

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil dari tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larutan HCL lebih efektif dibandingkan NaOH dalam mendesorpsi ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) dari karbon aktif. Efektivitas HCL disebabkan oleh tingginya afinitas elektron ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  terhadap gugus fungsional permukaan karbon aktif, yang memungkinkan terjadinya protonasi dan pembentukan kompleks  $\text{CuCl}_2$  sehingga ion  $\text{Cu}^{2+}$  mudah terlepas. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi HCL 0,25 M dan waktu kontak 90 menit dengan nilai desorpsi tertinggi sebesar 49,9% atau 77,94 mg/L. Sebaliknya, larutan NaOH memiliki afinitas elektron lebih rendah, sehingga proses yang dominan adalah pembentukan endapan  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , bukan pelepasan ion ke dalam larutan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi afinitas elektron suatu larutan terhadap gugus fungsional adsorben, semakin besar pula kemampuan desorpsinya, dan HCL menjadi agen pendesorpsi yang lebih efektif dibandingkan NaOH.
2. Berdasarkan hasil analisis SEM dan EDX, proses desorpsi berpengaruh nyata terhadap struktur morfologi karbon aktif. Desorpsi menggunakan larutan HCL 0,25 M menghasilkan permukaan yang lebih bersih dan pori-pori terbuka, dengan komposisi unsur C sebesar 70,57%, O sebesar 28,85%, dan Cu tersisa hanya 0,36%. Analisis ini menyatakan bahwa sebagian besar ion  $\text{Cu}^{2+}$  telah terlepas dari permukaan adsorben. Sebaliknya, desorpsi menggunakan larutan NaOH 0,25 M menghasilkan permukaan yang lebih kasar dan sebagian pori tertutup residu, dengan kandungan C sebesar 68,03%, O sebesar 25,48%, dan Cu masih tinggi yakni 6,49%. Kondisi ini menandakan bahwa efektivitas desorpsi NaOH lebih rendah dibandingkan HCL. Dengan demikian, larutan asam lebih mampu meregenerasi adsorben dan memperbaiki morfologi permukaan karbon aktif dibandingkan larutan basa.

3. Larutan HCL lebih efektif digunakan sebagai pendesorpsi dibandingkan NaOH. Hal ini terlihat dari persentase adsorpsi berulang yang lebih tinggi pada adsorben hasil desorpsi HCL, yaitu mencapai 90,2% pada adsorpsi kedua, sedangkan NaOH hanya 35,2%. Efektivitas HCL ini didukung oleh hasil analisis EDX yang menunjukkan kandungan Cu tersisa hanya 0,36 at%, jauh lebih rendah dibandingkan pada NaOH sebesar 6,49 at%, yang menandakan proses pelepasan ion logam oleh HCL berlangsung lebih optimal. Meskipun demikian, penggunaan HCL secara berulang perlu dikontrol karena sifatnya yang asam kuat dapat menyebabkan pengikisan struktur pori dan penurunan stabilitas adsorben jika digunakan terlalu sering. Sebaliknya, NaOH cenderung lebih aman terhadap struktur karbon aktif namun kurang efektif dalam melepaskan ion logam. Dengan demikian, HCL lebih direkomendasikan untuk desorpsi dengan kebutuhan efisiensi tinggi, sementara NaOH dapat digunakan jika mempertimbangkan ketahanan adsorben dalam jangka panjang.
4. Limbah cair hasil desorpsi HCL lebih mudah dinetralisasi, dengan kebutuhan volume basa relatif rendah yaitu 11,7–60,5 mL pada konsentrasi 0,05–0,25 M. Sebaliknya, limbah hasil desorpsi NaOH membutuhkan volume asam yang jauh lebih besar, bahkan bisa melebihi 100 mL pada konsentrasi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun HCL menghasilkan limbah asam, proses penetralannya lebih efisien, sedangkan NaOH cenderung menghasilkan limbah basa yang sulit dinetralisasi dan memerlukan pengendalian lebih ketat. Dengan demikian, dari sisi pengolahan limbah cair, penggunaan HCL lebih efektif dibandingkan NaOH.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran saran yang dapat diajukan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa larutan pendesorpsi asam memberikan efektivitas desorpsi yang lebih tinggi dibandingkan basa, disarankan agar penelitian selanjutnya memprioritaskan penggunaan larutan asam sebagai agen regenerasi adsorben. Pemilihan jenis dan konsentrasi asam

yang tepat perlu dioptimalkan untuk memperoleh efisiensi desorpsi yang maksimal tanpa merusak struktur morfologi adsorben

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan variasi kecepatan pengadukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap efektivitas desorpsi adsorben karbon aktif
3. Masih perlu kajian lebih lanjut mengenai berapa kali adsorben dapat digunakan ulang secara efektif setelah proses adsorpsi–desorpsi, agar pemanfaatannya lebih efisien.
4. Penting dilakukan pengolahan lanjutan pada limbah cair hasil desorpsi, termasuk uji toksisitas dan uji kesesuaian dengan baku mutu lingkungan, sebelum dibuang ke perairan.