

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF DENGAN AKTIVATOR
ASAM KLORIDA (HCL) DARI CAMPURAN LIMBAH *LOW-DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE) DAN *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) DALAM MENGATASI
PERMASALAHAN LIMBAH PABRIK GULA MADUKISMO DI
SUNGAI BEDOG, BANTUL**

**Muhammad Arif, Hesti Fitriyana, Zahra Aisyah Rosa F, Lisendra Marbellia, S.T,
M.Sc., Ph.D.**

Universitas Gadjah Mada

Abstrak

Sampah plastik merupakan masalah utama yang dihadapi Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada tahun 2021, tercatat jumlah sampah plastik yang dihasilkan di Daerah Istimewa Yogyakarta mencapai 40.470 ton. Sampah plastik secara alamiah sangat sulit untuk didaur ulang dan tentu akan berdampak pada polusi lingkungan jika tidak ditangani. Selain itu, masalah lainnya adalah limbah pengolahan gula dari Pabrik Gula Madukismo yang mencemari Sungai Bedog di Desa Wijirejo, Bantul. *Vinasse* yang terkandung dalam limbah pengolahan gula tersebut menyebabkan air sungai memiliki karakteristik *Total Suspended Solid* (TSS) 28,5 mg/L, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 109,99 mg/L, dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 52,49 mg/L. Pencemaran sungai tersebut dapat diatasi dengan inovasi karbon aktif. Karbon aktif merupakan bahan yang memiliki porositas yang tinggi sehingga memiliki daya serap yang tinggi dan cocok dijadikan sebagai adsorben. Karbon aktif tersebut ditujukan untuk menurunkan BOD, COD, dan TSS sehingga sesuai dengan standar Permenkes No. 32 tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus per Aqua, dan Pemandian Umum. Karbon aktif yang digunakan diperoleh dengan cara mengkarbonasi sampah plastik jenis *Polyethylene terephthalate* (PET) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang diperoleh dari tempat pembuangan sampah daerah Yogyakarta. Karbon aktif ini juga akan diaktivasi dengan menggunakan aktivator asam klorida (HCl).

Kata kunci: Adsorben, Karbon Aktif, Limbah Pabrik Gula, Sampah Plastik

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat. Pada tahun 2020, jumlah penduduk di Indonesia mencapai 273.523.615 jiwa [1]. Padatnya jumlah penduduk di Indonesia dibarengi oleh banyak masalah, salah satunya adalah produksi sampah yang semakin banyak. Produksi sampah di Indonesia mencapai 67,8 juta ton pada tahun. Produksi sampah yang sangat banyak ini dapat menimbulkan masalah serius untuk lingkungan apabila tidak segera ditangani. Sampah tersebut terdiri dari sampah organik yang dapat terurai dan sampah anorganik yang tidak dapat terurai. Sampah anorganik, seperti plastik, memerlukan pengolahan khusus agar tidak membahayakan lingkungan. Pada tahun 2020, persentase sampah plastik dari total jumlah sampah di Indonesia adalah sebesar 17,08% [2]. Hal ini membuktikan bahwa pengolahan sampah plastik masih belum optimal. Salah satu cara untuk membantu mengurangi permasalahan ini adalah penemuan inovasi dalam pemanfaatan sampah plastik.

Sampah plastik memiliki banyak jenis, yaitu PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*), dan O (*Other*). Pada penelitian ini, peneliti akan berfokus pada penelitian tentang sampah plastik LDPE dan PET. Hal yang melatarbelakangi penelitian ini antara lain karena selama ini sampah plastik LDPE dan PET belum dimanfaatkan dengan baik. Sampah plastik LDPE dan PET memiliki sifat yang berpotensi untuk dibuat sebagai bahan karbon aktif. Alasan lainnya adalah mencermati limbah pengolahan gula dari Pabrik Gula Madukismo yang mencemari Sungai Bedog di Desa Wijirejo, Bantul. *Vinasse* yang terkandung dalam limbah pengolahan gula tersebut menyebabkan air sungai memiliki karakteristik *Total Suspended Solid* (TSS) 28,5 mg/L, *Chemical Oxygen Demand* (COD) 109,99 mg/L, dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 52,49 mg/L [3]. Dilihat dari keadaan sungai yang tercemar limbah, perlu ditemukan suatu bahan yang dapat berperan sebagai adsorben. Salah satu bahan yang berpotensi untuk adsorben adalah karbon aktif yang terbuat dari sampah plastik LDPE dan PET. Hal ini karena plastik PET memiliki kandungan karbon sebanyak 60% dan LDPE memiliki kandungan karbon sebanyak 80% [4]. Kandungan karbon yang besar ini membuat sampah LDPE dan PET dapat dibuat menjadi karbon aktif yang memiliki afinitas yang kuat untuk menyerap berbagai bahan dengan kemampuan yang besar.

Karbon aktif merupakan material yang memiliki banyak pori-pori yang sangat

kecil sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap zat lain yang berada dekat dengannya. Pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap, yaitu karbonasi dan aktivasi. Senyawa yang digunakan oleh peneliti sebagai aktivator adalah asam klorida (HCl). Penggunaan HCl akan memberikan hasil yang lebih baik karena HCl merupakan asam kuat yang bersifat korosif sehingga dapat menghilangkan sisa abu ataupun material lain yang masih menempel pada permukaan pori-pori karbon aktif, serta harganya tergolong relatif murah dibandingkan aktivator yang lain. Oleh karena itu, peneliti perlu melakukan penelitian tentang pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET sebagai karbon aktif. Peneliti berharap penelitian ini nantinya dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia serta dapat meningkatkan nilai ekonomi sampah plastik LDPE dan PET dengan dihasilkannya karbon aktif.

Sebagian besar karbon aktif yang tersedia secara komersial terbuat dari sampah organik yang mengandung karbon. Peneliti melakukan inovasi dengan menggunakan sampah anorganik berupa plastik LDPE dan PET sebagai bahan pembuat karbon aktif. Dengan ini, peneliti berharap dapat melakukan inovasi dalam pemanfaatan sampah plastik LDPE dan PET. Selain itu, peneliti juga berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk kehidupan masyarakat Indonesia ke depannya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas dapat peneliti ajukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara pembuatan karbon aktif dari campuran plastik PET dan LDPE?
2. Seberapa efektif daya serap karbon aktif yang terbuat dari sampah plastik PET dan LDPE?
3. Mengapa digunakan Asam klorida (HCl) sebagai activator dalam pembuatan karbon aktif dari campuran plastik PET dan LDPE?

C. Tujuan

Berdasarkan latar belakang masalah dan rumusan masalah dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui cara pembuatan karbon aktif dari campuran plastik PET dan LDPE.
2. Mengetahui seberapa efektif daya serap karbon aktif yang terbuat dari sampah plastik PET dan LDPE
3. Mengetahui alasan mengapa Asam klorida (HCl) sebagai aktivator karbon

aktif.

D. Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi Masyarakat

Penelitian dapat memenuhi kebutuhan dalam menyediakan bahan karbon aktif.

2. Bagi Akademisi

Penelitian ini bermanfaat untuk mengembangkan pengetahuan dan teknologi yang dapat dikembangkan di kemudian hari.

3. Bagi Lingkungan

Penelitian ini bermanfaat untuk menurunkan angka pencemaran yang disebabkan oleh sampah plastik.

BAB II STUDI PUSTAKA

A. Vinasse

Vinasse merupakan limbah cair hasil samping dari proses pengolahan etanol yang rata-rata diproduksi 10 hingga 15 kali lebih banyak daripada etanol [5]. Karakteristik dari *vinasse* adalah berwarna coklat hingga kekuningan, memiliki rentang pH 2 hingga 4,5, serta memiliki nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi. Komposisi *vinasse* bergantung kepada metode pengolahan dan bahan baku yang digunakan dalam memproduksi etanol.

B. Indikator COD, BOD, dan TS

Biological Oxygen Demand (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan parameter yang umum digunakan sebagai indikator kualitas air limbah [6]. BOD merupakan jumlah oksigen (O_2) yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mengurai. BOD ditujukan untuk menentukan beban pencemaran terhadap air buangan domestik ataupun limbah industri dalam merancang sistem pengolahan air dan limbah. Kemudian COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terdapat dalam limbah cair. COD menunjukkan kadar pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat teroksidasi melalui proses biologis dan dapat menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen terlarut dalam air. TSS merupakan zat yang tersuspensi, biasanya terdiri dari zat organik dan anorganik yang melayang-layang dalam air. Akibat adanya zat yang tersuspensi ini, dapat menyebabkan

pendangkalan serta menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air sehingga menghambat proses fotosintesis dilakukan oleh mikroorganisme.

C. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses perpindahan massa adsorbat (zat terabsorpsi) dari fase gerak (fluida sebagai pembawa adsorbat) menuju permukaan adsorben. Saat proses adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antar molekul adsorbat dan juga terdapat antara molekul adsorbat dan tapak-tapak aktif pada permukaan adsorben. Gaya tarik adsorben yang lebih kuat menyebabkan terjadinya perpindahan massa. Proses adsorpsi dijumpai terutama dalam media karbon aktif dikarenakan memiliki ruangan pori yang sangat banyak. Pori-pori tersebut dapat menangkap partikel yang halus dan akan menjebakannya di dalam ruangan pori. Seiring berjalannya waktu, ruangan pori akan jenuh sehingga diperlukan adanya proses reaktivasi kembali [7].

D. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah material padat berpori yang merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon pada suhu yang tinggi. Karbon aktif mengandung 85% hingga 95% karbon, berwarna hitam, tidak berasa, tidak berbau, luas permukaan yang besar, serta memiliki daya serap tinggi yang dipengaruhi oleh struktur pori internalnya [8]. Akibat adanya pori-pori, karbon aktif berperan dalam adsorpsi untuk senyawa tertentu atau bersifat menyeleksi.

Karbon aktif diperoleh melalui proses karbonisasi, yaitu proses pemanasan pada suhu tertentu dengan jumlah oksigen terbatas. Proses ini biasanya untuk menguapkan zat-zat mudah menguap yang terkandung pada bahan dasar. Pada proses ini terjadi beberapa tahapan, yakni tahapan penghilangan air (dehidrasi), penguapan selulosa, penguapan lignin, serta pemurnian karbon. Hasil dari proses ini berupa arang yang masih memiliki daya serap yang rendah dikarenakan adanya senyawa pengotor diantaranya hidrokarbon, air, dan oksida-oksida [9]. Oleh karena itu setelah proses karbonisasi, dilanjutkan dengan proses aktivasi sebelum karbon aktif dapat digunakan untuk menambah permukaan luas pori [8].

Aktivasi merupakan proses untuk membuka, menambah, ataupun mengembangkan volume pori serta memperbesar diameter pori yang telah terbentuk. Proses aktivasi ini akan mengubah sifat, baik fisika maupun kimia dari karbon aktif sehingga berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Pengujian mutu karbon aktif perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuannya dalam pengaplikasiannya [10].

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Penulisan ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan bersifat *literature review*. Pendekatan kuantitatif adalah pengumpulan data oleh peneliti, bersifat angka yang selanjutnya diolah dengan menggunakan rumus statistik dan diturunkan dari variabel yang telah dioperasionalkan dengan skala ukur tertentu [11]. Jenis pendekatan kuantitatif yang digunakan adalah kuantitatif korelasi dan studi perbandingan. Metode kuantitatif korelasi dilakukan untuk menemukan ada atau tidaknya hubungan antar dua variabel yang sedang diteliti [12], dan studi perbandingan ditujukan untuk menemukan perbedaan dari beberapa subjek penelitian [13]. *Literature review* merupakan teori, temuan, dan bahan penelitian lain yang digunakan sebagai bahan acuan dan landasan dalam kegiatan penelitian [14].

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada penelitian ini, penulis menggunakan jenis data kuantitatif dan kualitatif. Data kualitatif merupakan data yang disajikan dalam bentuk kata verbal, bukan dalam bentuk angka. Dalam penelitian ini bentuk data kualitatif yang dikumpulkan berupa cara sifat dan karakteristik karbon aktif. Sedangkan data kuantitatif merupakan jenis data yang dapat diukur secara langsung, berupa informasi atau penjelasan yang dinyatakan dalam bilangan atau berbentuk data [15]. Dalam penelitian ini, data kuantitatif yang dikumpulkan berupa jumlah *fixed carbon* dari karbon aktif, data hasil pengujian kelayakan karbon aktif, efektivitas karbon aktif, serta nilai atau tingkat pencemaran air sungai. Sumber data yang digunakan berupa data sekunder. dikumpulkan oleh penulis dari pihak atau sumber yang telah ada. Dalam hal ini bentuk data sekunder yang digunakan berupa jurnal dan buku hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

C. Metode Pengumpulan Data

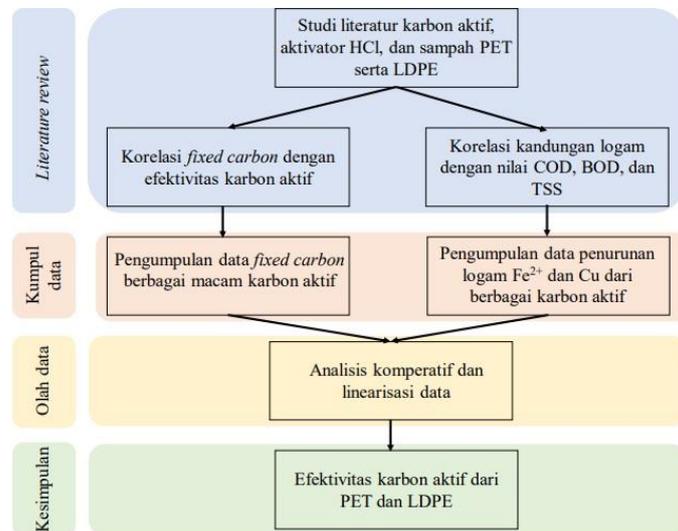
Metode yang digunakan penulis adalah studi literatur. Studi literatur ditujukan untuk mendapatkan data yang berasal dari jurnal ilmiah ataupun buku terkait. Dalam hal ini, penulis menggunakan studi literatur untuk mencari data hasil pengujian kelayakan karbon aktif, jumlah *fixed carbon*, cara pembuatan karbon aktif, efektivitas karbon aktif, serta korelasi kandungan logam terhadap pencemaran air sungai.

D. Teknik Analisis Data

Dalam karya penelitian ini, penulis menggunakan teknik analisis kuantitatif berupa analisis komparatif (*constant comparative analysis*) dan linearisasi. Analisis komparatif merupakan teknik analisis data dengan cara membandingkan persamaan dan perbedaan dari dua atau lebih sifat-sifat objek penelitian berdasarkan pemikiran tertentu [16]. Teknik analisis komparatif juga diiringi dengan teknik linearisasi dari dua atau lebih data yang terkait dengan tujuan untuk mendapatkan hasil penelitian serta menarik kesimpulan.

E. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir dalam penulisan karya ilmiah ini sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka Berpikir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Rancangan dan Proses

Dengan penulisan karya ilmiah ini, penulis merancang sebuah inovasi berupa pemanfaatan limbah plastik PET dan LDPE sebagai karbon aktif yang digunakan untuk memperbaiki kualitas dari air sungai. Berikut langkah-langkah dalam mewujudkan inovasi tersebut:

1. Alat

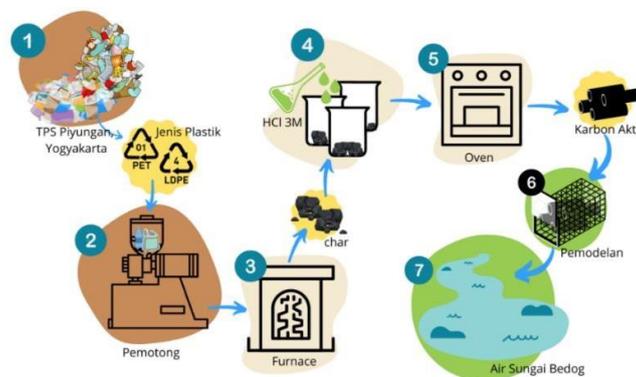
Alat yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari limbah sampah plastik PET dan LDPE adalah sebagai berikut:

- a) Tanur/*furnace*

- b) Pemotong plastik/ plastik *crusher*
 - c) Oven
2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif dari limbah sampah plastik PET dan LDPE adalah sebagai berikut:

- a) Limbah plastik PET dan LDPE
- b) Asam klorida (HCl) 37%
- c) *Aquadest*



Gambar 2. Skema Perencanaan dan Pelaksanaan

B. Cara Pembuatan

Pembuatan karbon aktif dari limbah plastik PET dan LDPE melalui lima tahapan, yaitu:

1. Tahap Preparasi

Sampah plastik diperoleh dari TPS Piyungan Yogyakarta dan kemudian disortir dikarenakan jenis plastik yang digunakan adalah hanya PET dan LDPE. Kemudian pemotongan dilakukan sehingga menghasilkan plastik yang berukuran lebih kecil.

2. Tahap Karbonisasi

Potongan plastik dimasukkan ke dalam furnace dan dilakukan proses karbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Hasil proses dari karbonisasi ini merupakan char, yakni arang yang belum teraktivasi.

3. Tahap Aktivasi

Arang hasil proses karbonisasi kemudian diaktivasi dalam larutan Asam klorida (HCl) 3M selama 2 jam. Proses ini ditujukan untuk memperbesar pori-pori dari arang serta membersihkan adanya sisa abu atau material lain yang menempel pada permukaan pori-pori sehingga menghasilkan arang yang memiliki porositas tinggi atau disebut dengan karbon aktif.

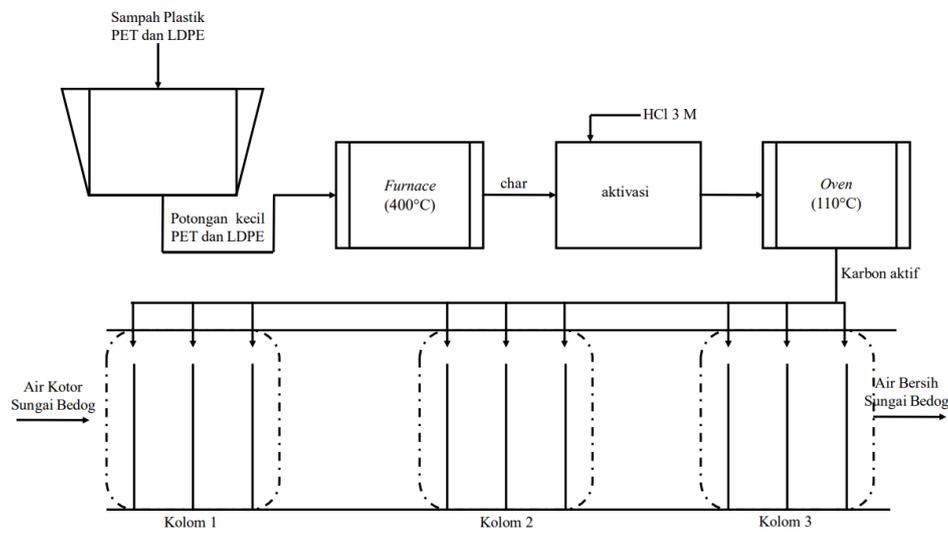
4. Tahap Pengeringan

Karbon aktif yang telah diaktivasi kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama satu jam. Proses ini ditujukan untuk menguapkan kadar air yang tersisa setelah adanya proses aktivasi.

5. Tahap Pengujian

Tahap pengujian dilakukan berupa menguji persentase kadar abu, kadar air, dan kadar zat terbang (*volatile matter*) sesuai dengan standar SNI. 06-3730-1995. Jika memenuhi standar tersebut, karbon aktif siap untuk dipasarkan.

C. Desain Diagram Alir



Gambar 3. Process Flow Diagram/ Desain Diagram Alir

D. Cara Kerja

Prinsip kerja dari karbon aktif adalah dengan menggunakan proses adsorpsi. Kandungan logam dan senyawa lain yang terkandung di dalam suatu larutan akan diserap oleh karbon aktif dikarenakan sifat porositasnya yang tinggi akibat terdapat banyak pori-pori. Pori-pori tersebut dapat menangkap partikel yang halus dan akan menjebakannya di dalam ruangan pori.

Proses adsorpsi disebabkan oleh adanya gaya antar molekul yang menyebabkan senyawa atau zat di dalam larutan dapat menempel pada permukaan pori. Ketika adsorbat berinteraksi dengan karbon aktif, maka adsorbat akan terperangkap pada permukaan pori-pori sehingga kandungan mengakibatkan indikator pencemaran, berupa COD, BOD, dan TSS dari air menurun. Hasilnya tingkat pencemaran air akan berkurang dan dapat dikatakan aman digunakan jika memenuhi standar Permenkes No. 32 tahun 2017.

E. Analisis Data

Berdasarkan studi literatur, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan

sebelumnya diperoleh beberapa data hasil penelitian dan kemudian disortir. Hasil yang diperoleh berupa beberapa jenis material karbon aktif, data persentase *fixed carbon*, penurunan logam Fe, dan penurunan logam Cu pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini didasarkan pada beberapa pertimbangan. Dengan adanya lima pertimbangan yang dapat terlihat pada tabel VII, dapat dilakukan linearisasi data terhadap data yang belum diketahui. Untuk menghitung *fixed carbon* dari karbon aktif PET dan LDPE dilinearisasi data hubungan *fixed carbon* dengan persentase penurunan logam Fe. Contoh perhitungan ditunjukkan sebagai berikut:

$$\%FC\ PET = \frac{\% Penurunan\ Fe\ Oleh\ PET}{\% Penurunan\ Fe\ oleh\ kulit\ singkong} \times FC\ kulit\ singkong \quad \dots 1$$

$$\%FC\ PET = 95\% \times 57,35\%$$

$$\%FC\ PET = 76,61\%$$

Dengan keterangan : FC = Fixed carbon

Dengan cara yang sama, diperoleh *fixed carbon* untuk LDPE sebesar 60,48%.

Untuk mencari persentase penurunan Cu dari karbon aktif PET dan LDPE, dapat melinearisasikan data *fixed carbon* dengan persentase penurunan Cu dari data karbon aktif eceng gondok. Contoh perhitungan ditunjukkan sebagai berikut:

$$\%Penurunan\ Cu\ PET = \frac{\% FC\ eceng\ gondok}{\% FC\ PET} \times \% \text{ penurunan Cu eceng gondok} \dots 2$$

$$\%Penurunan\ Cu\ PET = \frac{76,61\%}{72,02\%} \times 65,99\%$$

$$\%Penurunan\ Cu\ PET = 70,19\%$$

Dengan cara yang sama, diperoleh persentase penurunan Cu untuk LDPE sebesar 55,41%. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Linearisasi Data Studi Literatur

Jenis	% <i>Fixed carbon</i>	% Penurunan Fe	% Penurunan Cu
PET	76,61	95	70,19
LDPE	60,48	75	55,41

Diperolehnya persentase penurunan logam Fe dan Cu mengartikan bahwa langkah selanjutnya dapat menghitung persentase penurunan kadar COD, BOD, dan TSS. Perhitungan persentase penurunan mengikuti persamaan berikut:

$$\%Penurunan\ COD = \% \text{ penurunan Fe} \times \text{faktor korelasi (r)} \quad \dots 3$$

$$\%Penurunan\ BOD = \% \text{ penurunan Cu} \times \text{faktor korelasi (r)} \quad \dots 4$$

$$\% \text{Penurunan TSS} = \% \text{penurunan Fe} \times \text{faktor korelasi (r)} \quad \dots 5$$

Hasil perhitungan disajikan melalui tabel di bawah ini:

Tabel 2. Persentase Penurunan Indikator COD, BOD, dan TSS dari karbon aktif berbahan dasar PET dan LDPE

Kesimpulan	PET	LDPE	rata-rata
% Penurunan COD	94.38	74.51	84.45
% Penurunan BOD	53.69	42.39	48.04
% Penurunan TSS	77.14	60.9	69.02

F. Pembahasan

Rata-rata efektivitas karbon aktif dari bahan PET dan LDPE ditunjukkan oleh tabel di bawah ini:

Tabel 3. Tabel Efektivitas Karbon Aktif dan Konsentrasi Akhir Tingkat Pencemaran Sungai Bedog

Indikator	% Rata-rata Penurunan	Konsentrasi Awal	
		(ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)
COD	84.45	109.99	17.11
BOD	48.04	52.49	27.27
TSS	69.02	28.5	8.83
Fe	85	90.226	13.53

Kadar maksimum besi (Fe) untuk air keperluan sanitasi adalah sebanyak 1 mg/L atau setara 1 ppm. [17] Walaupun kadar COD, BOD, dan TSS dari limbah sudah berada pada level aman, tetapi adanya kandungan Fe yang masih cukup tinggi mengartikan bahwa air Sungai Bedog masih belum layak untuk digunakan dalam keperluan sanitasi. Namun, jika dilakukan tiga kali proses pengadsorbsian oleh karbon aktif seperti rancangan pada diagram alir, maka diperoleh sisa kadar besi sebesar 0,3045 ppm. Kadar besi yang sudah berada di bawah 1 ppm ini menandakan air Sungai Bedog bisa digunakan untuk keperluan sanitasi.

Karbon aktif dikatakan lolos uji kualitas kelayakan jika memiliki kadar *fixed carbon* minimum 65% [18]. jika dilakukan kombinasi antara limbah plastik PET dan LDPE, akan diperkirakan kadar *fixed carbon* sebesar 68,54% yang berdasarkan standar SNI. 06-3730-1995 sudah lulus uji kelayakan.

G. Analisis Ekonomi

Proses karbonisasi 1 Kg plastik jenis PET dengan aktivator HCl akan

menghasilkan arang aktif sekitar 217 gr [18]. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk 1 Kg bahan sampah plastik tersebut, dibutuhkan HCl 37% sebanyak 0,5L. Namun, dalam kondisi pasar tidak ada HCl yang dijual dalam satuan 0,5L, melainkan dijual dalam satuan 2,5L. Untuk ini dengan penggunaan 2,5L HCl 37%, akan menggunakan basis sampah plastik PET dan LDPE sebanyak 5Kg sehingga menghasilkan sekitar 1 Kg karbon aktif. Perhitungan ekonomi dari rancangan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Ekonomi

Bahan	Harga	Satuan	Jumlah Kebutuhan	Harga Beli
HCl 37% [19]	1,500,000.00	/2.5L	2.5L	1,500,000.00
Aquadest [20]	80,000.00	/20L	7.5L	80,000.00
Plastik PET dan LDPE	6,000.00	/3Kg	5 Kg	10,000.00
Total Biaya				1,590,000.00

Dengan penggunaan aktivator HCl, dibutuhkan biaya total sebesar Rp1.590.000. Hal ini dikategorikan sangat ekonomis jika dibandingkan dengan penggunaan aktivator lainnya seperti KOH, ZnCL₂, ataupun H₃PO₄ yang pada umumnya digunakan dalam proses aktivasi. Penggunaan HCl diperkirakan lebih ekonomis 32,91% dikarenakan harga pasaran jenis aktivator lain yang tergolong mahal dan kurang tepat digunakan dalam pengolahan limbah, yang sebisa mungkin menggunakan biaya yang lebih ekonomis.

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penulisan karya ilmiah ini adalah:

1. Karbon aktif yang dibuat dari bahan limbah plastik PET dan LDPE pada dasarnya melalui empat tahap pembuatan dan terakhir ada tahap pengujian. Tahap pembuatan meliputi preparasi, proses plastik menjadi potongan yang kecil, proses karbonisasi pada suhu 400°C selama 2 jam, proses aktivasi, serta proses aktivasi dengan aktivator HCl 3M selama 2 jam.
2. Efektivitas karbon aktif dari bahan dasar PET dan LDPE ditunjukkan oleh poin berikut:

Efektivitas penurunan COD = 84,45%

Efektivitas penurunan BOD = 48,04%

Efektivitas penurunan TSS = 69,02%

3. Karbon aktif yang dibuat dari kombinasi PET dan LDPE dengan aktivator HCl dikategorikan telah lulus uji kelayakan mutu berdasarkan SNI. 06-3730- 1995 dengan kadar *fixed carbon* sebesar 68,54%. Pemilihan aktivator HCl dikarenakan *production cost* tergolong ekonomis dibandingkan dengan aktivator lainnya seperti KOH, ZnCl₂, dan H₃PO₄. Dengan penggunaan HCl, mampu menghemat biaya produksi sekitar 32,91% dibandingkan dengan menggunakan KOH, 54,44% dibandingkan dengan aktivator H₃PO₄, dan menghemat 86% jika dibandingkan dengan aktivator ZnCl₂.

B. Saran

Saran untuk penelitian karbon aktif dari bahan limbah plastik PET dan LDPE selanjutnya perlu diteliti lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas pengolahan limbah plastik, terkhusus jenis PET dan LDPE serta penggunaan karbon aktif dalam menurunkan tingkat pencemaran air di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] United Nation, "World Population Review," 2019. [Online]. Available: <https://worldpopulationreview.com/countries>. [Accessed 7 Juli 2022].
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Indonesia.go.id," Portal Informasi Indonesia, 23 Februari 2021. [Online]. Available: <https://www.indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/2533>. [Accessed 7 Juli 2022].
- [3] D. Novanyanti, "Dampak Limbah Pabrik Gula Madukismo Terhadap Kualitas Air Sungai Bedog di Bantul Yogyakarta," 2014.
- [4] C. Smeaton, "Augmentation of Global Marine Sedimentary Carbon Storage in the Age of Plastic," *Limnology and Oceanography Letters*, vol. 6, pp. 113-118, 2021.
- [5] A. B. Saragih, "Skrining Bakteri Pelarut Fosfat Adaptif Vinasse Dari Lahan Tebu Pabrik Gula Jatiroto Kabupaten Lumajang Jawa Timur," 30 November 2013. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/>. [Accessed 17 Juli 2022].
- [6] G. d. S. S. S. Alaerts, *Metode Penelitian Air*, Surabaya: Usaha Nasional, 1984.
- [7] N. P. Sari, "Analisa Daya Adsorpsi Logam Berat Fe²⁺ (Besi) Dengan Menggunakan Karbon Aktif Batubara," 14 Januari 2015. [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/133792>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [8] M. Riadi, "Karbon Aktif," *Kajian Pustaka*, 15 September 2017. [Online]. Available: <https://www.kajianpustaka.com/>. [Accessed 6 Juli 2022].
- [9] d. Sembiring, *Arang Aktif (Pengenal dan Proses Pembuatan)*, www.Library.ac.id., 2003.

- [10] N. Amalia, "Efektivitas Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa (*Cocos Nucifera L.*) Dengan Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) Sebagai Adsorben Yang Diaplikasikan Dalam Pemurnian Minyak Atsiri (*Pathcoli Oil*)," 2021. [Online]. Available: <https://123dok.com/>. [Accessed 6 Juli 2022].
- [11] R. d. Y. Poppy Indrawan, *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Campuran Untuk Manajemen, dan Pendidikan*, Bandung: Refika Aditama, 2017.
- [12] L. U. Khasanah, "Metode Analisis Kuantitatif, Kenali Analisis Korelasi," DQ Lab, 13 September 2021. [Online]. Available: <https://www.dqlab.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- G. Thabroni, "Metode Penelitian Kuantitatif: Pengertian, Karakteristik, dan Jenis," Serupa.id, 10 Februari 2021. [Online]. Available: <https://serupa.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [13] Syafnidawaty, "Literature Review," Universitas Raharja, 13 Oktober 2020. [Online]. Available: <https://raharja.ac.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [14] S. Masrurroh, "Pengaruh Aseesmen Kelas Terhadap Efektivitas Pembelajaran PAI di Kelas VIII A SMP Muhammadiyah 4 Gadung Surabaya," 2013. [Online]. Available: <http://digilib.uinsby.ac.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [15] M. M. Jainuri, "Analisis Data Komparatif (T-Tes)," 2015. [Online]. Available: <http://pspmat.stkipypmbangko.ac.id>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [16] Menteri Kesehatan, "Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum," 2017. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/>. [Accessed 6 Juli 2022].
- [17] Y. T. Pelita, "Pemanfaatan Produk Char Hasil Pirolisis Dari Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Karbon Aktif," Februari 2021. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/>. [Accessed 7 Juli 2022].
- [18] CV Karya Chemical , "HCl 37% MERCK," Chemical Lab. [Online]. [Accessed Juli 2022].
- [19] Multi Kimia, Tokopedia, "Aquadest/ Distilled Water 20L," Kimia Cair Liquid. [Online]. [Accessed Juli 2022].
- [20] D. K. d. B. K. Dian Alice Widara, "Pengaruh Takaran Vinasse dan Posisi Penanaman Mata Tunas Tunggal terhadap Pertumbuhan Bibit Tebu (*Saccharum officinarum L.*)," *Vegetalika*, vol. 4, pp. 29-36, 2015.
- [21] L. U. K. d. E. W. Anugrah Rizki Permata Sari, "Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Utilissima*) dengan Variasi Jenis Aktivator," *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, vol. VII, p. 73, 2014.
- [22] D. A. Prativi, "Hubungan DO (Dissolve Oxygen) Dan COD (Chemical Oxygen Demand) Terhadap Kadar Fe²⁺ Dan Fe Total Dalam Air Sumur Gali," 2015. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [23] F. Nicola, "Hubungan Antara Konduktivitas, TDS (Total Dissolve Solid), Dan TSS (Total Suspended Solid) Dengan Kadar Fe²⁺ Dan Fe Total Pada Air Sumur Gali," 2015. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].

- [24] D. Paramita, "Korelasi Cemaran Logam Berat (Cd, Cu, Mn, Pb, Zn) terhadap Nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) Pada Air Sungai di Wilayah DKI Jakarta," 2021. [Online]. Available: <https://ereport.ipb.ac.id/>. [Accessed 10 Juli 2022].
- [25] P. A. E. R. d. F. R. Ariyani, "Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan Suhu," *Jurnal Konversi*, vol. 6, pp. 7-11, 2017.
- [26] e. a. Era Bachrudin Tri Wibowo, "Pemanfaatan Eceng Gondok Sebagai Adsorben dengan Perlakuan Awal untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Cu," *Jurnal of Chemical and Process Engineer*, vol. 2, pp. 7-12, 2021.
- [27] Toko Laboratorium, "Potassium Hydroxide Pellets 500gr MERCK," *Chemical Reagent MERCK*. [Online]. [Accessed Juli 2022].
- [28] Gio Lab Shop, Tokopedia, "MERCK 1.08816.1000 Zinc Chloride cap 1 kg for analysis," [Online]. [Accessed Juli 2022].
- [29] Rofa laboratorium, Tokopedia, "Asam Fosfat/Phosporic Acid Pro Analisis MERCK 1000mL," *Bahan Kimia Pudah*. [Online]. [Accessed Juli 2022].