

RANCANG BANGUN MODEL TEKNOLOGI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)

Reda Rizal¹

Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Jakarta Selatan, Indonesia ¹

E-mail: reda_rizal@yahoo.co.id

Abstract

The research was reflected by the condition of the aquatic environment in the vicinity of settlements which is very poorly marked by physical-chemical data-biological water in drainage channels that are below the threshold value of the quality standards. Yet the availability management and waste water treatment technology source of household activities, small and medium. Research methods method using architecture models of technology waste water treatment plan which provides benefits on ecology, economy, social, culture and healthy, with a technology less pollution, water saving, and clean water. The research of technology waste water treatment plan is able to cleanse and purify waste water at the level of the quality of the raw water that meets the quality, and the collection of water pollutants at medium charcoal as an absorber that can be utilized as a fertilizer plant and as a high-energy fuel. The research designing the models of technology waste water treatment plan, the technology will produce low-cost, environmentally friendly and can be classified as sustainable technology.

Keywords: air limbah domestik, rancang bangun model teknologi, pengolahan air limbah, permukiman penduduk.

Pendahuluan

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh adanya persoalan/masalah yang ditimbulkan oleh kegiatan masyarakat di lingkungan kegiatan rumah tangga, lingkungan kegiatan industri kecil dan menengah yaitu ketidakefisienan (*inefficiency*) dan ketidakefektifan (*ineffectiveness*) manajemen dan teknologi pengelolaan air. Air yang digunakan sering tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga timbul air limbah yang tidak terkelola dengan baik dan bahkan mencemari lingkungan. Sehingga diperlukan teknologi instalasi pengolahan air limbah yang dapat menyehatkan lingkungan, teknologi minimum limbah dan pencemar, serta teknologi berbiaya rendah.

Teknologi pengolahan air limbah menjadi kata kunci dalam upaya meminimumkan dampak negative pencemaran lingkungan dan mencegah timbulnya ancaman terhadap kesehatan masyarakat dan kerusakan lingkungan. Apapun jenis teknologi pengelolaan dan teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat pengguna. Jenis teknologi pengolahan air limbah yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan masyarakat yang bersangkutan. Untuk dapat memilih teknologi tepat guna, peneliti harus mengetahui gambaran umum tentang metode-metode pengolahan air limbah yang ada, baik tentang prinsip kerja, tentang penerapan metode-metode tersebut, keuntungan dan kerugian, dan juga faktor biaya. Hal yang penting dalam

perancangan atau konsep teknologi pengolahan air limbah adalah usaha mencegah atau menekan beban cemaran seminimum mungkin, yaitu melalui pengendalian proses timbulan air limbah itu sendiri (konsep produksi bersih). Kemudian pada tahap selanjutnya adalah pengolahan air limbah yang dihasilkan agar tidak mencemari badan air (air tanah, sungai dan laut), dan agar air buangan dari industri maupun dari rumah tangga sesuai dengan baku mutu yang berlaku. Penentuan suatu sistem pengolahan limbah yang tepat terhadap air limbah terkait erat dengan informasi komposisi dan karakteristik dari air limbah terlebih dahulu. Jenis kegiatan dan karakteristik limbah menjadi sangat penting untuk dijelaskan dalam kaitan dengan teknologi pengolahan air limbah dari sumber kegiatan rumah tangga dan industri, prinsip dasar pemilihan teknologi yang tepat, dan contoh sistem pengolahan air limbah pada kegiatan rumah tangga beberapa jenis industri kecil dan menengah.

Tinjauan Pustaka

Teknologi pengolahan air limbah industri telah berkembang dengan pesat sesuai dengan perkembangan pengetahuan dan teknologi yang mengarah pada keberlanjutan ekosistem di berbagai bidang kehidupan. Sementara itu, teknologi pengolahan air limbah rumah tangga (air limbah domestik) belum berkembang sesuai harapan lingkungan hidup yang bersih dan sehat. Teknologi pengolahan air limbah rumah tangga digunakan untuk meminimumkan dampak

lingkungan kehidupan masyarakat di permukiman kota maupun desa. Teknologi pengolahan air limbah industri digunakan untuk memenuhi persyaratan pembuangan air limbah ke badan air sesuai standard dan pemenuhan tuntutan dunia industri yang mengarah pada kegiatan produksi bersih (*cleaner production*), proses bersih (*cleaner process*), produk bersih (*clean product*), dematerialisasi dan dekarbonisasi (*dematerialization and decarbonization*), industri/manufaktur hijau (*green manufacturing*) ataupun manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) (Rizal, R: 2016). Sedangkan teknologi pengolahan air limbah sumber kegiatan rumah tangga dimaksudkan untuk meminimumkan dampak pencemaran air oleh air limbah kegiatan rumah tangga ke lingkungan kehidupan secara global.

Teknologi pengolahan air limbah yang umum digunakan untuk sistem *on-site* dan *off-site* adalah sebagai berikut (Soewondo, P: 2009):

- a. Teknologi IPAL *on – site* dapat kita temui dalam bentuk: *septic tank, grease trap, pit latrine, composting, grey water, beerput*.
- b. Teknologi IPAL *off-site* dapat kita temui dalam bentuk: *aqua culture, anaerobic with biogas digester, stabilization ponds, small bore sewer, shallow bore sewer, conventional sewerage system with centralized waste water treatment*.

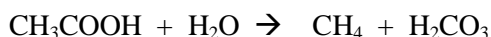
Franson 1993 menjelaskan beberapa prinsip tahapan yang digunakan untuk pengolahan air limbah (*waste water treatment*) menjadi air yang layak secara lingkungan dilepas ke perairan adalah sebagai berikut;

Limbah cair organik yang dihasilkan dari industri dialirkan dengan pipa menuju tangki penampung melalui proses penyaringan, setelah dari tangki penampung kemudian limbah cair dimasukkan kedalam reaktor anaerobik berisi media penyangga atau support material berupa potongan bambu untuk tempat melekat bakteri. Didalam reaktor anaerobik terjadi proses degradasi bahan organik yang dilakukan oleh bakteri sehingga kandungan bahan organiknya turun. Proses anaerobik dengan menggunakan reaktor tipe *fixed bed* dilakukan dengan waktu tinggal selama 3 (tiga) hari menghasilkan bio-gas yang ditampung dalam *gas holder*. Bila proses pembenihan dan aklimatisasi berjalan dengan dengan baik, selanjutnya efluen yang berasal dari proses anaerobik dialirkan menuju tempat pengolahan secara aerobik menggunakan *trickling filter*. Proses penyaringan ini dilakukan agar limbah cair yang masih mengandung material organik didegradasi oleh mikroorganisme yang ada pada potongan bambu, sehingga apabila dibuang

ke badan air tidak akan mencemari perairan di sekitarnya. Sebagai ilustrasi, limbah cair industri tahu adalah limbah cair yang mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi yaitu sekitar 15.798 mg/liter, sehingga diperlukan metode pengolahan yang tepat yaitu pengolahan air limbah secara biologi dengan sistem anaerobik menggunakan reaktor tipe *fixed bed* dengan *support material* berupa potongan bambu. Instalasi Pengolah Air Limbah yang dibangun dengan sistem secara biologi yaitu proses yang menggunakan kemampuan mikroba untuk mendegradasi material polutan organik. Adapun proses yang dilakukan secara anaerob yaitu pengolahan secara biologi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam mendegradasi material organik dalam kondisi tidak ada oksigen terlarut atau sangat sedikit oksigen terlarut. Keuntungan dan kerugian pengolahan anaerob adalah dalam prosesnya menghasilkan energi dalam bentuk biogas, lumpur yang dihasilkan sedikit, tidak memerlukan lahan yang besar dan tidak membutuhkan energi untuk aerasi.

Degradasi senyawa organik secara anaerobic; pada proses anaerob, penguraian senyawa organik berlangsung secara bertahap dan pada setiap tahapan ada aktivitas jenis bakteri tertentu yang dominan, dan setiap jenis bakteri mempunyai kondisi lingkungan optimum yang menjadi salah satu parameter penting. Tahapan-tahapan yang terjadi dalam proses degradasi anaerobik melalui tiga tahapan yang saling terkait. Proses pertama adalah hidrolisis yaitu proses dimana aktivitas kelompok bakteri Saprofilik menguraikan bahan organik kompleks. Aktivitas terjadi karena bahan organik tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein, busa sabun, dan karbohidrat akan dikonsumsi bakteri Saprofilik, dimana enzim ekstraseluler akan mengubahnya menjadi bahan organik yang larut dalam air. Selanjutnya proses asidogenesis, pada proses ini bahan organik terlarut akan diubah menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionat, asam amino, asam asetat dan asam-asam lainnya oleh bakteri Asidogenik. Salah satu bakteri yang hidup dalam kelompok Asidogenik adalah bakteri pembentukan asam asetat yaitu bakteri Asetogenik, bakteri ini yang berperan dalam tahap perombakan asam propionat, asam amino, asam butirat, maupun asam rantai panjang lainnya menjadi asam organik yang mudah menguap/volatil seperti asam asetat. Proses terakhir adalah proses dimana bakteri Metanogenik akan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), proses ini dinamakan metanogenesis. Pada proses pembentukan gas metana sekitar 70% metana yang dihasilkan dalam

penguraian berasal dari asam asetat. Reaksi yang terjadi adalah dekarboksilase.



Pengubahan asam asetat menjadi metana adalah yang utama dalam reaksi tersebut di atas, paling tidak dikarenakan asam asetat adalah hasil produk antara yang dominan dalam fermentasi penguraian senyawa organik secara anaerobik untuk bahan-bahan alam.

Hasil degradasi komponen utama buangan air limbah cair organik mempunyai kandungan metana sebagai berikut:

- Karbohidrat 50 % CH₄
- Lemak 68 % CH₄
- Protein 70 % CH₄

Umumnya 85 – 95 % COD (*chemical oxygen demand*) dari air buangan limbah organik dapat didegradasi secara anaerobik. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa lebih dari 80% jumlah karbon dikonversi menjadi gas bio dan hanya 5 – 10 % menjadi biomasa.

Degradasi senyawa organik secara anaerobik, pada proses anaerob penguraian senyawa organik berlangsung secara bertahap dan pada setiap tahapan ada aktivitas jenis bakteri mempunyai kondisi lingkungan optimum yang menjadi salah satu parameter penting.

Dalam proses anaerob degradasi 1 kg COD (*chemical oxygen demand*) menghasilkan 0,35 m³ gas metana. Jumlah gas metana dan karbon dioksida dalam gas bio tergantung pada komposisi kimia substrat yang didegradasi.

Proses degradasi limbah cair organik dapat dilakukan pada bioreaktor tanpa atau dengan support material yang dapat diperinci sebagai berikut:

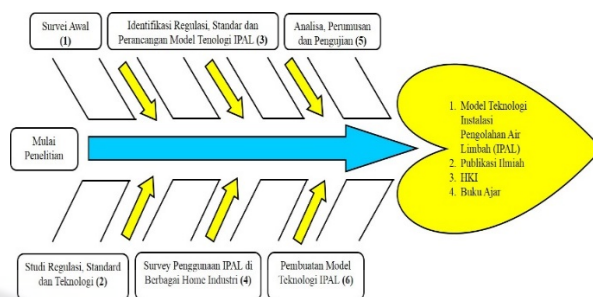
- Reaktor tanpa support material adalah jenis reaktor yang mempunyai tempat untuk menempel bakteri. Reaktor yang termasuk dalam jenis ini adalah: (i) reaktor tanpa pengaduk, (ii) reaktor dengan pengaduk, dan (iii) Reaktor tipe *sludge bed*.
- Reaktor dengan support material adalah jenis reaktor yang mempunyai tempat untuk menempel bakteri. Reaktor yang termasuk jenis reaktor ini adalah: (i) reaktor tipe *fixed bed*, dan (ii) reaktor tipe *fluidized bed*.

Pada penelitian tersebut di atas, reaktor yang digunakan adalah tipe *Fixed Bed Reactor* yaitu reaktor yang terdiri tangki berisi bahan pembantu berupa support material. Fungsi dari support material adalah sebagai tempat menempel mikroba,

sehingga mikroba tidak ikut terbawa oleh cairan sisa buangan atau efluen yang keluar dari reactor.

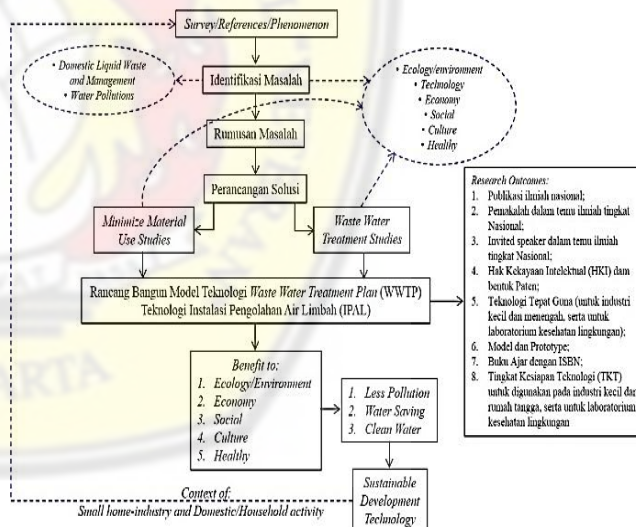
Metode Penelitian

Secara garis besar langkah-langkah yang akan digunakan dalam proses penelitian mencari dan merancang model teknologi instalasi pengolahan air limbah ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Metode Penelitian

Metode penelitian untuk mencapai tujuan dan target penelitian (tersedianya teknologi instalasi pengolahan air limbah yang efisien dan efektif digunakan oleh masyarakat/rumah tangga, industri kecil dan industri menengah yang berbiaya rendah), maka digunakan metode sebagai berikut.



Gambar 2. Metode Penelitian Rancang Bangun Model Teknologi IPAL

Kegiatan penelitian ini dibatasi pada hasil kegiatan berupa Model Teknologi *Waste Water Treatment Plan* (WWTP) Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), dengan *research outcomes* berupa: i) Publikasi ilmiah; ii) Pemakalah dalam temu ilmiah tingkat Nasional; iii) Invited speaker dalam temu ilmiah tingkat Nasional; iv) Hak Kekayaan Intelektual (HKI) dan bentuk Paten; v) Teknologi Tepat Guna (untuk industri kecil dan menengah, serta untuk laboratorium kesehatan lingkungan); vi) Model dan Prototype; vii) Buku Ajar dengan ISBN; viii)

Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) untuk digunakan pada industri kecil dan rumah tangga, serta teknologi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai peralatan/teknologi laboratorium kesehatan lingkungan.

Hasil Penelitian

Air limbah yang timbul berasal dari kegiatan rumah tangga dan air limbahnya mengalir ke lingkungan (drainase) adalah; i) mandi, cuci tangan dan berwudhu, ii) cuci pakaian, iii) cuci perabotan/peralatan rumah tangga.

Penggunaan air untuk mencuci perabotan/peralatan rumah tangga (rata-rata) per anggota keluarga sebanyak 1.300 mililiter (ml) terdiri atas: i) Gelas = 200 ml; ii) Piring = 600 ml; iii) Sendok/garpu = 100 ml; iv) Perabot makan lainnya = 200 ml; dan v) Perabotan memasak = 200 ml. Apabila setiap anggota keluarga setiap harinya makan dan sarapan pagi, maka jumlah air limbah setiap hari yang berasal dari kegiatan pencucian perabotan rumah tangga adalah sebanyak 3 x 1,3 liter = 3,9 liter/hari/orang. Penggunaan air untuk mandi dan berwudhu (rata-rata) per anggota keluarga sebanyak 120 liter/hari/orang. Penggunaan air untuk mencuci pakaian (rata-rata) per anggota keluarga sebanyak 80 liter/hari/orang. Sehingga total jumlah air limbah rumah tangga setiap harinya adalah sebanyak 3,9 liter + 120 liter + 80 liter = 203, 9 liter per orang tiap hari. Bila diasumsikan rata-rata jumlah anggota keluarga sebanyak 5 orang maka total jumlah air limbah rumah tangga setiap harinya adalah sebanyak **1.019,5 liter/hari**.

Seluruh air yang digunakan untuk mencuci perabotan/peralatan rumah tangga tersebut di atas akan langsung menjadi air limbah yang dibuang melalui saluran air limbah rumah tangga ke drainase di sekitar rumah. Sedangkan air yang digunakan untuk keperluan toilet tidak diperhitungkan dalam penghitungan jumlah timbulan air limbah karena air untuk keperluan toilet masuk langsung ke dalam septic-tank dan tidak dibuang ke saluran drainase.

Air limbah yang bersumber dari kegiatan industri kecil atau industri rumah tangga (restoran atau warung makan) adalah sebanyak 3,9 liter/orang konsumen. Jika jumlah konsumen berkunjung ke restoran atau warung makan setiap harinya sebanyak 100 orang maka jumlah air limbah yang timbul berasal dari kegiatan industri kecil atau industri rumah tangga (restoran atau warung makan) adalah sebanyak **390 liter/hari**.



Gambar 3. Foto Tempat Cucian Piring Rumah Tangga

Situasi dan kondisi sumber air limbah rumah tangga, salah satunya dari aktivitas kegiatan mencuci perabotan rumah tangga berupa cucian piring, gelas dan perabotan masak-memasak lainnya yang ditunjukkan foto pada Gambar 3.



Gambar 4. Bak Kontrol Air Cucian Piring Rumah Tangga

Situasi dan kondisi bak kontrol air cucian piring rumah tangga yang air limbahnya disalurkan melalui pipa dan dikontrol pada bak pengontrol air limbah rumah tangga untuk selanjutnya dialirkan ke drainase di luar rumah.



Gambar 5. Foto Saluran Air Limbah Permukiman

Situasi dan kondisi saluran air limbah permukiman atau sistem drainase di lingkungan permukiman, air limbah bertumpuk dan memunculkan bagian lemak, busa sabun, minyak, sisa protein makanan yang mengambang (*floating*) di atas permukaan saluran air limbah domestik.

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah Domestik Yang Belum Diolah

Jenis Pencemar	Unit	Konsentrasi		
		Rendah	Sedang	Tinggi

Padatan Total (TS)	mg/l	350	720	1200
Padatan Terlarut (TDS)	mg/l	250	500	850
Padatan Tersuspensi (TSS)	mg/l	100	220	350
Settleable Solids	mg/l	5	10	20
BOD ₅	mg/l	110	220	400
Organik Karbon Total (TOC)	mg/l	80	160	290
COD	mg/l	250	500	1000
Nitrogen Total (N)	mg/l	20	40	85
• Organik		8	15	35
• Amonia bebas		12	25	50
• Nitrit		0	0	0
• Nitrat		0	0	0
Fosfor Total (P)	mg/l	4	8	15
• Organik		1	3	5
• Inorganik		3	5	10
Khlorida	mg/l	30	50	100
Sulfat	mg/l	20	30	50
Alkalinitas, sebagai CaCO ₃	mg/l	50	100	200
Lemak	mg/l	50	100	150
Koliform total	No./10 Oml	10 ⁶ – 10 ⁷	10 ⁷ – 10 ⁸	10 ⁸ – 10 ⁹
VOCs	mg/l	<100	100 – 400	>400

Keterangan : Karakteristik Air Limbah Domestik di Amerika Serikat (Sumber : Canter, 1996)

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 Tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air

Pemanfaatan Karbon Arang pada Pengolahan Air Limbah

Rancangan model teknologi instalasi pengolahan air limbah yang akan dijadikan obyek penelitian ini adalah dengan memanfaatkan material karbon arang untuk menyerap komponen pencemar yang terdapat dalam air limbah domestik. Arang merupakan residu berwarna hitam yang mengandung karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan uap air dan komponen volatile dari hewan atau tumbuhan. Arang umumnya diperoleh dengan memanaskan atau membakar kayu, gula, tulang, dan atau material lainnya. Karakteristik karbon arang berwarna kehitaman, ringan, getas, mudah hancur, dan meyerupai batu bara terdiri atas 85% sampai 98% material karbon, sedangkan sisanya adalah abu atau material kimia lainnya.

Terdapat beberapa jenis karbon arang yang secara ekonomis dapat dimanfaatkan untuk menyerap komponen pencemar yang terdapat dalam air limbah domestik, berupa: minyak, lemak, busa sabun, dan protein. Hasil serapan minyak, lemak, busa sabun, dan protein pada karbon arang dapat meningkatkan daya bakar pada saat arang dimanfaatkan untuk membakar sesuatu,

sehingga secara ekologis pemanfaatan karbon arang tersebut dapat meminimumkan dampak negatif dari air limbah terhadap lingkungan.

Beberapa jenis material karbon arang yang dapat digunakan pada proses penyerapan bahan pencemar air limbah dalam rancang bangun model instalasi pengolahan air limbah ini antara lain adalah:

- Arang kayu; adalah karbon arang yang terbuat dari material dasar yaitu kayu. Arang kayu paling sering digunakan untuk keperluan memasak makanan dalam bentuk membakar makanan dengan karbon arang. Sedangkan penggunaan arang kayu untuk penelitian ini adalah berfungsi sebagai penyerap polutan pada sistem penjernihan air, dan meningkatkan derajat kesehatan lingkungan. Material kayu yang digunakan untuk dibuat karbon arang kayu adalah kayu yang dalam kondisi sehat, material kayu tidak membusuk dan atau kayu yang tidak tercemar material kimia seperti cat, dempul, vernis dan tidak mengandung bahan sintesis lainnya.
- Arang dari material serbuk gergaji adalah karbon arang yang terbuat dari serbuk gergaji yang telah dibakar. Serbuk gergaji biasanya mudah diperoleh di tempat-tempat penggergajian atau tempat pengrajin kayu. Serbuk gergaji adalah material sisa produksi yang jarang dimanfaatkan kembali oleh industri mebel. Harga material karbon arang dapat dikategorikan relatif murah, disamping dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, juga karbon arang serbuk gergaji tidak jarang dimanfaatkan sebagai material campuran pupuk dan dapat pula diolah menjadi briket karbon arang.
- Arang dari material sekam padi biasa digunakan sebagai material pupuk dan bahan baku briket karbon arang. Material sekam yang digunakan dapat dengan mudah diperoleh di tempat penggilingan padi, disamping dapat digunakan untuk memproduksi karbon arang, sekam padi juga sering dimanfaatkan sebagai material bekatul untuk pakan ternak. Kabon arang sekam tidak jarang dimanfaatkan sebagai material campuran pupuk dan media tanam di persemaian. Kondisi ini dimungkinkan oleh karena material sekam padi memiliki kemampuan untuk menyerap dan menyimpan air sebagai cadangan makanan untuk tanaman.
- Arang batok kelapa adalah karbon arang yang bersumber dari material tempurung kelapa. Pemanfaatan karbon arang batok kelapa ini ternasuk cukup strategis sebagai bagian dari sektor ekonomi usaha kecil masyarakat. Secara umum material batok kelapa jarang dimanfaatkan masyarakat secara langsung untuk

memenuhi kebutuhannya terhadap karbon arang. Selain dimanfaatkan dengan dibakar langsung, tempurung kelapa dapat dijadikan sbagai material untuk memproduksi briket karbon arang. Umumnya, tempurung kelapa yang akan dijadikan karbon arang harus bersumber dari material kelapa berusia tua, karena material bersifat lebih padat dan kandungan airnya minimum dibandingkan dengan kelapa usia muda. Harga jual karbon arang tempurung kelapa relatif mahal dibanding material lainnya, karena kualitas daya bakarnya lebih tinggi.

- e. Arang serasah adalah karbon arang yang terbuat dari serasah atau sampah dedaunan. Bila dibandingkan dengan material karbon arang lainnya, maka material serasah termasuk bahan yang paling mudah didapat. Arang serasah juga dapat dengan mudah diproduksi menjadi briket karbon arang, karena material karbon arangnya mudah dihancurkan atau dihaluskan.
- f. Briket arang adalah arang yang terbuat dari material karbohidrat yang dihaluskan terlebih dahulu kemudian dicetak sesuai kebutuhan dengan campuran tepung kanji. Tujuan pembuatan briket arang adalah untuk meningkatkan daya bakar dan jangka waktu bakar serta untuk menghemat biaya. Karbon arang yang sering dijadikan briket karbon arang diantaranya adalah karbon arang sekam, karbon arang serbuk gergaji, dan karbon arang serasah. Butiran karbon arang tersebut terlalu kecil untuk digunakan secara langsung dan akan cepat habis pada saat dibakar. Sehingga akan lebih efisien bila dirubah bentuknya menjadi briket karbon arang. Material arang tempurung kelapa lebih efisien dijadikan briket karbon arang pada kondisi arang tempurung yang telah remuk.
- g. Arang kulit buah mahoni adalah karbon arang yang bersumber dari material kulit buah mahoni. Bila dilihat secara kasat mata, kulit buah mahoni memiliki tekstur yang keras dan padat. Karbon arang kulit buah mahoni diproduksi dan diproses menggunakan tungku drum, sama seperti proses pembuatan karbon arang kayu. Arang jenis ini juga dapat diolah menjadi briket karbon arang, produk karbon arang yang dibuat dari material kulit buah mahoni juga memiliki kualitas daya bakar yang cukup baik. Jika dibakar hanya mengeluarkan sedikit asap. Nilai kalor yang dihasilkan saat dibakar sangat tinggi dan tahan lama sehingga bernilai ekonomis dan bernilai ekologis.

Pemanfaatan kembali karbon arang yang telah menyerap minyak, lemak, busa sabun, dan

protein pada air limbah yang diolah menggunakan model teknologi instalasi pengolahan air limbah, adalah; i) untuk membakar makanan pada kegiatan restoran atau warung makan, ii) sebagai media tanaman, iii) sebagai pupuk tanaman.

Pemanfaatan kembali karbon arang untuk membakar makanan pada berbagai kegiatan rumah tangga, industri kuliner, rumah makan dan restoran adalah sebagai berikut.

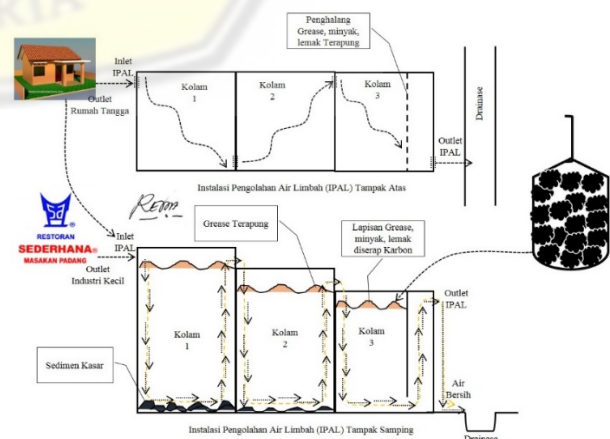


Gambar 6. Arang Batok Kelapa untuk Bakar Sate

Pemanfaatan kembali karbon arang yang telah menyerap minyak, lemak, busa sabun, dan protein pada air limbah (pada saat karbon arang kering) sebagai bahan bakar yang memiliki energi tinggi dan bebas polutan untuk membakar makanan pada kegiatan rumah tangga, industri kuliner, restoran atau warung makan. Pemanfaatan karbon arang sebagai bagian material pengolah air limbah pada model teknologi IPAL mampu menghasilkan sebuah inovasi teknologi IPAL ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Rancangan Model Teknologi Pengolahan Air Limbah

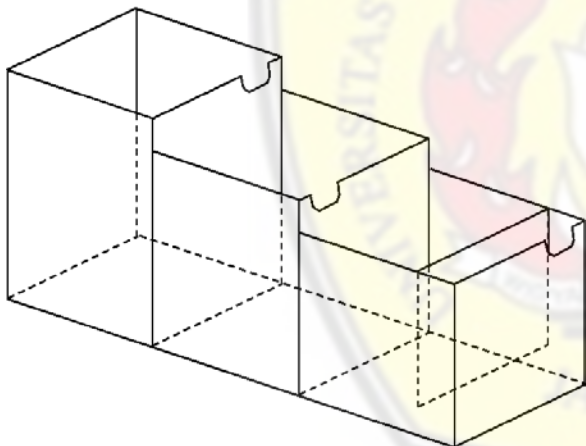
Konsep rancangan model teknologi IPAL yang diajukan untuk mengatasi masalah air limbah domestic adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Rancangan Model Teknologi IPAL

Air limbah dari sumbernya (*outlet*) dialirkan ke dalam kolam-1; selanjutnya air dari kolam-1 dialirkan ke kolam-2; selanjutnya air dari kolam-2 dialirkan ke kolam-3. Pada kolam-1 terjadi proses pengendapan material air limbah

yang massanya berat dan jatuh menumpuk di dasar kolam, sedangkan air limbah yang massanya lebih ringan pada batas maksimum isi kolam akan mengalir pada kolam-2. Pada kolam-2 terjadi proses pengendapan material air limbah yang massanya berat dan jatuh dan menumpuk di dasar kolam, sedangkan air limbah yang massanya lebih ringan pada batas maksimum isi kolam akan mengalir pada kolam-3. Pada kolam-3 terjadi penumpukan material air limbah yang memiliki massa lebih ringan dibanding massa air (material mengapung) di bagian paling atas batas maksimum isi kolam-3. Material apung yang terdapat di bagian atas air kolam-3 merupakan material limbah pencemar yang terdiri atas material lemak, minyak, busa sabun, protein dan karbohidrat yang memiliki massa ringan. Pada kolam-3 dimasukkan material arang kayu/ bamboo/ batok kelapa, untuk selanjutnya arang kayu/ bamboo/batok kelapa jenuh lemak, minyak dan material apung lainnya dapat dimanfaatkan kembali (*reuse*) sebagai bahan bakar kegiatan *home industry*, seperti pemanggangan ikan, panggang roti, panggang ayam, sate dan lain sebagainya.



Gambar 8. Perspektif Model Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah by Reda

Rancangan dimensi teknologi instalasi pengolahan air limbah didasarkan atas perkiraan rata-rata jumlah timbulan air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga sebanyak 1.000 liter perhari adalah sebagai berikut:

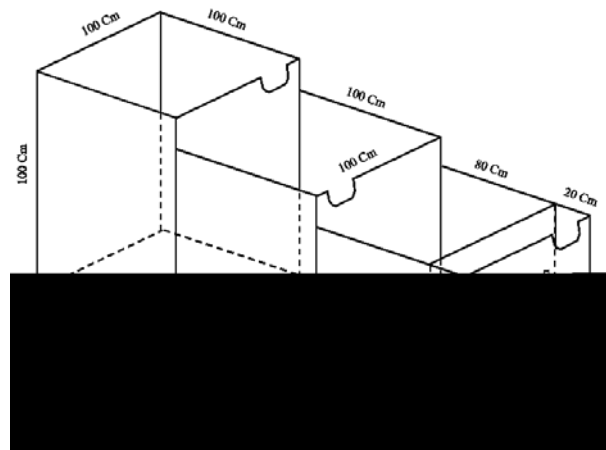
- Kolam-1 berdimensi: panjang (p) * lebar (l) * tinggi (t) = 100 cm * 100 cm * 100 cm = 1.000.000 cm³ = 1.000 liter = 1 m³.
- Kolam-2 berdimensi: p * l * t = 100 cm * 80 cm * 100 cm = 800.000 cm³ = 800 liter.
- Kolam-3 berdimensi: p * l * t = 100 cm * 100 cm * 60 cm = 600.000 cm³ = 600 liter.

$$\text{Debit air limbah} = Q = V * A$$

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{det)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran (m/det)}$$

$$A = \text{luas penampang aliran (m}^2\text{)}$$

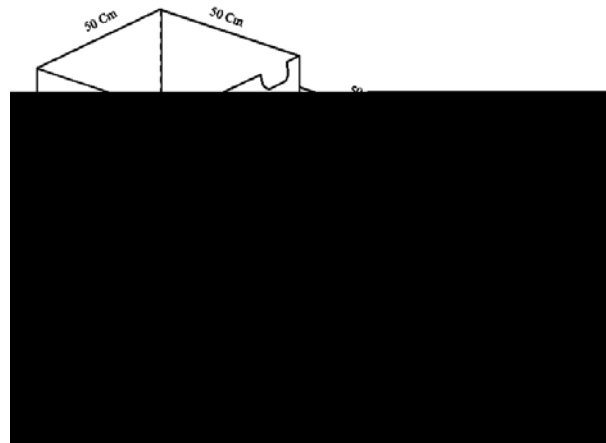


Gambar 9. Dimensi Model Teknologi IPAL Kapasitas 2400 liter

Gambar perspektif model teknologi instalasi pengolahan air limbah tersebut di atas bila diimplementasikan dalam bentuk sesungguhnya, maka dibutuhkan ruang sebesar 3 m³ dengan daya tampung 2,4 m³ air limbah.

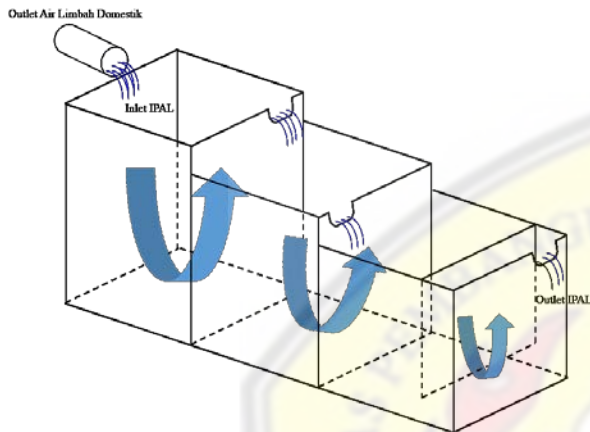
Pada asumsi diameter saluran *outlet* dari sumber air limbah rumah tangga berdiameter (A) = 10 cm², dan kecepatan aliran air limbah (V) = 0,05 m/detik, maka debit air limbah (Q) = 0,05 m³/detik * 0,1 m² = 0,005 m³/detik. Air limbah pada kolam-1 akan penuh selama kurun waktu: 1 m³ / 0,05 m³/detik = 200 detik = 3,33 menit. Namun, secara faktual bahwa diameter saluran air dari outlet air limbah rumah tangga berdiameter (A) = 10 cm² tidak sepenuhnya terpakai, dan hanya sekitar 20% - 30% diameter saluran yang terpakai untuk menyalurkan air limbah, maka air limbah pada kolam-1 akan penuh selama kurun waktu: 100/20 * 3,33 menit = 15,15 menit.

Dimensi IPAL pada Gambar 5.12 tersebut di atas direkomendasikan pemanfaatannya untuk pengolahan air limbah sumber kegiatan industri kecil dan industri rumah tangga seperti restoran dan warung makan.



Gambar 10. Dimensi Model Teknologi IPAL Kapasitas 1200 liter

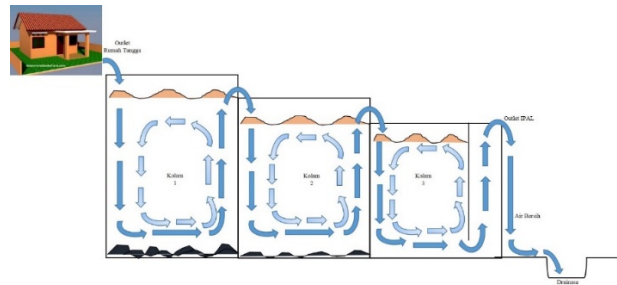
Gambar perspektif model teknologi instalasi pengolahan air limbah tersebut di atas bila diimplementasikan dalam bentuk sesungguhnya, maka dibutuhkan ruang sebesar 1,5 m³ dengan daya tampung 1,2 m³ air limbah. Dimensi IPAL pada Gambar 5.13 tersebut di atas direkomendasikan pemanfaatannya untuk pengolahan air limbah sumber kegiatan rumah tangga dan warung makan.



Gambar 11. Aliran Air Limbah pada Model Teknologi IPAL

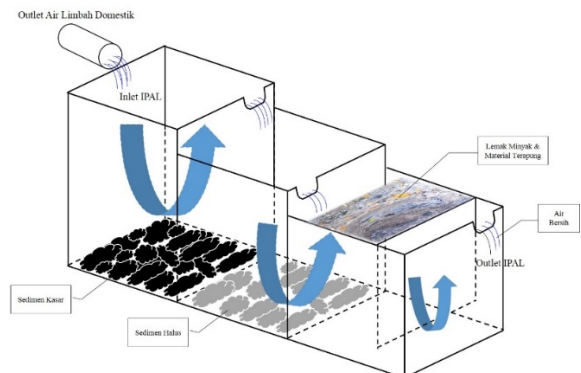
Gambar aliran air limbah pada model teknologi IPAL tersebut di atas menjelaskan bahwa, air limbah dari sumber kegiatan rumah tangga dialirkan pada kolam-1; pada kolam-1 ini air limbah bersirkulasi selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-1 sebagai lumpur atau *sludge*. Air limbah dengan berat massa jenisnya akan memenuhi kolam-1 akan melimpah masuk ke dalam kolam-2; pada kolam-2 ini air limbah bersirkulasi selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-2 sebagai lumpur yang besar molekulnya relatif kecil dibanding lumpur yang terdapat di kolam-1. Selanjutnya, air limbah yang memenuhi kolam-2 akan meluber masuk ke dalam kolam-3; pada kolam-3 ini air limbah bersirkulasi selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih ringan dari massa jenis air akan mengapung dan terapung di permukaan kolam-3, sedangkan air limbah selanjutnya akan meluber keluar kolam-3 menjadi air limbah yang telah memenuhi baku mutu air limbah yang

diperbolehkan dilepas ke lingkungan sesuai peraturan yang berlaku.



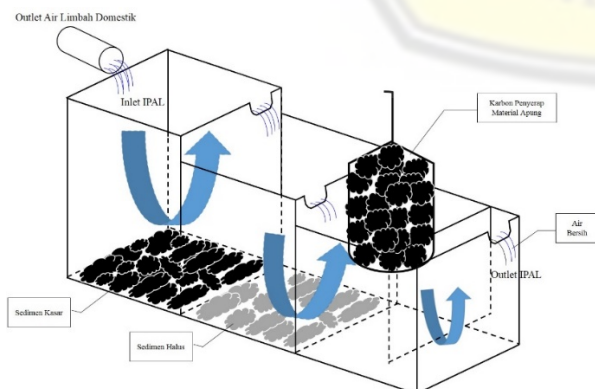
Gambar 12. Tampak Samping Aliran Air Limbah pada Model Teknologi IPAL

Air limbah dari sumber kegiatan rumah tangga dialirkan pada kolam-1; pada kolam-1 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-1 sebagai pengendapan pencemar air (disebut lumpur atau *sludge*). Air limbah dengan berat massa jenisnya akan memenuhi kolam-1 akan melimpah masuk ke dalam kolam-2; pada kolam-2 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-2 sebagai lumpur yang besar molekulnya relatif kecil dibanding lumpur yang terdapat di kolam-1. Selanjutnya, air limbah yang memenuhi kolam-2 akan meluber masuk ke dalam kolam-3; pada kolam-3 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih ringan dari massa jenis air akan mengapung dan terapung di permukaan kolam-3, sedangkan air limbah selanjutnya akan meluber keluar kolam-3 menjadi air limbah yang telah memenuhi baku mutu air limbah yang diperbolehkan dilepas ke lingkungan sesuai peraturan yang berlaku.



Gambar 13. Aliran Air Limbah dan Pengendapan Limbah pada Model Teknologi IPAL

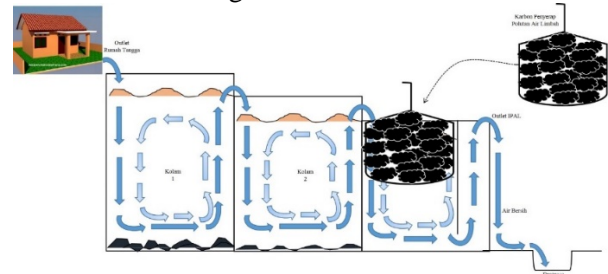
Air limbah dari sumber kegiatan rumah tangga dialirkan pada kolam-1; pada kolam-1 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-1 sebagai pengendapan pencemar air (disebut lumpur atau *sludge*). Air limbah dengan berat massa jenisnya akan memenuhi kolam-1 akan melimpah masuk ke dalam kolam-2; pada kolam-2 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-2 sebagai lumpur yang besar molekulnya relatif kecil dibanding lumpur yang terdapat di kolam-1. Selanjutnya, air limbah yang memenuhi kolam-2 akan meluber masuk ke dalam kolam-3; pada kolam-3 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih ringan dari massa jenis air akan mengapung dan terapung di permukaan kolam-3, sedangkan air limbah selanjutnya akan meluber keluar kolam-3 menjadi air limbah yang telah memenuhi baku mutu air limbah yang diperbolehkan dilepas ke lingkungan sesuai peraturan yang berlaku. Material apung pada kolam-3 diserap oleh sekumpulan karbon yang dimasukkan secara berkala (pada saat monitoring pengolahan limbah terlihat adanya material apung) sehingga seluruh material apung diserap oleh karbon pembersih air limbah.



Gambar 15. Proses pada Model Teknologi IPAL

Pemanfaatan karbon arang pada proses pengolahan air limbah pada model teknologi IPAL ini adalah sebagai penyerap material apung yang terdapat di permukaan air limbah pada kolam-3 guna memisahkan material pencemar air dengan air limbah

yang telah bersih keluar dari kolam-3. Pemanfaatan kembali arang yang telah menyerap minyak, lemak, busa sabun, dan protein pada air limbah yang diolah menggunakan teknologi instalasi pengolahan air limbah, adalah sebagai pupuk tanaman dan sebagai bahan untuk membakar makanan pada kegiatan restoran atau warung makan.



Gambar 14. Tampak Samping Proses Pengolahan Air Limbah pada IPAL

Air limbah dari sumber kegiatan rumah tangga dialirkan pada kolam-1; pada kolam-1 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-1 sebagai pengendapan pencemar air (disebut lumpur atau *sludge*). Air limbah dengan berat massa jenisnya akan memenuhi kolam-1 akan melimpah masuk ke dalam kolam-2; pada kolam-2 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih berat dari massa jenis air akan jatuh dan mengendap di dasar lantai kolam-2 sebagai lumpur yang besar molekulnya relatif kecil dibanding lumpur yang terdapat di kolam-1. Selanjutnya, air limbah yang memenuhi kolam-2 akan meluber masuk ke dalam kolam-3; pada kolam-3 ini air limbah bersirkulasi dan menumpuk selama waktu penuhnya kolam dengan air limbah. Pada saat yang sama material dengan massa jenis lebih ringan dari massa jenis air akan mengapung dan terapung di permukaan kolam-3, sedangkan air limbah selanjutnya akan meluber keluar kolam-3 menjadi air limbah yang telah memenuhi baku mutu air limbah yang diperbolehkan dilepas ke lingkungan sesuai peraturan yang berlaku. Material apung pada kolam-3 diserap oleh sekumpulan karbon yang dimasukkan secara berkala (pada saat monitoring pengolahan limbah terlihat adanya material apung) sehingga seluruh material apung diserap oleh karbon pembersih air limbah.

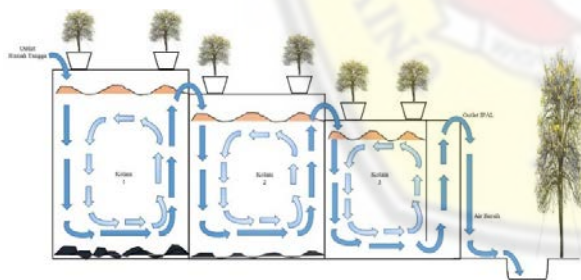
Model teknologi pengolahan air limbah yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk mengolah air limbah rumah tangga dan air limbah industri kecil atau industri

rumahan warung makan dan industri kecil lainnya yang menghasilkan air limbah dari kegiatannya.

Pemanfaatan kembali karbon arang yang telah menyerap minyak, lemak, busa sabun, dan protein pada air limbah (pada saat karbon arang kering) sebagai bahan bakar yang memiliki energi tinggi dan bebas polutan untuk membakar makanan pada kegiatan restoran atau warung makan.

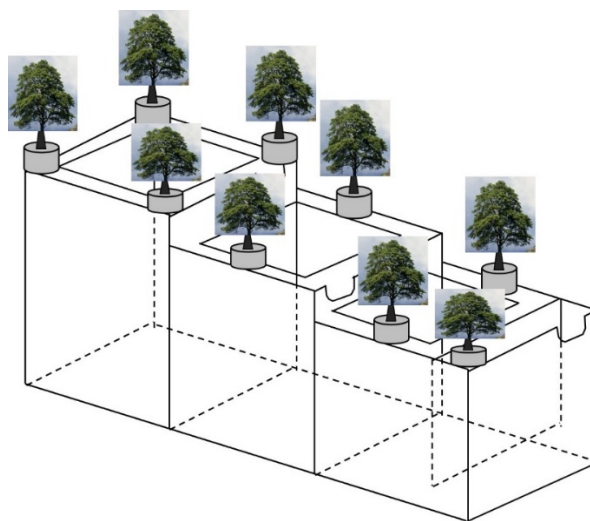
Secara ekologis, manfaat karbon penyerap polutan air limbah adalah; i) dapat menjernihkan air limbah yang dilepas ke lingkungan perairan, ii) dapat dimanfaatkan sebagai material pupuk tanaman, iii) dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar panggang makanan (sate, ayam, ikan, dan lain sebagainya), iv) dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar lainnya. Sehingga dengan demikian maka; pemanfaatan karbon arang sebagai bagian material pengolah air limbah pada model teknologi IPAL mampu menghasilkan sebuah inovasi teknologi IPAL ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Untuk memperindah atau meningkatkan nilai estetika ekologi teknologi IPAL, dan agar lingkungan tidak tampak kumuh, maka dirancang penempatan beberapa pot pohon tanaman/ tumbuhan di atas are sekitar kolam IPAL. Pohon tanaman/ tumbuhan yang ditempatkan di atas dinding kolam dapat pula berfungsi sebagai penyerap polutan udara di sekitar teknologi IPAL sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 16. Sketsa Rancangan Estetika Lingkungan Teknologi IPAL (Tampak Samping)

Penempatan pohon tanaman/ tumbuhan di atas dinding kolam dapat meningkatkan nilai estetika dan ekologi lingkungan teknologi IPAL. Selain itu pula dedaunan dari pohon tanaman/ tumbuhan akan berfungsi sebagai penyerap polutan udara di sekitar teknologi IPAL, sehingga dengan demikian maka teknologi IPAL hasil rancangan ini dapat dikategorikan sebagai teknologi ramah lingkungan dan berkelanjutan.



Gambar 17. Perspektif Rancangan Estetika Lingkungan Teknologi IPAL Ramah Lingkungan

Hasil rancangan model teknologi IPAL tersebut di atas tidak membutuhkan energi dalam operasionalnya, karena aliran air terjadi secara alamiah mengikuti hukum archimedes ataupun hukum grafitasi, sehingga memenuhi persyaratan sebagai teknologi ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Nilai Keekonomian Hasil Rancangan Model Teknologi IPAL

Nilai keekonomian suatu hasil rancangan model teknologi IPAL dapat diperkirakan dari beberapa aspek sebagai berikut:

- Jenis material;
- Jumlah material;
- Besaran energi terpakai;
- Model teknologi;
- Lama/janga waktu pengerjaan/pembuatan;
- Spasi ruang kebutuhan penempatan teknologi;
- Harga produk teknologi saingan;
- Kualitas produk teknologi yang dirancang/ yang akan dihasilkan;
- Teknologi ramah lingkungan.

Ditinjau dari jenis material yang akan digunakan untuk membuat model teknologi IPAL, maka diperoleh informasi harga produk model teknologi IPAL. Hasil survei terhadap harga material dan biaya pembuatan rancangan Model Teknologi IPAL di beberapa lokasi produsen adalah sebagai berikut:

- Bahan Baku Beton Semen (Bata Merah):
 - Bata merah 120 buah x Rp. 400,- = Rp. 48.000,-
 - Semen 2 zak (40kg) x Rp. 68.000,- = Rp. 136.000,-
 - Pasir 1/2 colt = Rp. 140.000,-
 - Kawat ayakan 1 meter = Rp. 15.000,-

- 5) Reng $\frac{3}{4}$ 1 batang = Rp. 24.000,-
- 6) Jasa tukang 3 hari x Rp. 150.000,- = Rp. 450.000,-
- 7) Total biaya (harga) = Rp. 830.000,-
- b. Bahan Baku Beton Semen (Hebel Putih):
 - 1) Hebel 30 buah x Rp. 5.000,- = Rp. 150.000,-
 - 2) Mortar Utama (MU) 1 zak 20 kg = Rp. 100.000,-
 - 3) Semen 1 zak (40kg) x Rp. 68.000,- = Rp. 68.000,-
 - 4) Pasir $1\frac{1}{2}$ colt = Rp. 140.000,-
 - 5) Kawat ayakan 1 meter = Rp. 15.000,-
 - 6) Reng $\frac{3}{4}$ 1 batang = Rp. 24.000,-
 - 7) Jasa tukang 3 hari x Rp. 150.000,- = Rp. 450.000,-
 - 8) Total biaya (harga) = Rp. 947.000,-
- c. Bahan Baku *Fiber* (ketebalan 5 cm):
 - 1) Tripleks 6 mm x 6 lembar x Rp. 100.000,- = Rp. 600.000,-
 - 2) Kassa 3 x 4 (4 batang) x Rp. 30.000,- = Rp. 100.000,-
 - 3) *Fiber glass* 8 m² x Rp. 300.000,- = Rp. 2.400.000,-
 - 4) *Poly urethane* 4 set = Rp. 400.000,-
 - 5) Lem kayu + Paku = Rp. 50.000,-
 - 6) Jasa tukang = Rp. 1.500.000,-
 - 7) Total biaya (harga) = Rp. 5.070.000,-
- d. Bahan Baku *Fiber* (ketebalan 1,5 cm):
 - 1) Tripleks 12 mm x 3 lembar x Rp. 200.000,- = Rp. 600.000,-
 - 2) *Fiber glass* 8 m² x Rp. 300.000,- = Rp. 2.400.000,-
 - 3) Lem kayu + Paku = Rp. 50.000,-
 - 4) Jasa tukang = Rp. 750.000,-
 - 5) Total biaya (harga) = Rp. 3.800.000,-
- e. Bahan Baku *Stainless Steel* (ketebalan 1,5 mm, kualitas 201) = Rp. 12.000.000,-
- f. Bahan Baku *Stainless Steel* (ketebalan 2 mm, kualitas 201) = Rp. 14.000.000,-
- g. Bahan Baku *Stainless Steel* (ketebalan 1,5 mm, kualitas 304) = Rp. 15.000.000,-
- h. Bahan Baku *Stainless Steel* (ketebalan 2 mm, kualitas 304) = Rp. 17.000.000,-

Berdasarkan uraian biaya dan atau harga teknologi IPAL hasil rancangan dari 8 (delapan) varian jenis dan kualitas material, maka didapatkan nilai keekonomian pada model teknologi IPAL yang terbuat dari Bahan Baku Beton Semen (Bata Merah) seharga Rp. 830.000,-

Kesimpulan

Model teknologi instalasi pengolahan air limbah yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk mengolah air limbah rumah tangga dan air limbah industri kecil atau industri rumahan warung makan dan industri kecil lainnya yang menghasilkan air limbah dari kegiatannya.

Pemanfaatan karbon arang kayu atau arang batok kelapa ataupun arang dari material bambu pada proses pengolahan air limbah pada model teknologi IPAL ini adalah sebagai penyerap polutan air berupa material apung (lemak, minyak, busa sabun, protein dan kotoran lainnya) yang terdapat di permukaan air limbah pada kolam-3, dan memisahkan material pencemar air dengan air limbah yang telah bersih keluar dari kolam-3. Pemanfaatan kembali karbon arang yang telah menyerap minyak, lemak, busa sabun, dan protein pada air limbah (pada saat karbon arang kering) sebagai bahan bakar yang memiliki energi tinggi dan bebas polutan untuk membakar makanan pada kegiatan restoran atau warung makan.

Secara ekologis, manfaat karbon penyerap polutan air limbah adalah; i) dapat menjernihkan air limbah yang dilepas ke lingkungan perairan, ii) dapat dimanfaatkan sebagai material pupuk tanaman, iii) dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar panggang makanan (sate, ayam, ikan, dan lain sebagainya), iv) dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar lainnya. Sehingga dengan demikian maka; pemanfaatan karbon arang sebagai bagian material pengolah air limbah pada model teknologi IPAL mampu menghasilkan sebuah inovasi teknologi IPAL ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemanfaatan karbon arang sebagai bagian material pengolah air limbah pada model teknologi IPAL mampu menghasilkan sebuah inovasi teknologi IPAL yang ramah lingkungan dan teknologi IPAL berkelanjutan (*sustainable waste water treatment plan*).

Saran

Model teknologi pengolahan air limbah yang dihasilkan dari penelitian ini merekomendasikan penggunaan material arang karbon sebagai berikut:

- a. Teknologi penyerap polutan pada IPAL menggunakan karbon arang dari material kayu bekas yang tidak mengandung polutan cat yang toksik.
- b. Teknologi penyerap polutan pada IPAL menggunakan karbon arang dari material batok kelapa yang keberadaan sumber daya

alam materialnya bersifat terbarukan (*renewable resources*).

- c. Teknologi penyerap polutan pada IPAL menggunakan karbon arang dari material bamboo yang keberadaan sumber daya alam materialnya bersifat baru dan terbarukan (*renewable resources*).

Daftar Pustaka

Franson, M.A.W. 1993. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 17th. Ed. APHA, AWWH, WPCF USA, 1993.

Kawahara, Yutaka. 2016. Preparation of Bamboo-Based Carbonaceous Adsorbents for the Removal of Musty/Earthy Off-Odors and Vocs. *International Journal of Water and Wastewater Treatment*. Volume: 2.4. 2016.

Mark G Robson, William A Toscano. *Risk Assessment For Environmental Health*. John Wiley & Sons Inc, USA, 2007

Nelson Leonard Nemerow, Avijit Dasgupta. *Industrial And Hazardous Waste Treatment*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.

Rizal, R. 2016. Manufaktur Berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) Manufaktur Hijau (*green manufacturing*). Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta. ISBN 978-602-73114-2-8.

Rizal, R. 2015. Analisis Kualitas Lingkungan. Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta. ISBN 978-602-19087-6-1.

Soewondo, P. 2009. Konsep Pengelolaan Limbah Cair Domestik. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung 2009.