chart of Fig.6, it is known that the pH of the wastewater of coffee processing at the end of treatment are 6,8; 7,8; 7,9; and 8,2 it increase before treatment and the initial pH changes from acidic to neutral. It happens due to the circulation flow in the coffee wastewater phytoremediation aquarium. In addition, the increase or decrease in the pH can be affected by several things: the plankton respiration/photosynthesis of plants and plankton/plant.

CONCLUSIONS

The study of the flow rate on the phytoremediation process design can be carried out by the method of different discharge circulation. The process occurs in the aquarium are: sedimentation, Nitrosomonas, the activities of microorganisms and Nitrosobacter in the aquarium, and the circulation in the aquarium.

The value of Hydraulic Residence Time (HRT) on phytoremediation aquarium with circulation are; 1 hour 53 minutes; 2 hours 31 minutes 38 seconds; 7 hours 4 minutes 21 seconds; and 8 hours 31 minutes 51 seconds. Besides discharge HRT value is also influenced by the roots of water hyacinth. Value of Hydraulic Residence Time (HRT) influences the reduction in the value of the parameters COD, BOD, NH₃-N, turbidity, and pH of the coffee wastewater. Providing circulation in the phytoremediation aquarium coffee wastewater treatment is able to reduce the content of COD to be 69,4% -97.5%; BOD of 69.4% -97.5%; NH₃-N 15.8% - 86.8%; turbidity 59.5% - 96.2% and the pH of acidic to be neutral.

REFERENCES

- Fatima, S. (2010). Sifat Fisika, Kimia, Air Siklus Hidrologi dan Sumber Air. http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._KIMIA/196802161994022-Soja_Siti_Fatimah/ Kuliah Kimia_ terapan_pada_jurusan_agro_industri/ kIMIA_AIR-1/ Sifat_Fisika,_ Kimia_Air,_Siklus_Hidrologi ,_Dan_Sumber_Air_Di.pdf . visited 27 April 2015
- Kodoatie, R. (2009). Hidrolika Terapan Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa. Yogyakarta, Andi Publisher.
- Mangkoedihardjo, S. (2005). Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah, Seminar Nasional Teknologi Lingkungan III ITS, [http://www.its.ac.id/sarwoko-enviro-seminar %20](http://www.its.ac.id/sarwoko-enviro-seminar%20sampah%20TL.pdf) sampah%20TL.pdf, visited 30 Januari 2015
- Mangkoedihardjo, S., Sarwoko, dan Samudro.(2010). Fitoteknologi Terapan. Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Mason, C.F. (1994). *Biology of Fresh Water Pollution*. New York: Longman Scientific and Technical
- Navarro, A.R., Rubio, M.C., dan Maldonado M.C. (2011). A Combined Process to Treat Lemon Industry Wastewater and Produce Biogas. Clean Teachnology Environ Policy. Tucuman, Argentina.
- Orth, H. (1989). *Hyacinthus-Air* (Eceng Gondok) Untuk Membesihkan Air Limbah Industri-Memanfaatkan Air Limbah. Jakarta, Yayasan Obor Indonesia.
- Rahma, H. (2014). Fitoremedisi Limbah Cair Mocaf Dengan Menggunakan Enceng Gondok (*Echornia crassipes* (Mart.) solms). Jember, Departement of Agricultural Engineering Universitas Jember.