



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI KEMAMPUAN ADSORPSI PADA EFLUEN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
INDUSTRI PERTAMBANGAN IODIUM DI KAB.
JOMBANG MENGGUNAKAN ARANG BATOK
KELAPA**

FAIZAL SHAH ALAM
3312100021

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**UJI KEMAMPUAN ADSORPSI PADA EFLUEN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
INDUSTRI PERTAMBANGAN IODIUM DI KAB.
JOMBANG MENGGUNAKAN ARANG BATOK
KELAPA**

**FAIZAL SHAH ALAM
3312100021**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RE 141581

**ADSORPTION CAPACITY TEST OF EFFLUENT
WASTER WATER TREATMENT PLANT (WWTP)
IODINE MINING INDUSTRY IN JOMBANG
REGENCY USING CHARCOAL COCONUT SHELL**

**FAIZAL SHAH ALAM
3312100021**

**SUPERVISOR
Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**UJI KEMAMPUAN ADSORPSI PADA EFLUEN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
INDUSTRI PERTAMBANGAN IODIUM DI KAB.
JOMBANG MENGGUNAKAN ARANG BATOK KELAPA**

TUGAS AKHIR

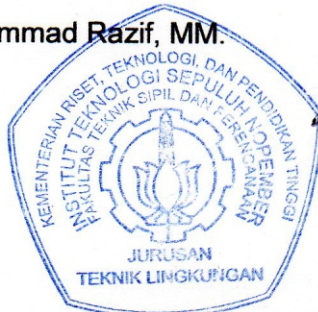
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Faizal Shah Alam
NRP. 3312100021

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.



Surabaya
Januari 2017

UJI KEMAMPUAN ADSORPSI PADA EFLUEN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) INDUSTRI PERTAMBANGAN IODIUM DI KAB. JOMBANG MENGGUNAKAN ARANG BATOK KELAPA

Nama Mahasiswa : Faizal Shah Alam
NRP : 3312100021
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

ABSTRAK

Dalam proses produksi industri pertambangan iodium, dihasilkan limbah cair yang dibuang ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Dalam setahun terakhir, terdapat ganggang pada air limbah industri pertambangan iodium. Adanya ganggang merupakan indikasi bahwa zat pencemar pada air limbah belum tereduksi dengan baik sehingga tidak aman apabila dibuang langsung ke lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk mereduksi zat pencemar yang efisien dan inovatif. Salah satunya yaitu adsorpsi menggunakan arang batok kelapa.

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan nilai efisiensi removal adsorben arang batok kelapa pada parameter warna, PV, COD, dan BOD, beserta masing-masing nilai adsorpsi isotermisnya menggunakan analisis *jarrest* secara *batch*, dan menentukan nilai konstanta kinetika dan kapasitas adsorben arang batok kelapa pada parameter warna, PV, COD, dan BOD menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor* secara *continue*.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu warna, PV, COD, BOD, beserta nilai adsorpsi isotermis, kinetika adsorpsi, dan kapasitas adsorben pada setiap parameter. Sistem adsorpsi yang digunakan adalah sistem *batch* dan *continue*. Variasi penelitian yang digunakan yaitu konsentrasi air limbah (100%, 75%, dan 50%), ukuran butiran adsorben (mesh 8, 10, dan 12), dan massa butiran adsorben (12,5 gr, 25 gr, dan 50 gr), serta ketinggian adsorben pada kolom adsorpsi (5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm).

Hasil penelitian pada analisis adsorpsi secara *batch* didapat bahwa efisiensi *removal* warna, PV, COD, dan BOD menggunakan arang batok kelapa masing-masing sebesar 0 – 52 %, 1,3 – 27,69 %, 28,13 – 53,13 %, dan 7,41 – 35,19 % dengan nilai kinetika adsorpsinya masing-masing sebesar $23 - 43 \times 10^{-6}$ mg warna / mg adsorben, $(1 - 4) \times 10^{-4}$ mg PV / mg adsorben, $(1 - 9) \times 10^{-4}$ mg COD / mg adsorben, dan $(75 - 83) \times 10^{-6}$ mg BOD / mg adsorben. Konsentrasi air limbah, ukuran butiran adsorben, dan massa adsorben optimum dari sistem *batch* adalah 50%, diameter mesh 12, dan 12,5 gr/L. Hasil penelitian pada analisis adsorpsi secara *continue* didapat bahwa nilai kinetika adsorpsi pada parameter Warna, PV, COD, dan BOD masing-masing sebesar -0,016 – 0,005 L/mg.jam, -5,49 – 9,41 L/mg.jam, 0,31 – 3,35 L/mg.jam, dan 0,16 – 0,98 L/mg.jam. Sedangkan, nilai kapasitas adsorbennya masing-masing sebesar -0,003 – 0,005 mg warna / mg adsorben, $[-953 - (-4)] \times 10^{-6}$ mg PV / mg adsorben, $[-23 - (-1)] \times 10^{-5}$ mg COD / mg adsorben, dan $[-39 - (-4)] \times 10^{-5}$ mg BOD / mg adsorben

Kata kunci: Adsorpsi, Air Efluen IPAL Industri Pertambangan Iodium, Arang Batok Kelapa, Isoterm, Karbon Aktif

ADSORPTION CAPACITY TEST OF EFFLUENT WASTE WATER TREATMENT PLANT (WWTP) IODINE MINING INDUSTRY IN JOMBANG REGENCY USING CHARCOAL COCONUT SHELL

Name of Student : Faizal Shah Alam
NRP : 3312100021
Study Programme : Teknik Lingkungan
Supervisor : Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

ABSTRACT

In the production process of the mining industry iodine, liquid waste is discharged into the Waste Water Treatment Plant (WWTP). In the past year, there is algae in the mining industry waste water iodine. The presence of algae is an indication that the contaminants in the waste water has not been reduced properly so insecure when discharged directly into the environment. Therefore, we need a method to reduce pollutants efficient and innovative. One of them is the use of charcoal adsorption.

The purpose of this study is to determine the value of the removal efficiency of the adsorbent charcoal in color parameters, PV, COD and BOD, and their respective values adsorption isothermisnya using analysis jarrest batch, and determine the value of the constant kinetics and capacity adsorbent charcoal on parameters color, PV, COD and BOD using a down flow fixed bed reactor a continuously adsorption column.

The parameters used in this study is the color, PV, COD, BOD, showing the adsorption isotherm, adsorption kinetics, and the capacity of the adsorbent for each parameter. Adsorption system used is a batch system and continue. Variations of research used is the concentration of waste water (100%, 75% and 50%), grain size adsorbent (mesh 8, 10, and 12), and the mass of adsorbent granules (12.5 g, 25 g and 50 g) , and the height of the adsorbent in the adsorption column (5 cm, 7.5 cm, and 10 cm).

Results of research on batch adsorption analysis found that the removal efficiency of color, PV, COD and BOD use of charcoal each by 0-52%, 1.3 to 27.69%, from 28.13 to 53.13%, and 7.41 to 35.19% with the value of each adsorption kinetics is $23-43 \times 10^{-6}$ mg color / mg adsorbent, $(1-4) \times 10^{-4}$ mg PV / mg adsorbent, $(1-9) \times 10^{-4}$ mg COD / mg adsorbent, and $(75-83) \times 10^{-6}$ mg BOD / mg adsorbent. Concentration of waste water, the grain size of the adsorbent, and the optimum adsorbent mass of a batch system is 50%, the diameter of the mesh 12, and 12.5 g / L. The results of research on a continuously adsorption analysis found that the adsorption kinetics parameter value Color, PV, COD and BOD respectively -0.016 - 0.005 L / mg. hour, -5.49 - 9.41 L / mg.hour, 0.31 to 3.35 L / mg.jam, and 0.16 to 0.98 L / mg.hour. Meanwhile, the value of the capacity of adsorbent respectively -0.003 – 0.005 mg color / mg of adsorbent, $[-953 - (-4)] \times 10^{-6}$ mg PV / mg of adsorbent, $[-23 - (-1)] \times 10^{-5}$ mg COD / mg adsorbent, and $[-39 - (-4)] \times 10^{-5}$ mg BOD / mg adsorbent.

Keyword(s): Activated Carbon, Adsorption, Charcoal Coconut, Effluent of Waste Water Treatment Plant of Iodine Mining Industrial, Isotherm

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Uji Kemampuan Adsorpsi Pada Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pertambangan Iodium di Kabupaten Jombang Menggunakan Arang Batok Kelapa” ini dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini khususnya:

1. Dr. Ir. M. Razif, MM., sebagai dosen pembimbing dan dosen wali yang telah banyak memberikan dorongan, perhatian, bimbingan, dan pengarahan dalam penyusunan Laporan ini.
2. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, Dipl. SE., M.Sc., Ir. Mas Agus Mardyanto, ME., Ph.D, dan Dr. Eng. Arie Dipareza Syafe'i, ST., MEPM. sebagai dosen penguji atas saran dan nasihat dalam penyusunan Laporan ini.
3. Industri Pertambangan Iodium di Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia, atas kesediaannya sebagai objek penelitian dan bantuan tenaganya.
4. Orang tua penulis, adik penulis, beserta Keluarga Besar Tri Harjono, Keluarga Besar Mas Atmosoegondo, dan Keluarga Besar H. R. Abdoessoekoer atas pemberian doa dan semangatnya.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini memiliki kekurangan sehingga dibutuhkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini memberikan manfaat dan inspirasi untuk perkembangan pengolahan limbah khususnya limbah industri pertambangan iodium serta menunjang perkembangan ilmu pengolahan air limbah

Surabaya, 23 Januari 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Ruang Lingkup | 3 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Air Limbah | 5 |
| 2.2 Adsorpsi | 8 |
| 2.2.1 Definisi | 8 |
| 2.2.2 Kinetika adsorpsi | 9 |
| 2.2.3 Faktor yang mempengaruhi adsorpsi fisik | 10 |
| 2.2.4 Isoterm Adsorpsi | 11 |
| 2.3 Karbon Aktif | 15 |
| 2.3.1 Penyisihan Bau, Rasa, dan Warna | 17 |
| 2.3.2 Penyisihan Bahan Organik | 17 |
| 2.3.3 Arang Batok Kelapa sebagai Adsorben | 18 |
| 2.4 Proses Penelitian Adsorpsi | 19 |
| 2.4.1 Adsorpsi secara <i>batch</i> | 19 |
| 2.4.2 Adsorpsi secara <i>continue</i> | 20 |
| 2.4.2.1 Pendekatan Hutchins | 22 |
| 2.4.2.2 Pendekatan Bohart – Adams | 23 |
| 2.4.2.3 Pendekatan kinetik | 24 |
| 2.5 Parameter yang diujikan | 24 |
| 2.5.1 Warna | 24 |
| 2.5.2 Permanganate Value (PV) | 25 |
| 2.5.3 Chemical Oxygen Demand (COD) | 26 |
| 2.5.4 Biological Oxygen Demand (BOD) | 27 |
| 2.6 Penelitian Terdahulu | 28 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 31 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1 | Umum..... | 31 |
| 3.2 | Variabel Penelitian | 31 |
| 3.3 | Alat dan Bahan | 32 |
| 3.3.1 | Alat Penelitian | 32 |
| 3.3.2 | Bahan Penelitian..... | 32 |
| 3.4 | Diagram Alir Penelitian | 33 |
| 3.5 | Prosedur Penelitian..... | 33 |
| 3.5.1 | Analisis karakteristik air limbah industri pertambangan iodium | 33 |
| 3.5.2 | Uji Ketahanan Fisik dan Densitas Arang Batok Kelapa..... | 33 |
| 3.5.3 | Percobaan pendahuluan..... | 36 |
| 3.5.4 | Analisis adsorpsi dengan sistem <i>batch</i> | 37 |
| 3.5.5 | Analisis adsorpsi dengan sistem <i>continue</i> | 39 |
| 3.6 | Analisis Parameter..... | 40 |
| 3.6.1. | Warna..... | 40 |
| 3.6.1.1. | Penentuan panjang gelombang..... | 40 |
| 3.6.1.2. | Pembuatan kurva kalibrasi | 41 |
| 3.6.1.3. | Penentuan nilai konsentrasi warna..... | 41 |
| 3.6.2. | Permanganat Value (PV)..... | 42 |
| 3.6.3. | Chemical Oxygen Demand (COD) | 42 |
| 3.6.4. | Biological Oxygen Demand (BOD) | 43 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 47 |
| 4.1. | Uji Pendahuluan..... | 47 |
| 4.1.1. | Uji densitas dan ketahanan fisik arang batok kelapa | 47 |
| 4.1.2. | Kalibrasi warna | 48 |
| 4.1.3. | Analisis karakteristik air limbah..... | 48 |
| 4.1.4. | Penentuan massa adsorben | 52 |
| 4.1.5. | Penentuan waktu pengadukan | 53 |
| 4.1.6. | Penentuan kecepatan pengadukan | 53 |
| 4.2. | Analisis Adsorpsi dengan Sistem <i>Batch</i> | 54 |
| 4.3. | Adsorpsi Isothermis pada Parameter Warna..... | 58 |
| 4.3.1. | Isoterm Freundlich | 58 |
| 4.3.2. | Isoterm Langmuir | 61 |
| 4.3.3. | Isoterm BET | 64 |

| | | |
|----------------------------------|---|-----|
| 4.3.4. | Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi | 67 |
| 4.4. | Adsorpsi Isothermis pada Parameter PV | 69 |
| 4.4.1. | Isoterm Freundlich | 69 |
| 4.4.2. | Isoterm Langmuir | 72 |
| 4.4.3. | Isoterm BET | 75 |
| 4.4.4. | Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi | 78 |
| 4.5. | Adsorpsi Isothermis pada Parameter COD | 80 |
| 4.5.1. | Isoterm Freundlich | 80 |
| 4.5.2. | Isoterm <i>Langmuir</i> | 84 |
| 4.5.3. | Isoterm BET | 87 |
| 4.5.4. | Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi | 90 |
| 4.6. | Adsorpsi Isothermis pada Parameter BOD | 93 |
| 4.6.1. | Isoterm Freundlich | 93 |
| 4.6.2. | Isoterm Langmuir | 97 |
| 4.6.3. | Isoterm BET | 100 |
| 4.6.4. | Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi | 103 |
| 4.7. | Analisis Adsorpsi dengan Sistem <i>Continue</i> | 104 |
| 4.7.1. | Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi <i>removal</i> warna | 106 |
| 4.7.2. | Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi <i>removal</i> PV | 107 |
| 4.7.3. | Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi <i>removal</i> COD | 109 |
| 4.7.4. | Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi <i>removal</i> BOD | 110 |
| 4.8. | Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media | 112 |
| 4.8.1. | Parameter Warna | 112 |
| 4.8.2. | Parameter PV | 120 |
| 4.8.3. | Parameter COD | 125 |
| 4.8.4. | Parameter BOD | 131 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 139 |

| | | |
|------|---------------------|-----|
| 5.1. | Kesimpulan | 139 |
| 5.2. | Saran..... | 140 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 141 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Mekanisme Adsorpsi Mikropori | 9 |
| Gambar 2.2. Kurva Isoterm Freundlich | 13 |
| Gambar 2.3. Kurva Isoterm Langmuir | 14 |
| Gambar 2.4. Kurva Isoterm BET | 15 |
| Gambar 2.5. Sistem Adsorpsi <i>fixed-bed</i> dan detail butiran karbon aktif | 17 |
| Gambar 2.6. Kurva Isoterm | 19 |
| Gambar 2.7. <i>Fixed Bed Column</i> serta Konsentrasi Fase Padat dan Cair | 21 |
| Gambar 2.8. Kurva Tipikal <i>Breakthrough</i> | 21 |
| Gambar 2.9. Grafik Pendekatan Hutchins..... | 22 |
| Gambar 2.10. Grafik Pendekatan Bohart – Adams..... | 23 |
| Gambar 2.11. Grafik Pendekatan Kinetik..... | 25 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian..... | 34 |
| Gambar 3.2. Skema Percobaan Pada Sistem Adsorpsi Secara <i>Batch</i> | 38 |
| Gambar 3.3. Skema Percobaan Pada Sistem Adsorpsi Secara <i>Continue</i> | 40 |
| Gambar 4.1. Kurva Kalibrasi Warna..... | 48 |
| Gambar 4.2. Hasil Kalibrasi Warna dengan Panjang Gelombang 464 nm | 49 |
| Gambar 4.3. Hasil Analisis Adsorpsi Secara <i>Batch</i> pada Parameter Warna | 54 |
| Gambar 4.4. Hasil Analisis Adsorpsi Secara <i>Batch</i> pada Parameter PV | 56 |
| Gambar 4.5. Hasil Analisis Adsorpsi Secara <i>Batch</i> pada Parameter COD..... | 56 |
| Gambar 4.6. Hasil Analisis Adsorpsi Secara <i>Batch</i> pada Parameter BOD | 57 |
| Gambar 4.7. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 60 |
| Gambar 4.8. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 61 |
| Gambar 4.9. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 61 |
| Gambar 4.10. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 63 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.11. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 64 |
| Gambar 4.12. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 64 |
| Gambar 4.13. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 66 |
| Gambar 4.14. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 67 |
| Gambar 4.15. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 67 |
| Gambar 4.16. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 71 |
| Gambar 4.17. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 72 |
| Gambar 4.18. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 72 |
| Gambar 4.19. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 74 |
| Gambar 4.20. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 75 |
| Gambar 4.21. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 75 |
| Gambar 4.22. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 77 |
| Gambar 4.23. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 78 |
| Gambar 4.24. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 78 |
| Gambar 4.25. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 82 |
| Gambar 4.26. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 83 |
| Gambar 4.27. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 83 |
| Gambar 4.28. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 86 |
| Gambar 4.29. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 86 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.30. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 87 |
| Gambar 4.31. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 89 |
| Gambar 4.32. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 89 |
| Gambar 4.33. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 90 |
| Gambar 4.34. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 95 |
| Gambar 4.35. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 96 |
| Gambar 4.36. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 96 |
| Gambar 4.37. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 99 |
| Gambar 4.38. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 99 |
| Gambar 4.39. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 100 |
| Gambar 4.40. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8 | 102 |
| Gambar 4.41. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10 | 102 |
| Gambar 4.42. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12 | 103 |
| Gambar 4.43. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Warna dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi | 106 |
| Gambar 4.44. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Warna dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi | 106 |
| Gambar 4.45. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> Warna dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi | 107 |
| Gambar 4.46. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> PV dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi | 107 |
| Gambar 4.47. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> PV dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi | 108 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.48. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> PV dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi | 108 |
| Gambar 4.49. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> COD dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi | 109 |
| Gambar 4.50. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> COD dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi | 109 |
| Gambar 4.51. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> COD dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi | 110 |
| Gambar 4.52. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> BOD dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi | 110 |
| Gambar 4.53. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> BOD dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi | 111 |
| Gambar 4.54. Grafik Efisiensi <i>Removal</i> BOD dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi | 111 |
| Gambar 4.55. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsoben 5 cm..... | 113 |
| Gambar 4.56. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm..... | 113 |
| Gambar 4.57. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsoben 10 cm..... | 118 |
| Gambar 4.58. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter Warna | 119 |
| Gambar 4.59. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter PV dengan Tinggi Adsoben 5 cm..... | 123 |
| Gambar 4.60. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter PV dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm..... | 123 |
| Gambar 4.61. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter PV dengan Tinggi Adsoben 10 cm..... | 124 |
| Gambar 4.62. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter PV | 125 |
| Gambar 4.63. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsoben 5 cm..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.64. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm..... | 129 |
| Gambar 4.65. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsoben 10 cm..... | 130 |
| Gambar 4.66. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter COD..... | 131 |
| Gambar 4.67. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsoben 5 cm..... | 134 |
| Gambar 4.68. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm..... | 135 |
| Gambar 4.69. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsoben 10 cm..... | 135 |
| Gambar 4.70. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter BOD | 137 |
| Gambar L1.1. Arang Batok Kelapa Sebelum Ditumbuk dan Diayak | 155 |
| Gambar L1.2. Arang Batok Kelapa Setelah Ditumbuk dan Diayak | 155 |
| Gambar L1.3. Penimbangan Berat Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa..... | 155 |
| Gambar L1.4. Penambahan Larutan HCl 20% dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa..... | 155 |
| Gambar L1.5. Perendaman Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa..... | 156 |
| Gambar L1.6. Pengovenan Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa..... | 156 |
| Gambar L1.7. Pengujian Densitas Arang Batok Kelapa Menggunakan Metode <i>True Bulk Density</i> | 156 |
| Gambar L1.8. Arang Batok Kelapa Setelah Diaktivasi Menggunakan Larutan HCl 20% dan dicuci menggunakan Larutan Aquades Serta Ditiriskan | 156 |

| | |
|---|-----|
| Gambar L1.9. Pengeringan Arang Batok Kelapa Menggunakan Oven Setelah Diaktivasi dan Dicuci Serta Ditiriskan..... | 157 |
| Gambar L1.10. Penyimpanan Arang Batok Kelapa Setelah Pengeringan Menggunakan Oven | 157 |
| Gambar L1.11. Kondisi Eksisting Air Limbah di IPAL Industri Pertambangan Iodium..... | 157 |
| Gambar L1.12. Pengambilan Sampel Air <i>Effluent</i> pada IPAL Industri Pertambangan Iodium..... | 157 |
| Gambar L1.13. Penimbangan Adsorben 25 gram untuk Analisis Adsorpsi Sistem <i>Batch</i> Menggunakan <i>Jartest</i> | 158 |
| Gambar L1.14. Penimbangan Adsorben 50 gram untuk Analisis Adsorpsi Sistem <i>Batch</i> Menggunakan <i>Jartest</i> | 158 |
| Gambar L1.15. Analisis Adsorpsi Sistem <i>Batch</i> Menggunakan <i>Jartest</i> | 158 |
| Gambar L1.16. Analisis <i>Permanganat Value</i> pada Sampel Air Limbah | 158 |
| Gambar L1.17. Fixed Bed Adsorption Column Reactor | 159 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Karakteristik Awal Air Limbah Industri Pertambangan Iodium | 5 |
| Tabel 2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Pertambangan Iodium Setelah Melewati Instalasi Pengolahan Air Limbah | 6 |
| Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Industri Farmasi | 7 |
| Tabel 2.4. Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Adsorpsi Kimia | 8 |
| Tabel 4.1. Hasil Analisis Densitas Media dengan Metode <i>Apparent Density</i> dan <i>True Bulk Density</i> | 47 |
| Tabel 4.2. Hasil Analisis Uji Ketahanan Fisik Media | 47 |
| Tabel 4.3. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Oktober 2015..... | 49 |
| Tabel 4.4. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan November 2015..... | 50 |
| Tabel 4.5. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Desember 2015..... | 50 |
| Tabel 4.6. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Januari 2016..... | 50 |
| Tabel 4.7. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Februari 2016..... | 50 |
| Tabel 4.8. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Maret 2016 | 51 |
| Tabel 4.9. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan April 2015 | 51 |
| Tabel 4.10. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Mei 2015..... | 51 |
| Tabel 4.11. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Juni 2015..... | 51 |
| Tabel 4.12. Hasil Analisis <i>Outlet</i> IPAL Industri Pertambangan Iodium tanggal 14 Maret 2016 | 52 |
| Tabel 4.13. Hasil Analisis Variasi Massa Adsorben Menggunakan <i>Jartest</i> | 53 |
| Tabel 4.14. Hasil Analisis Variasi Waktu Pengadukan Menggunakan <i>Jartest</i> | 53 |
| Tabel 4.15. Hasil Analisis Variasi Kecepatan Pengadukan Menggunakan <i>Jartest</i> | 54 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabel 4.16. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 57 |
| Tabel 4.17. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 57 |
| Tabel 4.18. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 57 |
| Tabel 4.19. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 60 |
| Tabel 4.20. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 60 |
| Tabel 4.21. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 60 |
| Tabel 4.22. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 63 |
| Tabel 4.23. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 63 |
| Tabel 4.24. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 63 |
| Tabel 4.25. | Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter Warna..... | 66 |
| Tabel 4.26. | Nilai x/m menggunakan Isoterm Langmuir pada Parameter Warna..... | 66 |
| Tabel 4.27. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 68 |
| Tabel 4.28. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 68 |
| Tabel 4.29. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 68 |
| Tabel 4.30. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 71 |
| Tabel 4.31. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 71 |
| Tabel 4.32. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 71 |
| Tabel 4.33. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 74 |
| Tabel 4.34. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 74 |
| Tabel 4.35. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | Berdiameter Mesh 12..... | 74 |
| Tabel 4.36. | Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter PV..... | 77 |
| Tabel 4.37. | Nilai x/m menggunakan Isoterm Freundlich pada Parameter PV..... | 77 |
| Tabel 4.38. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 79 |
| Tabel 4.39. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 79 |
| Tabel 4.40. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 79 |
| Tabel 4.41. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 83 |
| Tabel 4.42. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 83 |
| Tabel 4.43. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 83 |
| Tabel 4.44. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 86 |
| Tabel 4.45. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 86 |
| Tabel 4.46. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 86 |
| Tabel 4.47. | Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter COD..... | 89 |
| Tabel 4.48. | Nilai x/m menggunakan Isoterm Freundlich pada Parameter COD..... | 89 |
| Tabel 4.49. | Nilai x/m menggunakan Isoterm Langmuir pada Parameter COD..... | 90 |
| Tabel 4.50. | Nilai x/m menggunakan Isoterm BET pada Parameter COD..... | 90 |
| Tabel 4.51. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 92 |
| Tabel 4.52. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 92 |
| Tabel 4.53. | Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 92 |
| Tabel 4.54. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 96 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabel 4.55. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 96 |
| Tabel 4.56. | Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 96 |
| Tabel 4.57. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8..... | 99 |
| Tabel 4.58. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10..... | 99 |
| Tabel 4.59. | Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12..... | 99 |
| Tabel 4.60. | Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter BOD..... | 102 |
| Tabel 4.61. | Nilai x/m menggunakan Isoterm Langmuir pada Parameter BOD..... | 103 |
| Tabel 4.62. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm..... | 112 |
| Tabel 4.63. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm..... | 113 |
| Tabel 4.64. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm..... | 114 |
| Tabel 4.65. | Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter Warna... | 116 |
| Tabel 4.66. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm..... | 118 |
| Tabel 4.67. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm..... | 118 |
| Tabel 4.68. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm..... | 119 |
| Tabel 4.69. | Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter PV..... | 122 |
| Tabel 4.70. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm..... | 124 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabel 4.71. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm..... | 124 |
| Tabel 4.72. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm..... | 125 |
| Tabel 4.73. | Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter COD..... | 126 |
| Tabel 4.74. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm..... | 129 |
| Tabel 4.75. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm..... | 130 |
| Tabel 4.76. | Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm..... | 131 |
| Tabel 4.77. | Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter BOD..... | 134 |
| Tabel L.1. | Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 5 cm | 145 |
| Tabel L.2. | Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm | 145 |
| Tabel L.3. | Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 10 cm | 146 |
| Tabel L.4. | Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 5 cm | 147 |
| Tabel L.5. | Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm | 147 |
| Tabel L.6. | Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 10 cm | 148 |
| Tabel L.7. | Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 5 cm | 149 |
| Tabel L.8. | Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm | 149 |
| Tabel L.9. | Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 10 cm | 150 |
| Tabel L.10. | Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 5 cm | 151 |

| | |
|--|-----|
| Tabel L.11. Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm..... | 151 |
| Tabel L.12. Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 10 cm..... | 152 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| LAMPIRAN 1 HASIL ANALISIS ADSORPSI DENGAN SISTEM <i>CONTINUE</i> | 145 |
| LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI PENELITIAN..... | 154 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan iodium merupakan industri yang bergerak di bidang pertambangan iodium dan pengolahannya serta industri obat formulasi. Industri ini merupakan industri yang menggunakan produk hasil tambangnya menjadi produk obat jadi dan telah berlangsung sejak tahun 1994. Dalam proses produksi tersebut, dihasilkan limbah cair yang dibuang ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Setahun terakhir, di dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tersebut, terdapat ganggang pada air limbah yang diproses di dalam IPAL tersebut sehingga menyebabkan beberapa nilai parameter mendekati nilai ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014. Adanya ganggang merupakan indikasi bahwa limbah tersebut masih mengandung zat pencemar sehingga tidak aman apabila dibuang langsung ke lingkungan. Di samping itu juga, nilai rasio BOD/COD yang rendah mengindikasikan bahwa air limbah tersebut memiliki sifat toksik terhadap biota air. Apabila air olahan limbah tersebut akan dibuang ke lingkungan, maka harus aman dan tidak mengandung zat pencemar berbahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar industri tersebut.

Berbagai upaya yang dapat dilakukan untuk mereduksi zat pencemar yang terdapat pada air limbah industri tersebut adalah dengan penambahan tawas dan pemberian filter batu apung pada IPAL industri tersebut. Namun, cara tersebut kurang efektif dalam mereduksi zat pencemar. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pereduksian zat pencemar yang berskala kecil, ekonomis, efektif, dan inovatif, yaitu dengan metode adsorpsi menggunakan arang aktif. Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh suatu padatan terhadap suatu zat yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam (Atkins, 1999). Sedangkan, arang aktif dapat dibuat dengan mengaktivasi berbagai macam jenis arang, salah satunya menggunakan batok

kelapa. Apabila ditinjau keberadaannya, batok kelapa sangat mudah ditemukan. Selain keberadaannya, batok kelapa belum dimanfaatkan sepenuhnya untuk kegiatan produktif yang dapat meningkatkan nilai tambahnya sehingga berpotensi digunakan sebagai alternatif bahan baku adsorben zat pencemar. Dari metode ini, diharapkan zat pencemar dapat direduksi sehingga hasil olahan air limbah industri tersebut aman apabila akan dibuang ke lingkungan dan dapat meningkatkan nilai produksi pada industri pertambangan iodium.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan bertitik tolak pada latar belakang dan identifikasi masalah, maka dapat dirumuskan 2 masalah, yaitu:

1. Berapa nilai efisiensi removal adsorben arang batok kelapa optimum parameter warna, PV, COD, dan BOD beserta masing-masing nilai adsorpsi isotermisnya untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium pada skala laboratorium secara *batch*?
2. Berapa nilai konstanta kinetika dan kapasitas adsorben arang batok kelapa optimum parameter warna, PV, COD, dan BOD untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor* pada skala laboratorium secara *continue*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai efisiensi removal adsorben arang batok kelapa optimum parameter warna, PV, COD, dan BOD beserta masing-masing nilai adsorpsi isotermisnya untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium pada skala laboratorium secara *batch*.
2. Menentukan nilai konstanta kinetika dan kapasitas adsorben arang batok kelapa optimum parameter warna, PV, COD, dan BOD untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor* pada skala laboratorium secara *continue*.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Sampel air limbah yang digunakan adalah air limbah dari industri pertambangan iodium yang berlokasi di Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.
2. Sampel diambil di titik awal air limbah tersebut keluar dari tempat proses pengolahan iodium dan bak efluen IPAL.
3. Arang batok kelapa yang digunakan terdiri dari berbagai ukuran yang diperoleh dengan analisis ayakan.
4. Penelitian dilakukan dengan 2 metode, yaitu:
 - a. Proses *batch*, dengan variabel yang digunakan adalah:
 - Ukuran media (mesh 8, mesh 10, mesh 12)
 - Massa media (12,5 gr, 25 gr, 50 gr)
 - Konsentrasi air limbah (100 %, 75 %, 50 %)
 - b. Proses *continue* menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor* dengan variabel yang digunakan adalah ketinggian kolom adsorpsi (5 cm, 7,5 cm, 10 cm) dengan kecepatan pengalirannya sebesar 8×10^{-3} m/jam.
5. Kemampuan adsorpsi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah besarnya nilai *efficiency removal*, nilai adsorpsi isotermis, nilai kinetika adsorpsi, dan nilai kapasitas adsorben yang dihasilkan oleh arang batok kelapa pada parameter warna, *Permanganat Value* (PV), COD, dan BOD.
6. Nilai adsorpsi isotermis yang dimaksud dalam penelitian ini adalah besarnya adsorbat per besarnya adsorben yang dihasilkan dari isoterm Freundlich, isotherm Langmuir, dan isotherm BET.
7. Nilai kinetika adsorpsi dan nilai kapasitas adsorben yang dimaksud dalam penelitian ini adalah besarnya adsorbat per besarnya adsorben yang dihasilkan dari pendekatan kinetik.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai alternatif proses untuk mengolah zat pencemar pada air limbah industri pertambangan iodium sehingga tidak membahayakan lingkungan sekitar.
2. Dapat digunakan untuk membuat kriteria desain kolom adsorpsi pada pengolahan air limbah industri pertambangan iodium.

3. Sebagai referensi bagi para peneliti dan industri lainnya mengenai proses adsorpsi untuk mendukung program *eco industry*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2013, air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair yang dibuang ke lingkungan yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Sedangkan, industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi, dan/atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri. Jadi, air limbah industri adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan industri. Berbagai macam sumber industri yang menghasilkan air limbah, salah satunya adalah industri pertambangan iodium.

Air limbah industri pertambangan iodium memiliki karakteristik. Karakteristik air limbah industri pertambangan iodium sebelum dan setelah diolah oleh IPAL masing-masing dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2. Dari pemaparan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, ditunjukkan bahwa air limbah industri pertambangan iodium setelah dilakukan pengolahan melalui IPAL, nilai kandungan dari beberapa parameter yang ditetapkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 pada Tabel 2.3 hampir mendekati nilai baku mutunya.

Tabel 2.1. Karakteristik Awal Air Limbah Industri Pertambangan Iodium

| Bulan / Tahun | Parameter | | | | | |
|---------------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| | pH | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | TSS (mg/L) | Total-N (mg/L) | Phenol (mg/L) |
| Januari 2013 | 1,94 | 0,26 | 158,20 | 4,0 | 0,497 | 0,000 |
| Februari 2013 | 2,23 | 0,26 | 306,90 | 31,0 | 0,431 | 0,000 |
| Maret 2013 | 2,02 | 0,26 | 210,10 | 9,0 | 1,168 | 0,011 |
| April 2013 | 8,02 | 0,26 | 183,30 | 17,5 | 0,751 | 0,000 |
| Mei 2013 | 2,00 | 0,26 | 236,90 | 57,5 | 0,797 | 0,000 |
| Juni 2013 | 2,03 | 0,26 | 155,90 | 12,5 | 0,335 | 0,002 |
| Juli 2013 | 2,02 | 5,95 | 158,30 | 3,6 | 0,610 | 0,002 |
| Agustus 2013 | 2,11 | 22,18 | 191,00 | 3,6 | 0,804 | 0,021 |

| Bulan / Tahun | Parameter | | | | | |
|----------------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| | pH | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | TSS (mg/L) | Total-N (mg/L) | Phenol (mg/L) |
| September 2013 | 2,11 | 4,14 | 189,50 | 6,0 | 0,640 | 0,024 |
| Oktober 2013 | 2,11 | 2,55 | 262,90 | 6,5 | 0,779 | 0,000 |
| November 2013 | 1,92 | 17,00 | 193,80 | 51,3 | 1,792 | 0,019 |
| Desember 2013 | 2,18 | 4,23 | 243,10 | 78,0 | 0,186 | 0,012 |
| Januari 2014 | 2,11 | 2,84 | 253,40 | 14,2 | 0,075 | 0,030 |
| Februari 2014 | 2,11 | 3,14 | 160,90 | 9,3 | 0,382 | 0,000 |
| Maret 2014 | 2,01 | 10,25 | 123,70 | 16,7 | 0,671 | 0,009 |
| April 2014 | 2,79 | 8,28 | 157,10 | 13,1 | 0,464 | 0,000 |
| Mei 2014 | 2,20 | 0,26 | 151,20 | 42,3 | 0,597 | 0,000 |
| Juni 2014 | 2,22 | 0,26 | 100,20 | 48,0 | 0,722 | 0,036 |
| Juli 2014 | 2,41 | 6,37 | 113,10 | 4,0 | 0,748 | 0,015 |
| Agustus 2014 | 2,01 | 4,32 | 115,40 | 4,2 | 0,657 | 0,000 |
| September 2014 | 2,33 | 2,41 | 119,50 | 23,0 | 0,369 | 0,000 |
| Oktober 2014 | 2,22 | 2,73 | 100,00 | 11,4 | 0,477 | 0,000 |
| November 2014 | 2,33 | 5,38 | 83,22 | 9,6 | 1,509 | 0,000 |
| Desember 2014 | 2,14 | 12,05 | 164,90 | 6,4 | 1,504 | 0,000 |
| Januari 2015 | 3,85 | 8,06 | 72,83 | 52,0 | 1,130 | 0,013 |
| Februari 2015 | 2,16 | 16,23 | 76,77 | 14,0 | 0,187 | 0,021 |
| Maret 2015 | 1,69 | 11,67 | 152,70 | 82,5 | 1,011 | 0,031 |
| April 2015 | 1,71 | 12,65 | 160,40 | 64,5 | 0,075 | 0,024 |

Sumber: Laporan Pelaksanaan RKL-RPL PT. XYZ Tahun 2013 dan Tahun 2014

Tabel 2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Pertambangan Iodium Setelah Melewati Instalasi Pengolahan Air Limbah

| Bulan / Tahun | Parameter | | | | | |
|----------------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| | pH | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | TSS (mg/L) | Total-N (mg/L) | Phenol (mg/L) |
| Januari 2013 | 7,21 | 7,75 | 273,70 | 12,20 | 0,208 | 0,000 |
| Februari 2013 | 7,94 | 1,46 | 274,40 | 87,00 | 0,427 | 0,000 |
| Maret 2013 | 7,71 | 0,26 | 215,30 | 38,00 | 1,035 | 0,000 |
| April 2013 | 7,16 | 0,26 | 197,40 | 11,30 | 0,713 | 0,000 |
| Mei 2013 | 7,13 | 0,26 | 210,40 | 84,50 | 0,790 | 0,000 |
| Juni 2013 | 7,22 | 8,76 | 167,80 | 16,20 | 0,295 | 0,003 |
| Juli 2013 | 7,49 | 6,27 | 152,70 | 17,20 | 0,653 | 0,000 |
| Agustus 2013 | 7,22 | 14,93 | 243,70 | 14,00 | 0,609 | 0,000 |
| September 2013 | 7,27 | 13,65 | 234,20 | 17,20 | 0,569 | 0,000 |
| Oktober 2013 | 7,63 | 13,24 | 289,60 | 22,00 | 0,688 | 0,000 |

| Bulan / Tahun | Parameter | | | | | |
|----------------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| | pH | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | TSS (mg/L) | Total-N (mg/L) | Phenol (mg/L) |
| November 2013 | 7,4 | 5,64 | 196,90 | 10,00 | 0,435 | 0,015 |
| Desember 2013 | 7,46 | 12,75 | 281,30 | 93,50 | 0,152 | 0,011 |
| Januari 2014 | 7,51 | 5,41 | 278,00 | 23,50 | 0,129 | 0,020 |
| Februari 2014 | 7,36 | 6,58 | 220,10 | 9,60 | 0,289 | 0,000 |
| Maret 2014 | 7,41 | 8,85 | 130,20 | 13,30 | 0,678 | 0,008 |
| April 2014 | 7,11 | 17,85 | 174,10 | 18,50 | 0,415 | 0,000 |
| Mei 2014 | 7,41 | 0,26 | 171,80 | 51,70 | 1,445 | 0,000 |
| Juni 2014 | 7,72 | 34,82 | 126,90 | 51,00 | 0,457 | 0,049 |
| Juli 2014 | 7,5 | 8,93 | 137,00 | 12,00 | 0,713 | 0,008 |
| Agustus 2014 | 7,44 | 21,74 | 125,40 | 13,30 | 0,432 | 0,003 |
| September 2014 | 7,69 | 11,39 | 104,20 | 15,00 | 0,279 | 0,000 |
| Oktober 2014 | 7,46 | 9,25 | 106,70 | 44,30 | 0,689 | 0,000 |
| November 2014 | 7,66 | 12,76 | 84,71 | 15,00 | 0,451 | 0,007 |
| Desember 2014 | 7,44 | 18,30 | 153,80 | 55,50 | 0,736 | 0,000 |
| Januari 2015 | 7,79 | 29,75 | 130,20 | 94,00 | 0,617 | 0,026 |
| Februari 2015 | 7,61 | 17,66 | 81,15 | 95,00 | 0,170 | 0,037 |
| Maret 2015 | 7,89 | 5,11 | 188,90 | 75,50 | 1,086 | 0,038 |
| April 2015 | 7,86 | 4,16 | 180,11 | 69,50 | 1,029 | 0,037 |

Sumber: Laporan Pelaksanaan RKL-RPL PT. XYZ Tahun 2013 dan Tahun 2014

Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Industri Farmasi

| BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI FARMASI | | |
|--|--|-------------------------|
| | a. Volume Limbah Cair Maksimum per satuan produk: 40 M ³ / ton produk | |
| | b. Volume Limbah Cair Maksimum untuk kegiatan Farmasi yang melakukan penambangan Iodium dari brine diperhitungkan dari air terproduksi | |
| Parameter | Kadar Maksimum (mg/lt) | |
| | Proses Pembuatan Bahan Formula | Formulasi (Pencampuran) |
| BOD ₅ | 100 | 75 |
| COD | 300 | 150 |
| TSS | 100 | 75 |
| Total - N | 30 | - |
| Phenol | 1 | - |
| pH | 6 - 9 | |

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014

2.2 Adsorpsi

2.2.1 Definisi

Adsorpsi adalah pengumpulan substansi pada permukaan adsorben berbentuk padatan, sedangkan absorpsi adalah perembesan dari pengumpulan substansi ke dalam padatan (Reynolds, 1996). Materi yang teradsorpsi disebut adsorbat, sedangkan materi pengadsorpsi disebut adsorben (Sundstrom, 1979).

Adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Adsorpsi fisik terjadi karena adanya gaya *Van Der Walls* dan sifatnya *reversible*. Ketika gaya antar molekul dari interaksi antara zat yang dilarutkan (*solute*) dan adsorben lebih besar daripada gaya atraksi antara *solute* dan *solvent*, *solute* akan diserap pada permukaan adsorben. Contoh dari adsorpsi fisik adalah adsorpsi oleh karbon aktif (Reynolds, 1996). Sedangkan, menurut George (2003), adsorpsi kimia terjadi karena adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben sehingga membentuk ikatan kimia. Ikatan kimia tersebut antara lain ikatan hidrogen, kovalen, dan ionik. Adanya ikatan kimia tersebut menyebabkan permukaan adsorben tertutupi oleh selapis molekul-molekul adsorbat sehingga molekul lainnya tidak terserap lagi walaupun tekanan atau konsentrasi larutan ditingkatkan. Adsorben tidak akan mampu lagi menyerap zat lain sehingga lapisan yang terbentuk adalah tunggal (*monolayer*). Untuk mengetahui lebih lanjut tentang perbedaan antara adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia, dapat dilihat pada Tabel 2.4.

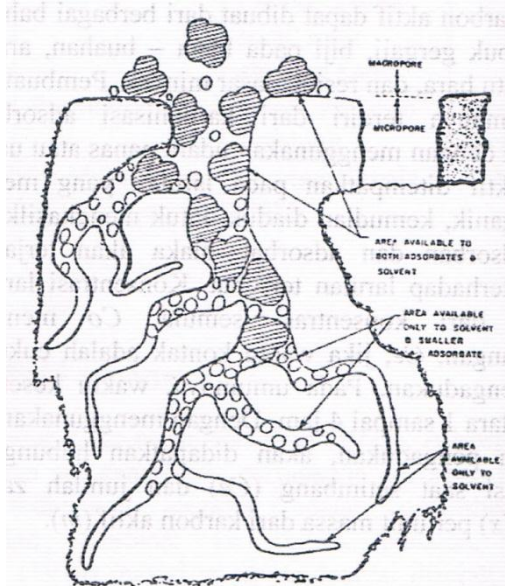
Tabel 2.4. Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Adsorpsi Kimia

| Parameter | Adsorpsi Kimia | Adsorpsi Fisika |
|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Gaya yang menyebabkan | Ikatan kimia | Van der Walls |
| Struktur | Monolayer | Multilayer |
| Entalpi | 40-200 kJ/mol | < 40 kJ/mol |
| Energi aktivasi | Tinggi | Rendah |
| Laju reaksi | Lambat | Cepat |
| Adsorpsi dan Desorpsi | Tidak dapat berbalik | Dapat berbalik |

Sumber: Albery and Silbey, 1997

2.2.2 Kinetika adsorpsi

Menurut Yuniarto (1999), kinetika adsorpsi dapat dijelaskan sebagai tingkat perpindahan molekul dari larutan ke dalam pori-pori partikel adsorben yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Ada tiga mekanisme proses adsorpsi yaitu:



Gambar 2.1. Mekanisme Adsorpsi Mikropori
(Sumber: Benefield, 1982)

1. Molekul-molekul zat yang diserap dipindahkan dari bagian terbesar (*bulk phase*) larutan ke permukaan luar dari adsorben. Fase ini disebut sebagai difusi film (*film diffusion*) atau difusi eksternal (*external diffusion*).
2. Molekul-molekul zat yang diserap dipindahkan pada kedudukan adsorpsi pada permukaan adsorben ke bagian yang lebih dalam yaitu pada bagian pori. Fase ini disebut dengan difusi pori (*pore diffusion*).
3. Molekul-molekul zat yang diadsorpsi menempel pada permukaan partikel.

2.2.3 Faktor yang mempengaruhi adsorpsi fisik

Menurut Cooney (1998), faktor yang mempengaruhi adsorpsi secara fisik yaitu:

1. Suhu

Pada umumnya, naiknya suhu menyebabkan berkurangnya kemampuan adsorpsi karena molekul dari adsorben mempunyai energi getaran lebih besar sehingga adsorbat akan terlepas dari adsorben. Semua aplikasi dari adsorpsi berada di bawah kondisi suhu ambien (isoterm).

2. Sifat pelarut

Pelarut memiliki pengaruh penting karena akan berkompetisi dengan karbon aktif dalam atraksinya terhadap *solute*. Kemampuan adsorpsi dari *solute* organik akan lebih rendah daripada adsorpsi pada zat cair lain.

3. Area permukaan karbon

Jumlah zat yang dapat diserap oleh karbon aktif berbanding lurus dengan proporsi jumlah luas permukaan internal meskipun pernyataan ini tidak sepenuhnya benar. Sebagian besar area permukaan pada adsorben tidak terjadinya proses adsorpsi pada penyerapan molekul besar.

4. Struktur pori dari karbon

Pori-pori karbon aktif mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi dan tidak teratur. Ukurannya berkisar antara 10-10.000 Å. Pori-pori ini dapat menangkap dan menyerap partikel-partikel secara halus (molekul). Semakin banyaknya zat-zat yang diadsorpsi, maka pori-pori ini akan jenuh sehingga karbon aktif tidak akan berfungsi lagi. Karbon aktif yang telah jenuh dapat direaktivasi kembali meskipun tidak jarang disarankan untuk sekali pakai.

5. Sifat dari *solute*

Senyawa anorganik menunjukkan *range* luas dari adsorpsi. Di satu sisi, pemisahan garam kuat seperti sodium klorida dan potassium nitrat diadsorpsi oleh karbon aktif. Di sisi lain, *solute* yang tidak dipisahkan dengan kuat seperti iodine dan merkuri

klorida sangat bagus diadsorpsi. Factor kunci terlihat apakah *solute* ada pada bentuk netral atau terion.

6. Pengenceran pH

Pengaruh pada pengenceran pH sangat penting ketika adsorpsi merupakan proses untuk zat yang dapat terion. Diketahui bahwa adsorpsi akan rendah pada bentuk terion. Pada umumnya, kemampuan adsorpsi akan meningkat apabila pH diturunkan.

7. Kehadiran garam anorganik

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kehadiran garam anorganik dapat meningkatkan adsorpsi pada zat organik. Pengaruh penambahan NaCl yang digunakan pada sistem untuk mengadsorpsi ion organik dijelaskan bahwa ion-ion garam yang membawa muatan positif berikatan dengan ruang antar adsorbat ion organik yang berdekatan dan mengurangi kekuatan tolakan pada adsorbat ion organik tersebut sehingga adsorbat ion organik pada permukaan karbon dapat terjadi.

8. Larutan pesaing

Kehadiran larutan terlarut lain yang dapat teradsorpsi menyebabkan persaingan antara masing-masing material. Tidak semua larutan bersaing pada adsorben yang sama karena beberapa adsorben dapat menyerap larutan tertentu. Secara umum, biasanya, kehadiran larutan lain akan mengurangi adsorpsi pada larutan yang ada.

2.2.4 Isoterm Adsorpsi

A. Isoterm Freundlich

Ketika partikel karbon aktif ditempatkan pada larutan yang berisi *solute* organik dan lumpur yang dicampur untuk memberikan kontak yang memadai, akan terjadinya adsorpsi dari *solute*. Konsentrasi *solute* akan berkurang dari konsentrasi awal (C_0) pada nilai keseimbangan (*equilibrium value*) jika waktu kontak cukup selama tes lumpur. Biasanya, keseimbangan terjaid kira-kira satu sampai empat jam. Dari tes lumpur, didapatkan hubungan antara konsentrasi

keseimbangan (C_e) dan banyaknya substansi organik yang diserap (x) per unit massa dari karbon aktif (Jannatin, 2011).

Menurut Jannatin (2011), Isoterm Freundlich dikembangkan berdasarkan 3 asumsi, yaitu:

- Energi yang terlibat dalam proses adsorpsi tidak selalu sama.
- Tidak seluruh permukaan media terlibat dalam proses adsorpsi.
- Energi pada permukaan media adalah heterogen.

Menurut Reynolds (1996), formulasi empiris Isoterm Freundlich dapat dilihat pada Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

$$x/m = X = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (2.1)$$

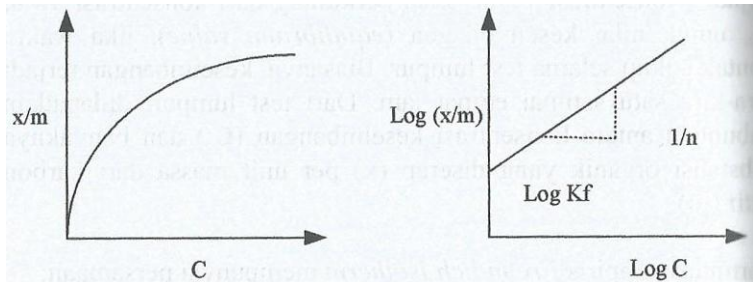
$$\log \frac{x}{m} = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.2)$$

dimana:

- x/m : besarnya adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben (mg/mg)
 x : massa *solute* yang diserap (mg)
 m : massa adsorben (mg)
 K_F : konstanta Freundlich (mg/gr) yang proporsional dengan rasio distribusi konsentrasi adsorbat di solid-air
 $1/n$: ketidak linieran (tanpa satuan)
 C_e : konsentrasi adsorbat di air pada saat kesetimbangan

Dari Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2, dapat dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Persamaan tersebut menunjukkan adsorpsi isotermal. Plot garis lurus pada kertas grafik log dimana sumbu-x menunjukkan konsentrasi fase padat (x/m) dan sumbu-y menunjukkan konsentrasi fase cair (C_e). *Slope* garis menjadi $1/n$ dan $1/n$ diketahui dengan cara menentukan nilai K terlebih dahulu. Salah satu aspek paling penting dari Isoterm Freundlich dalam hubungannya pada

kelayakan adsorpsi penggunaan karbon aktif adalah nilai numerik dari n dan nilai dari x/m ketika $C_e = C_0$. Nilai n tidak diperhatikan untuk unit dari konsentrasi keseimbangan. Konstanta (K_F) berfluktuatif terhadap unit konsentrasi keseimbangan. Nilai n dan x/m lebih besar ketika $C_e = C_0$, lebih layak ekonomi dengan penggunaan karbon aktif (Reynolds, 1996).



Gambar 2.2. Kurva Isoterm Freundlich
(Sumber: Kusumo, 2011)

B. Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir merupakan model yang pada awalnya dikembangkan untuk proses penyerapan gas pada permukaan zat padat (Kusumo, 2011). Menurut Amuda (2007), Isoterm Langmuir didasari pada 4 asumsi, yaitu:

- Proses adsorpsi terbatas pada *single layer*.
- Molekul adsorbat tidak dapat bergerak bebas pada permukaan adsorben.
- Energi proses adsorpsi untuk semua molekul adalah sama.
- Adanya keberadaan ion – ion logam pada permukaan homogen karena tanpa adanya interaksi antara ion – ion teradsorpsi pada adsorpsi *monolayer*.

Menurut Reynolds (1996), formulasi Isoterm Langmuir dapat dilihat pada Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4.

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m \cdot K_L C}{1 + K_L C} \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{x/m} = \frac{1}{q_m K_L C} + \frac{1}{q_m} \quad (2.4)$$

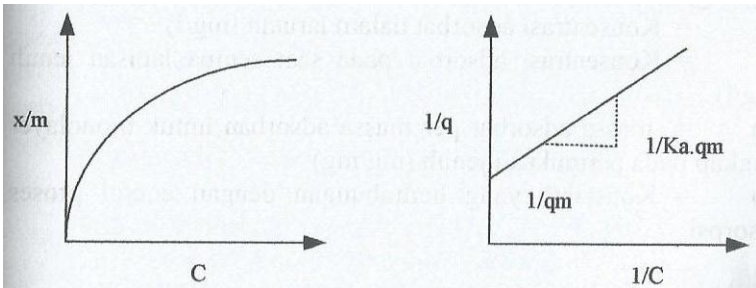
dimana:

q_m : maksimum adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben (mg/mg)

K_L : konstanta Langmuir (mg/mg)

C : konsentrasi adsorbat di air pada saat kesetimbangan

Dari Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4, dapat dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva Isoterm Langmuir
(Sumber: Kusumo, 2011)

C. Isoterm Brunauer – Emmet – Teller (BET)

Menurut Kusumo (2011), Isoterm BET merupakan pengembangan model Langmuir dari *monolayer* menjadi *multilayer*. Asumsi yang digunakan pada model Isoterm BET adalah:

- Molekul adsorbat tidak berpindah pada permukaan adsorben.
- Energi adsorpsi semua molekul dalam lapisan yang terbentuk adalah konstan.
- Semua molekul yang ada pada lapisan berikutnya (setelah lapisan pertama) mempunyai energi yang sama.
- Lapisan awal harus terbentuk sempurna sebelum memulai lapisan baru.

Menurut Reynolds (1996), formulasi Isoterm BET dapat dilihat pada persamaan 2.5 dan 2.6.

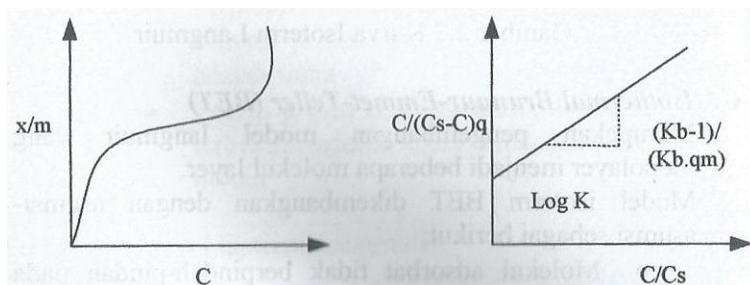
$$\frac{x}{m} = \frac{q_m K_{BET} C}{(C_s - C) [1 + (K_{BET} - 1) (\frac{C}{C_s})]} \quad (2.5)$$

$$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{K_{BET} q_m} + \frac{C}{q_m} \quad (2.6)$$

dimana:

- C_s : konsentrasi terlarut saat semua lapisan jenuh
 K_{BET} : konstanta yang berhubungan pada energi adsorpsi

Dari Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6, dapat dibuat grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kurva Isoterm BET
 (Sumber: Kusumo, 2011)

2.3 Karbon Aktif

Karbon dapat menyerap substansi terlarut ke dalam porinya. Ada banyak material yang digunakan sebagai adsorben, tetapi karbon adalah pilihan yang tepat untuk pengolahan air karena dapat menghilangkan zat pencemar dengan *range* yang luas (Droste, 1997). Karbon aktif mempunyai banyak kapiler dalam partikel karbon dan permukaannya yang tersedia untuk adsorpsi termasuk permukaan dari pori-pori. Untuk karbon aktif, rasio total area permukaan sangat luas (Jannatin, 2011).

Dalam pengolahan air, menurut Masduqi (2012), karbon aktif digunakan sebagai adsorben untuk menyisihkan rasa, bau, atau warna yang disebabkan oleh kandungan bahan organik dalam air, produk samping desinfeksi, pestisida, dan bahan organik sintesis lainnya. Pertimbangan utama dalam memilih karbon aktif sebagai adsorben adalah:

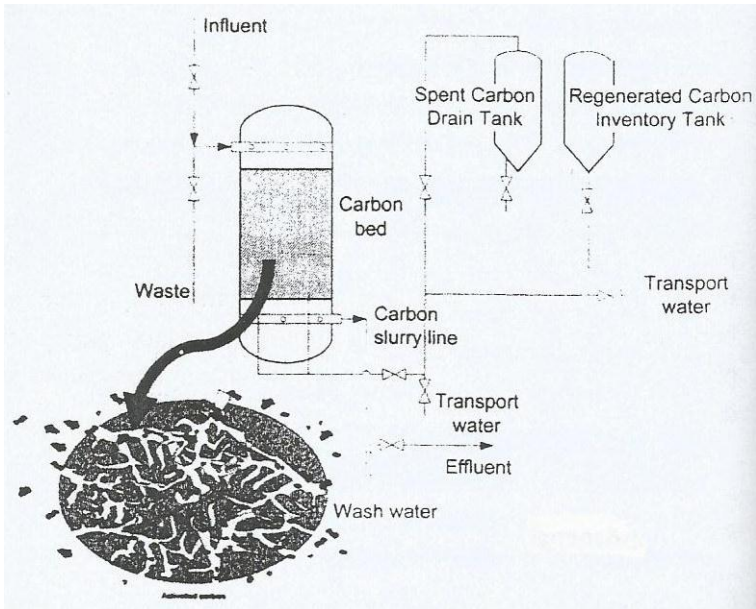
- Bentuk karbon aktif (bubuk atau butiran)
- Kapasitas adsorptif
- Laju Adsorpsi

Menurut Basuki (2007), karbon aktif digunakan sebagai adsorben karena:

1. Mempunyai daya adsorpsi selektif.
2. Berpori sehingga luas permukaan per satuan massa-nya besar.
3. Mempunyai daya ikat yang kuat terhadap zat yang hendak dipisahkan secara fisik atau kimiawi

Pengoperasian proses adsorpsi berbeda antara karbon aktif berbentuk bubuk dan butiran. Karbon aktif bubuk biasanya dibubuhkan pada air yang diolah dan diaduk secara merata agar terjadi kontak dan diendapkan setelahnya. Pada karbon aktif butiran, karbon aktif dijadikan sebagai media filter dalam sebuah kolom adsorpsi yang dipasang setelah filter konvensional atau disebut *post filtration* Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Masduqi, 2012).

Karbon aktif terbuat dari berbagai bahan material, seperti kayu, serbuk gergaji, biji pada buah-buahan, arang batok kelapa, batu bara, *lignite*, dan residu minyak tanah. Pembuatan karbon aktif terdiri dari karbonisasi padatan yang diaktivasi menggunakan uap panas (Reynolds, 1996). Ketika karbon aktif ditempatkan pada larutan yang mengandung bahan organik dan diaduk untuk menghasilkan kontak antara adsorbat dan adsorben, maka akan terjadi proses adsorpsi terhadap larutan tersebut (Jannatin, 2011).



Gambar 2.5. Sistem Adsorpsi *fixed-bed* dan detail butiran karbon aktif (Sumber: Masduqi, 2012)

2.3.1 Penyisihan Bau, Rasa, dan Warna

Bau, rasa, dan warna dapat disebabkan oleh proses pertumbuhan mikroba yang mengurai bahan organik. Keberadaan bahan-bahan ini menyebabkan air kurang dapat diterima oleh masyarakat dengan alasan estetika. Keberadaan bahan organik tertentu seperti asam humat dan asam sulfat akan menyebabkan air menjadi berwarna kecoklatan yang biasa disebut air gambut. Bau, rasa, dan warna dapat dihilangkan dengan mekanisme adsorpsi. Adsorpsi dengan karbon aktif, baik berbentuk bubuk atau butiran, cukup efektif menyerap bau, rasa, dan warna. Adsorpsi dengan tanah lempung mampu menghilangkan warna pada air gambut (Masduqi, 2012).

2.3.2 Penyisihan Bahan Organik

Bahan organik dalam air dikelompokkan sebagai organik yang mudah diurai oleh mikroba (*biodegradable*) dan yang sulit

diurai oleh mikroba (*non biodegradable*). Penyisihan organik *biodegradable* dilakukan dengan proses biologis yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang sederhana. Sedangkan, untuk penyisihan bahan organik *non biodegradable*, digunakan adsorpsi dengan karbon aktif. Bahan organik *volatile* (VOCs), seperti *tetrachloroethylene* dan *trichloroethylene* mudah diadsorpsi cukup kuat. Biasanya, VOCs banyak ditemukan di air tanah tercemar (Masduqi, 2012).

2.3.3 Arang Batok Kelapa sebagai Adsorben

Di kalangan kimiawan dan pakar lingkungan hidup, kelapa dapat digunakan sebagai adsorben atau penyerap. Untuk polutan yang masuk ke tubuh manusia seperti keracunan pestisida atau kation logam seperti Pb, Hg, Cd, dan sebagainya, air kelapa sangat dianjurkan untuk diminum. Hal ini dikarenakan air kelapa dapat menetralkan racun. Untuk polutan yang masuk ke lingkungan hidup, bagian dari sabut, tempurung, atau batok kelapa sangat potensial didayagunakan sebagai adsorben terutama untuk polutan logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia (Kusumo, 2011).

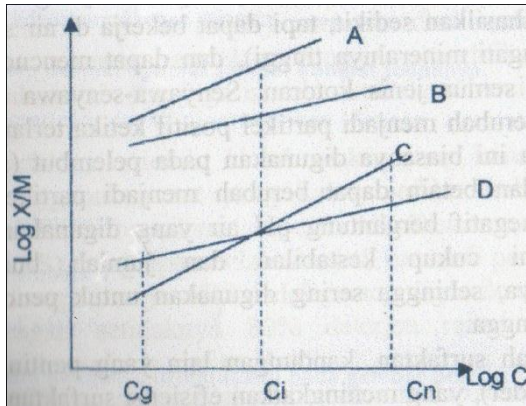
Batok kelapa telah dikenal sebagai salah satu bahan pembuat karbon aktif. Adanya persediaan arang batok kelapa, yang dihasilkan dari limbah minyak kelapa dan industri yang menggunakan kelapa sebagai bahan bakunya, membuat karbon aktif yang berasal dari arang batok kelapa lebih ekonomis daripada menggunakan batu bara maupun arang kayu. Selain kegunaannya dalam bentuk karbon yang dapat menyerap berbagai gas, uap, dan padatan, karbon aktif dari arang batok kelapa memiliki kelebihan pada karakteristiknya yaitu, memiliki berat jenis tinggi, kemurnian yang tinggi, dan sedikit abu. Karbon aktif dari arang batok kelapa juga lebih keras serta lebih tahan terhadap gesekan (Gratisito, 2008). Pada arang batok kelapa yang telah diaktivasi memiliki beberapa karakteristik seperti luas permukaan sebesar 668 m²/gr; *bulk density* sebesar 0,52 gr/ml; kandungan abu 1,45 %; dan pH 5,5 (Amuda, 2007). Karbon aktif yang terbuat dari bahan kayu dan sejenisnya memiliki kemampuan untuk menyerap warna dan organik karena pada

lapisan utama gugus fungsi terdapat fenol, asam karboksilat, dan gugus karbonil. Ketiga gugus fungsi tersebut termasuk gugus fungsi asam. Gugus fungsi permukaan asam inilah yang dapat mereduksi warna dan zat organik (Ahmad, 2009).

2.4 Proses Penelitian Adsorpsi

2.4.1 Adsorpsi secara *batch*

Adsorpsi secara *batch* dilakukan pada skala laboratorium dengan mencampurkan antara media dan *solute* secara agitasi. Tujuan dari adsorpsi secara *batch* yaitu untuk mengetahui karakteristik adsorben yang dinyatakan dalam hubungan antara penurunan zat yang diserap dan berat adsorben yang digunakan. Hasil adsorpsi secara *batch* ini dapat ditampilkan dalam bentuk kurva adsorpsi isoterm. Kurva ini dapat digunakan untuk menganalisis kemampuan adsorpsi oleh adsorben dan membandingkan efisiensi dari dua atau lebih jenis adsorben (Kusumo, 2011).



Gambar 2.6. Kurva Isoterm
(Sumber: Kusumo, 2011)

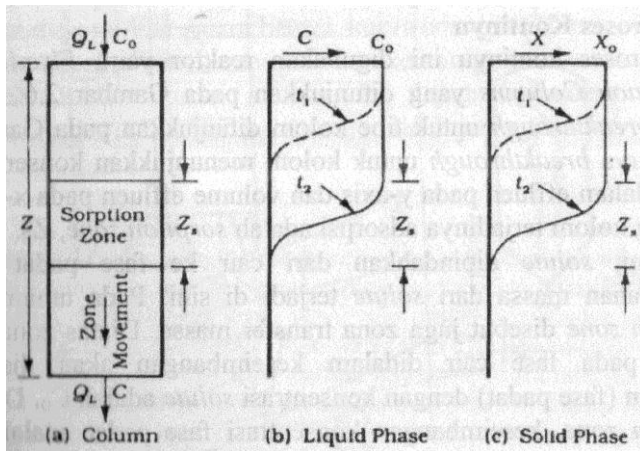
Gambar 2.6 menunjukkan bahwa adsorben A dan B mempunyai kemampuan adsorpsi yang berbeda. Adsorben A mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih baik daripada adsorben B karena pada titik keseimbangan C_i , jumlah zat yang

terserap (adsorbat) per satuan berat adsorben A lebih besar. Pada kurva adsorben C dan D dijelaskan bahwa kedua adsorben memiliki kemampuan adsorpsi yang sama pada konsentrasi *solute* C_i , tetapi adsorben C memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik pada konsentrasi larutan yang lebih tinggi daripada C_i . Sedangkan, adsorben D memiliki kemampuan adsorpsi lebih baik pada konsentrasi yang lebih rendah daripada C_i (Benefiel, 1982).

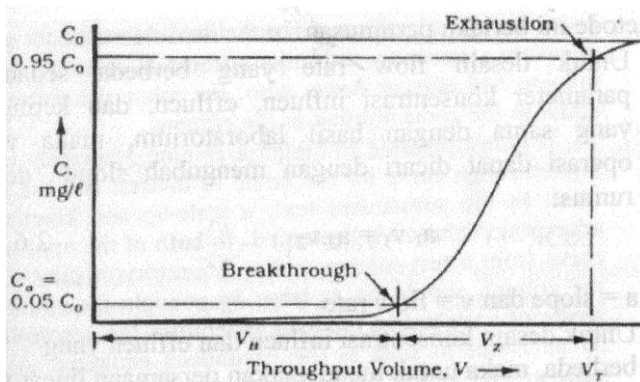
2.4.2 Adsorpsi secara *continue*

Adsorpsi secara *continue* digunakan *fixed bed adsorption column reactor* yang diilustrasikan pada Gambar 2.7 dan tipe kurva *breakthrough* pada kolom diilustrasikan pada Gambar 2.8. Kurva *breakthrough* pada kolom menunjukkan konsentrasi *solute* dalam *effluent* pada garis ordinat dan volume *effluent* pada garis absis. Panjang kolom terjadinya adsorpsi adalah *sorption zone* (Z_s). Pada zona ini, *solute* dipindahkan dari fase cair ke fase padat dan terjadi perpindahan massa dari *solute*. Pada umumnya, *sorption zone* disebut juga zona transfer massa. Diatas zona ini, *solute* pada fase cair di dalam keseimbangan akan diserap adsorben (fase padat) dengan konsentrasi *solute* (C_o). Di atas *sorption zone*, keseimbangan konsentrasi fase pada adalah X_o (q_o). Nilai X_o atau q_o sama dengan nilai x/m dari data tes lumpur ketika C_e sama dengan C_o . Waktu transfer massa untuk fase cair dan padat adalah t_1 dan t_2 (Gambar 2.7) dimana memiliki nilai yang berbeda dan bergerak menurun. t_1 dan t_2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu, maka konsentrasi *solute* yang diserap semakin besar sampai mencapai jenuh. Aliran air pada Gambar 2.7 menunjukkan pergerakan ke bawah melewati kolom. Konsentrasi *solute* pada efluen secara teoritik adalah nol selama *sorption zone* bergerak pada kolom. Tetapi, setelah *sorption zone* mencapai bagian atas dari kolom, konsentrasi *solute* efluen menjadi tidak lagi nol (terbatas). *Breakthrough* ditunjukkan pada Gambar 2.8. Setelah *sorption zone* menghilang, konsentrasi *solute* efluen menjadi bertambah dan mendekati konsentrasi awal (C_o) dan terjadi pemberhentian proses adsorpsi pada kolom. Konsentrasi *breakthrough* ditunjukkan sebesar 0,05 C_o . Konsentrasi *breakthrough* yang ditunjukkan tidak harus memiliki nilai tetap walaupun nilai 5 % yaitu 0,05 sering digunakan. Pemberhentian proses adsorpsi

terjadipada saat C adalah $0,95 C_0$, dimana titik jenuh berada pada konsentrasi efluen 95 % dari konsentrasi awal (Reynolds, 1996).



Gambar 2.7. *Fixed Bed Column* serta Konsentrasi Fase Padat dan Cair (Sumber: Kusumo, 2011)

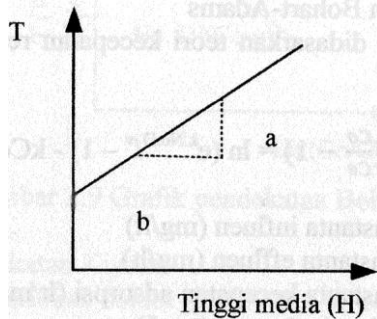


Gambar 2.8. Kurva Tipikal *Breakthrough* (Sumber: Kusumo, 2011)

Menurut Benefield (1982), pendekatan desain yang digunakan untuk menghitung kinetika adsorpsi dan kapasitas adsorben yaitu:

2.4.2.1 Pendekatan Hutchins

Metode ini hanya membutuhkan tiga kolom tes untuk mendapatkan data ketinggian media dan waktu operasi. Gambar 2.9 menunjukkan bahwa ketinggian media (H) pada garis absis dan waktu operasi (T) pada garis ordinat sehingga didapat suatu tren hubungan antara garis absis dan ordinat sebagai $T = aH + B$.



Gambar 2.9. Grafik Pendekatan Hutchins
(Sumber: Kusumo, 2011)

Pada metode ini, berlaku perumusan:

- Apabila desain *flow rate* yang berbeda beserta parameter konsentrasi influen, efluen, dan ketinggian yang sama dengan hasil laboratorium, maka waktu operasi dapat dicari dengan mengubah *slope* menggunakan persamaan 2.7.

$$a_1 \cdot v_1 = a_2 \cdot v_2 \quad (2.7)$$

dimana $a = \text{slope}$ dan $v = \text{flow rate}$

- Apabila desain konsentrasi influen dan efluen yang berbeda, maka untuk mendapatkan persamaan linier yang baru adalah dengan mengubah nilai *slope* dan intersep-nya menggunakan persamaan 2.8 dan persamaan 2.9.

$$\text{Slope } a_1 \cdot C_1 = a_2 \cdot C_2 \quad (2.8)$$

$$\text{Intersep } \cdot b_1 \cdot C_{o1} \cdot \ln\left(\frac{C_{o1}}{C_{e1}} - 1\right) = b_2 \cdot C_{o2} \cdot \ln\left(\frac{C_{o2}}{C_{e2}} - 1\right) \quad (2.9)$$

dimana:

| | | | |
|----|-----------------------|-----|------------------------|
| a | = slope | Ce | = Konsentrasi efluen |
| b | = intersep | 1,2 | = Nilai awal dan akhir |
| Co | = Konsentrasi influen | | |

2.4.2.2 Pendekatan Bohart – Adams

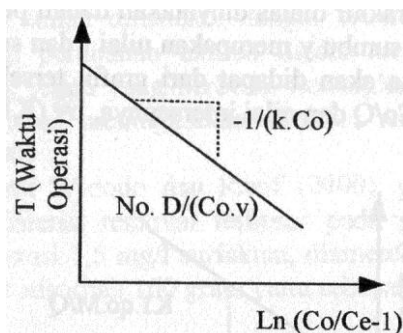
Pendekatan desain ini didasarkan teori kecepatan reaksi permukaan dengan persamaan 2.10.

$$\ln\left(\frac{C_o}{C_e} - 1\right) = \ln(e^{K.No.D/v} - 1) - k.C_o.t \quad (2.10)$$

dimana:

| | |
|----|---|
| Co | = Konstanta influen (mg/L) |
| Ce | = Konstanta efluen (mg/L) |
| D | = Tinggi kolom adsorben (m) |
| v | = Hidrolik loading (m/jam) |
| k | = Konstanta kecepatan adsorpsi (L/mg.jam) |
| t | = Waktu series |

Apabila persamaan terakhir di atas dinyatakan dalam persamaan garis $y = ax + b$, dimana garis ordinat merupakan nilai t dan garis absis adalah $\ln(C_o/C_e - 1)$, maka didapat Gambar 2.10 dengan nilai *slope*-nya $a = -1/(k.Co)$ dan nilai intersep-nya $b = No.D/(Co.v)$.



Gambar 2.10. Grafik Pendekatan Bohart – Adams
(Sumber: Kusumo, 2011)

2.4.2.3 Pendekatan kinetik

Data yang diperlukan dalam pendekatan ini adalah data kurva *breakthrough test column* dengan persamaan 2.11.

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{k_1/q(q_0.M - C_o.V)}} \quad (2.11)$$

dimana:

- Ce = Konstanta Efluen (mg/L)
- Co = Konstanta Influen (mg/L)
- K₁ = Konstanta kecepatan adsorpsi (L/mg.jam)
- M = Massa adsorben (mg)
- V = Volume yang melalui kolom (L)
- Q = *flow rate* (L/jam)
- q₀ = (x/m)₀ = Massa *solute* per massa adsorben mula-mula (mg/mg)

Dari persamaan di atas, didapat persamaan 2.12.

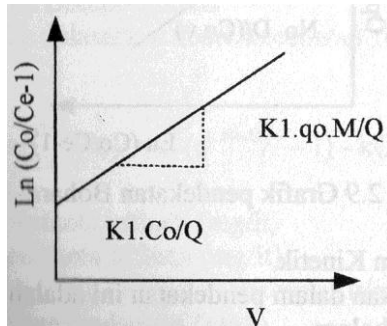
$$\ln\left(\frac{C_e}{C_o} - 1\right) = \frac{K_1 \cdot q_0 \cdot M}{Q} - \frac{K_1 \cdot q_0 \cdot V}{Q} \quad (2.12)$$

Apabila persamaan terakhir di atas dinyatakan dalam persamaan garis $y = ax + b$, dimana garis ordinat merupakan nilai t dan garis absis adalah $\ln(C_o/C_e - 1)$, maka didapat Gambar 2.11 dengan nilai *slope*-nya $a = K_1 \cdot Co/Q$ dan nilai intersep-nya $b = K_1 \cdot q_0 \cdot M/Q$.

2.5 Parameter yang diujikan

2.5.1 Warna

Menurut Cleceri (1998), warna di air adalah hasil dari adanya ion logam alami (besi dan mangan), humus, material gambut, plankton, tanaman air, dan buangan industri. Warna dihilangkan untuk digunakan sebagai kebutuhan umum dan industri. Buangan air berwarna dari industri harus dihilangkan sebelum dilepaskan ke badan air.



Gambar 2.11. Grafik Pendekatan Kinetik
(Sumber: Kusumo, 2011)

Warna yang digunakan adalah warna sejati. Warna sejati adalah warna sampel yang telah dihilangkan kekeruhannya. Warna nyata tidak hanya warna sejati yang termasuk dalam larutan, tetapi juga material tersuspensi. Warna sejati terlihat pada sampel asli tanpa penyaringan atau mengandung zat warna dengan konsentrasi tinggi karena distribusi dari koloid atau material tersuspensi Untuk menetapkan warna dengan metode yang ada, kekeruhan harus dihilangkan sebelum dianalisis. Metode untuk menghilangkan kekeruhan tanpa mengubah warna adalah dengan penyaringan (Cleceri, 1998).

2.5.2 Permanganate Value (PV)

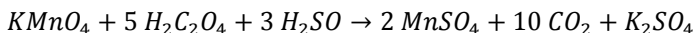
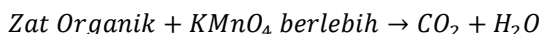
Permanganate Value (PV) merupakan salah satu analisis untuk menentukan kandungan zat atau bahan organik di dalam suatu air sampel. Prinsip analisis PV ini hampir mirip atau bahkan sama dengan analisis dengan menggunakan metode Chemical Oxygen Demand (COD), dimana zat organik di dalam suatu air sampel dioksidasi dan jumlah dari zat pengoksidasi tetap ada setelah reaksi. Reaksi tersebut akan diukur menggunakan metode titrasi. Zat pengoksidasi yang digunakan adalah Kalium Permanganat (KMnO_4). Sampel ditambahkan dengan asam sulfat dan dipanaskan pada suhu minimal 30°C . Permanganat ini akan berwarna ungu dan hasil reduksi MnO_2 akan berwarna cokelat. Perubahan warna ungu pada ion permanganat merupakan petunjuk dari tingkatan oksidasi bahan organik. Dasar aturan pada permanganat ini yaitu semua ikatan-ikatan karbon akan

membelah dan hibridisasi akan terlihat pada produk tingkat kemungkinan oksidasi yang tinggi tanpa membelah ikatan karbon (Jannatin, 2011).

Menurut Jannatin (2011), metode ini dibuat untuk mengatasi efek dari gangguan yang disebabkan zat pereduksi termasuk nitrit. Prinsip utama dari analisis ini adalah:

- a) Zat organik dioksidasi oleh $KMnO_4$ berlebih dalam suasana asam dan panas.
- b) Kelebihan $KMnO_4$ direduksi oleh asam oksalat berlebih.
- c) Kelebihan asam oksalat dititrasi kembali oleh $KMnO_4$.

Untuk lebih jelasnya, disajikan 2 persamaan reaksi di bawah ini.



Keuntungan dari metode ini adalah alat dan bahan kimia yang diperlukan untuk analisis ini tidak begitu mahal atau mudah terjangkau dan tidak membutuhkan waktu yang lama atau dapat dilakukan dengan waktu yang cepat (Jannatin, 2011).

2.5.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi Kalium Dikromat digunakan sebagai sumber oksigen. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses biologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Hermana, 2006).

Menurut Hermana (2006), tidak semua zat-zat organik dalam air buangan maupun air permukaan dapat dioksidasikan melalui analisis COD. Adapun zat-zat yang dapat dioksidasi melalui analisis COD adalah:

1. Zat organik *biodegradable* (protein, gula, dan sebagainya).
2. Selulosa dan sebagainya.

3. N Organik *biodegradable* (protein dan sebagainya).
4. N Organik *non-biodegradable*.
5. Hidrokarbon aromatik.

Theoretical Oxygen Demand (ThOD) atau kebutuhan oksigen teoritis adalah kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi zat organik dalam air yang dihitung secara teoritis. Jumlah oksigen tersebut dihitung apabila komposisi zat organik terlarut telah diketahui dan dianggap semua habis teroksidasi. Terdapat perbandingan angka ThOD dan COD untuk masing-masing jenis air (Hermana, 2006).

2.5.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologis adalah suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasi hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air (Hermana, 2006).

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri dan mendesain system-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah. Apabila suatu bada air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen yang terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut sehingga dapat mengakibatkan kematian ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi anaerobik serta menimbulkan bau busuk pada air (Hermana, 2006).

Beberapa jenis bakteri mampu mengoksidasi zat organik. Zat organik yang dimaksud berasal dari sisa-sisa tanaman dan air buangan penduduk. Jenis bakteri ini umumnya ada di setiap air alam. Jumlah bakteri ini tidak banyak di air jernih dan air buangan industri yang mengandung zat organik. Pada kasus ini, pasti perlu ditambah benih bakteri untuk oksidasi atau penguraian zat organik yang khas, terutama pada beberapa jenis air buangan industri yang mengandung fenol, detergen, minyak, dan

sebagainya. Bakteri harus diberikan waktu untuk penyesuaian atau adaptasi beberapa hari melalui kontak dengan air buangan tersebut sebelum digunakan sebagai benih pada analisis BOD pada air (Hermana, 2006).

Sebaliknya, beberapa zat organik maupun inorganik dapat bersifat racun terhadap bakteri (misal sianida, tembaga, dan sebagainya) dan harus dikurangi sampai batas yang diinginkan. Derajat racun juga dapat diperkirakan melalui analisis BOD (Hermana, 2006).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian Asri (1995) mengungkapkan kemampuan karbon aktif dari tempurung kelapa dan kayu sebagai media saring dalam penurunan kadar warna limbah cair industri tekstil PR. Sandratek di Kota Semarang. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya penurunan kadar warna yang bervariasi setelah menggunakan media saring karbon aktif dan tanpa karbon aktif. Rata-rata penurunan kadar warna yang terjadi pada media saring karbon aktif dari kayu dan tempurung kelapa serta tanpa karbon aktif masing-masing sebesar 69,21 %, 93,57 %, dan 3,97 %. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki peranan penting dalam penurunan kadar warna limbah cair industri tekstil. Penelitian ini menunjukkan juga bahwa karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki nilai efisiensi tertinggi.

Penelitian Ahmad (2009) mengungkapkan kajian penggunaan karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa sawit (MOPAS) dan *Commercial Activated Carbon* (CAC). Nilai kapasitas adsorpsi diukur menggunakan isotherm Freundlich. Hubungan persen koefisien (*R² value*) pada MOPAS dan CAC masing-masing sebesar 83,68 % dan 92,69 %. Hasil ini mengindikasikan bahwa MOPAS memiliki kemampuan yang sama dengan CAC untuk mereduksi warna dari larutan walaupun kemampuan adsorpsi MOPAS lebih rendah daripada CAC.

Penelitian Setyaningsih (2009) mengungkapkan percobaan secara *batch* terhadap jenis karbon aktif tempurung kelapa, karbon aktif sekam padi, karbon aktif batu bara lokal, dan karbon

aktif batu bara impor. Karbon aktif sekam padi dibuat sendiri di laboratorium. Sedangkan, jenis karbon aktif lainnya (tanpa merk dagang) didapat dari took bahan kimia. Dalam percobaan ini, dilakukan pengamatan terhadap perubahan waktu kontak dan konsentrasi dari karbon aktif yang digunakan. Efisiensi pengurangan kadar warna terbesar dicapai oleh karbon aktif sekam padi dengan nilainya sebesar 95,16 %. Karbon aktif tempurung kelapa hanya dapat mengurangi kadar warna dengan nilai efisiensinya sebesar 75,81 %.

Penelitian Paul (2008) mengenai pereduksian COD dan warna dari limbah tekstil menggunakan batu kapur dan karbon aktif menunjukkan bahwa hasil campuran 35:5 dapat mereduksi COD sebesar 92 %.

Penelitian Singh (2003) didapat bahwa proses adsorpsi menggunakan karbon aktif dalam mereduksi warna pada limbah pertanian dapat dimaksimalkan apabila limbah tersebut diencerkan terlebih dahulu. Sedangkan, penelitian Baccar (2009) menunjukkan bahwa hasil adsorpsi optimum karbon aktif dalam mereduksi MnO_4 pada limbah pembuatan kue sebesar 37,9 mg Mn per gram adsorben. Hal ini diperkuat pada penelitian Azhari (2010) bahwa semakin kecil ukuran butiran adsorben maka semakin kuat juga daya serap adsorben tersebut. Juliandini (2008) mengungkapkan bahwa arang batok kelapa memiliki waktu jenuh selama satu minggu sehingga harus diaktivasi kembali. Namun, batas maksimal pemakaian arang batok kelapa digunakan sebagai karbon aktif dengan dilakukan aktivasi berkali-kali yaitu selama 11 minggu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Pada penelitian ini, dilakukan uji kemampuan adsorpsi arang batok kelapa pada air limbah industri pertambangan iodium menggunakan arang batok kelapa. Air limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel asli air limbah industri pertambangan iodium di Kabupaten Jombang. Penelitian ini menggunakan dua sistem yaitu sistem *batch* dan sistem *continue*. Sistem *batch* menggunakan metode *jar test* dan sistem *continue* menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor*. Pelaksanaan diawali dengan uji ketahanan media, uji densitas media, serta analisis awal air limbah dengan parameter sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 dan parameter Salinitas, Total Phosphorus, dan *Permanganat Value* (PV). Analisis adsorpsi menggunakan sistem *batch* dilakukan dengan variasi konsentrasi air limbah, massa arang batok kelapa sebagai adsorben, dan diameter mesh butiran. Dari hasil analisis adsorpsi menggunakan sistem *batch* ini, dilakukan analisis adsorpsi menggunakan sistem *continue*. Alat yang digunakan pada analisis adsorpsi menggunakan sistem *continue* yaitu *down flow fixed bed adsorption column reactor*. Variasi yang digunakan adalah variasi ketinggian adsorben pada kolom reaktor. Dari hasil percobaan *batch* dan *continue*, akan dianalisis menggunakan parameter warna, PV, COD, dan BOD. Data yang diperoleh dari analisis tersebut diolah dengan isotherm Freundlich, Langmuir, dan BET, serta pendekatan kinetika adsorpsi sehingga dapat ditarik kesimpulan.

3.2 Variabel Penelitian

- a. Ukuran Butiran Arang Batok Kelapa (mesh 8, mesh 10, mesh 12)
- b. Massa Butiran Arang Batok Kelapa (12,5 gr, 25 gr, 50 gr)
- c. Konsentrasi Air Limbah Industri Pertambangan Iodium (100 %, 75 %, 50 %)
- d. Ketinggian kolom adsorpsi (5 cm, 7,5 cm, 10 cm)

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

1. Gelas Beker 1 Liter 6 buah
2. Kuvet
3. Gelas Ukur 100 ml
4. Pipet Ukur 10 ml
5. pH Meter
6. Pipet Ukur 25 ml
7. Jerigen 25 L
8. Erlenmeyer 250 ml
9. Gelas Beker 50 ml 6 buah
10. Gelas Beker 100 ml 6 buah
11. Neraca Analitik
12. Erlenmeyer COD 2 buah
13. Botol Winkler 300 ml 2 buah
14. Botol Winkler 150 ml 2 buah
15. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
16. *Down flow fixed bed adsorption column reactor*
17. Spektrofotometer
18. Buret 25 ml
19. *Oven*
20. Buret 50 ml
21. Pipet Ukur 1 ml
22. Cawan Petridis
23. Kompor Listrik
24. Thermometer
25. *Jar test*
26. Pipet Ukur 5 ml
27. Desikator
28. Inkubator suhu 20 °C
29. Labu takar 500 ml

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Butiran Arang Batok Kelapa Berdiameter mesh 8, 10, dan 12.
2. Air Limbah Industri Pertambangan Iodium
3. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4 N yang bebas organik
4. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
5. Larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
6. Larutan Aquades
7. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
8. Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
9. Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4)
10. Larutan Standar Ferro Ammonium Sulfat 0,05 N
11. Larutan Indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (Feroin)
12. Larutan Buffer Fosfat
13. Larutan Kalium Klorida
14. Larutan Ferri Klorida
15. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
16. Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 ml air.
17. Larutan Mangan Sulfat

18. Larutan pereaksi oksigen
19. Indikator amilum 0,5 %.
20. Asam Sulfat Pekat
21. Larutan Standar Natrium Thiosulfat 0,0125 N.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Metode pelaksanaan pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.1.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Analisis karakteristik air limbah industri pertambangan iodium

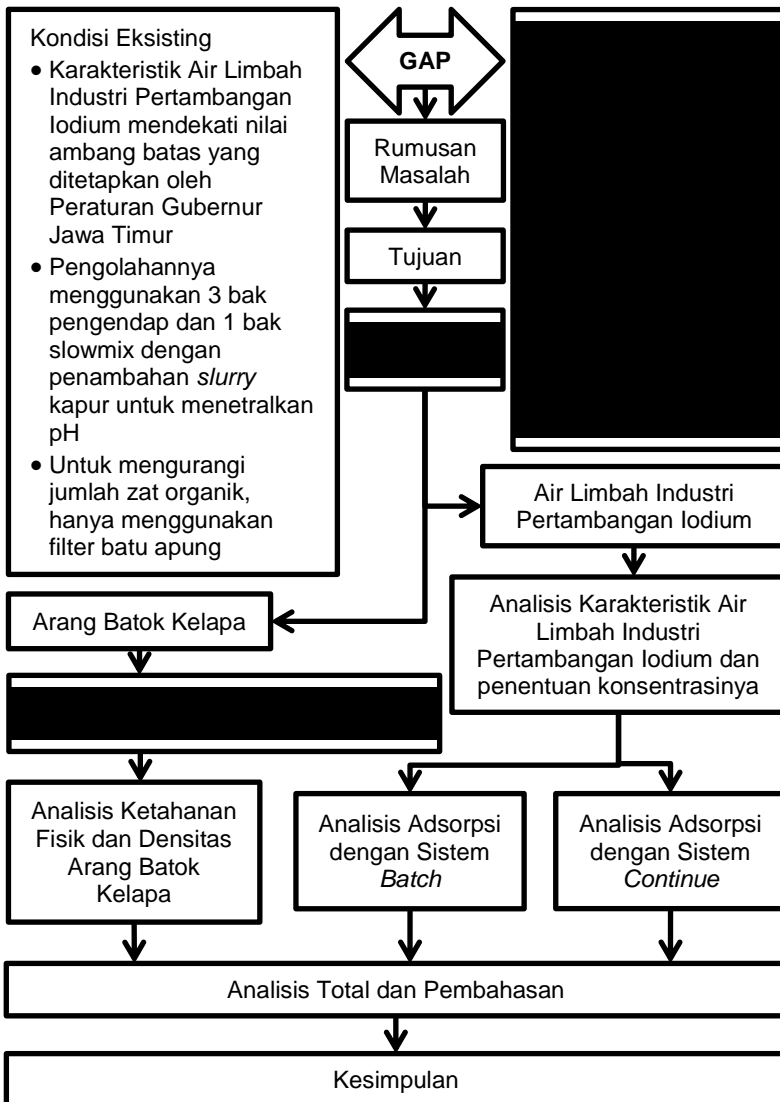
Analisis ini dilakukan dengan cara mengambil sampel air pada IPAL Industri Pertambangan Iodium dan diidentifikasi karakteristiknya, baik secara fisik maupun kimia, menggunakan parameter yang sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 serta parameter warna, *Permanganat Value* (PV), salinitas, dan Total Phosphorus. Hal ini dilakukan agar mengetahui kadar air limbah industri pertambangan iodium.

3.5.2 Uji Ketahanan Fisik dan Densitas Arang Batok Kelapa

Adsorben yang digunakan dalam percobaan ini adalah arang batok kelapa yang diperoleh dari industri pertambangan iodium yang terletak di Kabupaten Jombang. Sebelum digunakan dalam percobaan, maka dilakukan uji ketahanan fisik media dan uji densitas media.

Menurut Degremont (1991), uji ketahanan fisik arang batok kelapa bertujuan untuk mengetahui pengurangan berat media setelah dilakukan perendaman dengan larutan asam. Kelayakan fisik arang batok kelapa terpenuhi jika pengurangan berat media tidak lebih dari 2 % berat media mula-mula. Menurut Yuniarto (1999), langkah-langkah uji ketahanan fisik yaitu:

- a. Ditimbang 10 gram media adsorben yang telah diayak dan telah disimpan dalam oven 105 °C sebagai berat bersih mula-mula.
- b. Media direndam dalam larutan asam selama 24 jam.
- c. Ditiriskan dan dikeringkan dalam oven 105 °C selama 24 jam.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

- d. Media ditimbang sebagai berat kering akhir.

Sedangkan, uji densitas arang batok kelapa bertujuan untuk mengetahui berat volume arang batok kelapa dalam mengadsorpsi air limbah industri pertambangan iodium. Menurut Jannatin (2011), pengujian ini menggunakan metode *Apparent Density* dan *True Bulk Density*. *Apparent Density* merupakan berat jenis bahan media kondisi kering. Sedangkan, *True Bulk Density* merupakan berat jenis media pada keadaan jenuh air. Menurut Degremont (1991), prosedur uji densitas media yaitu:

A. *Apparent Density*

- a. Dimasukkan media adsorben yang telah dikeringkan sebanyak kira-kira 50 ml ke dalam gelas ukur 100 ml.
- b. Dipadatkan media sampai 50 ml dengan cara ditekan bagian permukaan medianya.
- c. Dikeluarkan media dari dalam gelas ukur dan ditimbang beratnya.
- d. *Apparent Density* akan diketahui menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{PAD (gram/ml)} = \text{Berat Kering Karbon} / 50 \text{ ml} \quad (3.1)$$

B. *True Bulk Density*

- a. Ditimbang 50 gram media yang telah dikeringkan
- b. Dimasukkan dalam gelas beker dan direndam media dengan air suling. Untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang terperangkap, dilakukan dengan pemanasan atau pendidihan, pengadukan, dan pengetukan.
- c. Setelah dingin, dilakukan pemisahan media dengan air.
- d. Dilakukan penimbangan terhadap media basah tersebut sebagai P gram.
- e. Dimasukkan media yang telah berisi 100 ml air suling.
- f. Volume yang terjadi dibaca sebagai V ml.
- g. Mendapatkan *true bulk density* menggunakan persamaan 3.2.

$$\text{PTd (gram/ml)} = 50 / (V-P-50) \quad (3.2)$$

3.5.3 Percobaan pendahuluan

a. Penentuan massa adsorben

Penentuan massa adsorben dilakukan dengan proses *batch*. Proses ini memvariasikan massa sebesar 50 gram, 100 gram, dan 150 gram pada 250 ml sampel dengan kecepatan putaran 60 rpm selama 3 jam. Langkah-langkah prosedurnya yaitu:

1. Siapkan 3 buah gelas beker ukuran 1 Liter
2. Isi gelas beker dengan massa yang telah ditentukan
3. Tuangkan 250 ml air limbah industri pertambangan iodium ke dalam gelas beker tersebut.
4. Atur kecepatan pengadukan pada 60 rpm selama 3 jam.
5. Setelah 3 jam, hentikan pengadukan. Kemudian, tunggu beberapa saat hingga partikel-partikel makro mengendap selama 30 menit.
6. Ambil *supernatant* pada masing-masing gelas beker untuk dianalisis warna dan *Permanganat Value* (PV)-nya.
7. Massa optimum, yang akan digunakan, ditentukan berdasarkan hasil analisis warna dan PV-nya.

b. Penentuan waktu pengadukan

Penentuan waktu pengadukan dilakukan dengan membubuhkan massa adsorben optimum pada kecepatan pengadukan 60 rpm dan dilakukan analisis warna dan PV pada interval 30 menit. Langkah-langkah prosedurnya yaitu:

1. Siapkan 3 buah gelas beker ukuran 1 Liter.
2. Tuangkan air limbah industri pertambangan iodium pada masing-masing gelas beker hingga mencapai 500 ml.
3. Tuangkan massa optimum adsorben pada masing-masing gelas beker.
4. Atur gelas beker pada *jarrest*. Kemudian, jalankan alat pengadukan pada kecepatan 60 rpm.
5. Setelah mencapai waktu pengadukan yang ditentukan dengan interval 30 menit (2 jam, 2,5 jam, 3 jam). Ambil *supernatant* pada masing-masing gelas beker untuk dilakukan analisis warna dan PV.
6. Waktu optimum, yang akan digunakan, ditentukan berdasarkan hasil analisis warna dan PV-nya.

c. Penentuan kecepatan pengadukan

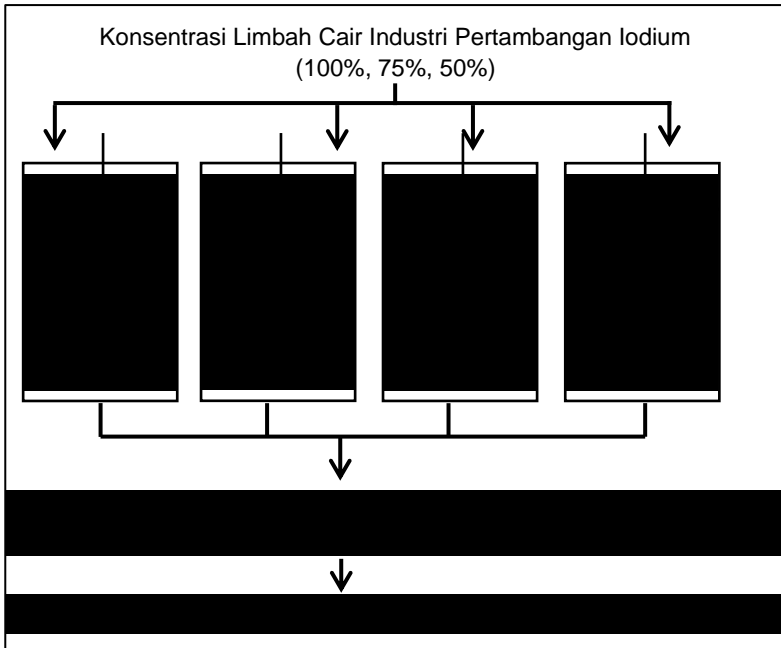
Penentuan kecepatan pengadukan atau agitasi dilakukan dengan massa optimum dan waktu pengadukan yang didapat pada penentuan massa adsorben dan penentuan waktu pengadukan. Variasi kecepatan yang digunakan adalah 60 rpm, 80 rpm, dan 100 rpm. Langkah-langkah prosedurnya yaitu:

1. Siapkan 1 buah gelas beker ukuran 1 Liter.
2. Tuangkan air limbah industri pertambangan iodium pada gelas beker hingga mencapai volume 500 ml.
3. Tuangkan massa optimum adsorben pada gelas beker.
4. Atur gelas beker pada *jartest*. Kemudian, jalankan alat tersebut pada kecepatan pengadukan 60 rpm dengan waktu pengadukan optimum.
5. Setelah tercapai waktu pengadukan optimumnya, hentikan pengadukan selama 30 menit, dan diambil *supernatant*-nya.
6. Dilakukan analisis warna dan PV pada *supernatant* tersebut.
7. Ulangi prosedur percobaan 1-6 pada kecepatan pengadukan 80 rpm dan 100 rpm.
8. Kecepatan pengadukan optimum, yang akan digunakan, ditentukan berdasarkan hasil analisis warna dan PV-nya.

3.5.4 Analisis adsorpsi dengan sistem *batch*

Analisis adsorpsi dengan sistem *batch* dilakukan dengan variabel yang disajikan pada subbab 3.2. Diagram kerja adsorpsi secara *batch* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Analisis ini menggunakan alat *jartest* sebagai pengaduk. Kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan massa adsorben yang digunakan adalah kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan massa adsorben yang telah dilakukan percobaan pendahuluan sehingga didapat nilai optimumnya. Selanjutnya, langkah-langkah analisis ini yaitu:

- a. Menyiapkan 4 gelas beker ukuran 1 Liter yang telah dibersihkan
- b. Menyiapkan air limbah industri pertambangan iodium dengan konsentrasi 100 %, 75 %, dan 50 %.



Gambar 3.2. Skema Percobaan Pada Sistem Adsorpsi Secara *Batch*

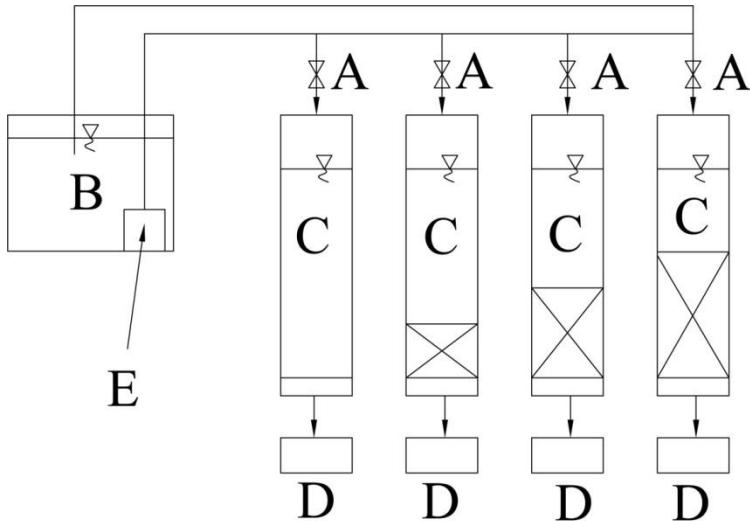
- c. Gelas beker diisi masing-masing air limbah industri pertambahan iodium sampai 500 ml dengan rincian 1 gelas beker untuk 1 konsentrasi.
- d. Gelas beker sisanya diisi dengan aquades sampai 500 ml sebagai blanko.
- e. Diletakkan gelas beker tersebut pada alat *jartest*.
- f. Dimasukkan adsorben sebanyak massa optimum yang didapat dari hasil percobaan pendahuluan menggunakan ukuran media mesh 8 (3,35-2,36 mm). pada 3 gelas beker yang berisi air limbah industri pertambahan iodium, dan 1 gelas beker yang berisi aquades tanpa adsorben sebagai kontrol.
- g. Dijalankan alat *jartest* dengan kecepatan putaran dan waktu pengadukan yang didapat pada percobaan pendahuluan.

- h. Setelah dicapai waktu pengadukan dan didiamkan selama 30 menit, dilakukan pengambilan sampel *supernatant* dari tiap gelas beker.
- i. Dilakukan analisis warna, PV, COD, dan BOD pada masing-masing sampel.
- j. Diulangi langkah a sampai j untuk ukuran media mesh 10 (2,36-2,00 mm) dan ukuran media mesh 12 (2,00-1,63 mm).

3.5.5 Analisis adsorpsi dengan sistem *continue*

Analisis adsorpsi dengan sistem *continue* adalah lanjutan dari sistem *batch*. Analisis ini menggunakan konsentrasi air limbah, ukuran media, dan massa adsorben optimum yang didapat dari analisis adsorpsi dengan sistem *batch* dan percobaan pendahuluan. Diagram kerja adsorpsi secara *continue* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kolom akan diisi dengan adsorben dengan variasi ketinggian media. Pada sistem ini, akan dipertahankan tinggi muka air dengan tujuan membuat kesamaan lamanya waktu kontak antara sistem *batch* dan *continue*. Penelitian ini menggunakan 4 buah kolom adsorpsi yang terbuat dari kaca atau plastik dengan pembagiannya yaitu 1 kolom digunakan sebagai kolom kontrol dan 3 kolom digunakan untuk variasi ketinggian media. Langkah-langkah analisis ini yaitu:

- a. Peralatan disusun seperti terlihat pada Gambar 3.3.
- b. Disiapkan sampel air limbah industri pertambangan iodium yang nilainya optimum.
- c. 3 kolom diisi media adsorben dengan ukuran media optimum yang didapat pada sistem *batch*.
- d. Dijalankan reactor *continue* dengan debit disesuaikan
- e. Pengambilan sampel dari setiap efluen kolom dilakukan pada interval 1 jam hingga mencapai *breakthrough*.
- f. Dilakukan analisis warna, PV, COD, dan BOD pada masing-masing sampel.



Keterangan:

- A = Valve
- B = Bak Pengumpul Air Limbah
- C = Reaktor Kolom
- D = Bak Penampung *Effluent*
- E = Pompa *Submersible*

Gambar 3.3. Skema Percobaan Pada Sistem Adsorpsi Secara *Continue*

3.6 Analisis Parameter

3.6.1. Warna

3.6.1.1. Penentuan panjang gelombang

Menurut Jannatin (2011), penentuan panjang gelombang menggunakan spektrofotometri. Dilakukan pembacaan blanko dan sampel pada beberapa ukuran panjang gelombang hingga didapat panjang gelombang optimum. Langkah-langkahnya yaitu:

1. Diambil sampel air limbah ke kuvet.
2. Pengaturan panjang gelombang, dimulai dari panjang gelombang 450 nm.
3. Pengaturan nilai blanko (aquades) pada spektrofotometer.

4. Pembacaan sampel air limbah pada spektrofotometer. Dicatat hasil pembacaannya.
5. Ulangi prosedur nomor 3 dan 4 untuk panjang gelombang berbeda hingga 465 nm. Dicatat hasil pembacaannya.
6. Hasil pembacaan berupa nilai adsorbansi dari masing-masing panjang gelombang dibuat grafik.
7. Dari grafik tersebut, didapat nilai adsorbansi optimum pada panjang gelombang.

3.6.1.2. Pembuatan kurva kalibrasi

Menurut Jannatin (2011), sampel yang diukur memiliki kecenderungan menyerap pancaran dari gelombang elektromagnetik sehingga pada panjang gelombang tertentu dapat terlihat. Alat spektrofotometer yang digunakan dapat langsung memperlihatkan nilai adsorbansi. Dengan membuat pembacaan pada beberapa konsentrasi yang diukur adsorbansinya pada panjang gelombang tertentu, dapat digambarkan kurva kalibrasi dan persamaan regresinya. Langkah-langkahnya yaitu:

1. Membuat larutan air limbah dengan konsentrasi 100 %, 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 %, 40 %, 30 %, 20 %, 10 %, dan 0 %.
2. Dilakukan proses pembacaan menggunakan spektrofotometer pada masing-masing air limbah tersebut. Dicatat nilai adsorbansi pada masing-masing air limbah tersebut.
3. Nilai-nilai tersebut dibuat kurva kalibrasi antara nilai adsorbansi dengan konsentrasi warna.
4. Didapat persamaan linier dan nilai regresinya.. Untuk pembacaan konsentrasi warna pada sampel didapat berdasarkan nilai adsorbansi air limbah yang dimasukkan dalam persamaan kurva kalibrasi. Pada persamaan linier $y = ax + b$, ditentukan bahwa nilai adsorbansi pada garis ordinat dan nilai konsentrasi warna adalah garis absis.

3.6.1.3. Penentuan nilai konsentrasi warna

Menurut Hermana (2006), langkah-langkah analisis ini yaitu:

1. Tuang aquadest sebagai blanko ke kuvet. Dibaca menggunakan spektrofotometer. Dicatat hasil pembacaannya.

2. Tuang air limbah ke kuvet. Dibaca menggunakan spektrofotometer. Dicatat hasil pembacaannya.
3. Hitung konsentrasi warna air limbah dari hasil analisis metode menggunakan persamaan linier yang telah dibuat pada penentuan kurva kalibrasi.

3.6.2. Permanganat Value (PV)

Menurut Hermana (2006), langkah-langkah analisis ini yaitu:

1. Tuang sampel air limbah sebanyak 100 ml dengan gelas ukur.
2. Tambahkan 2,5 ml asam sulfat 4 N bebas organik
3. Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
4. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit
5. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) 0,01 N.
6. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
7. Tambahkan 10 ml Larutan Asam Oksalat 0,01 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
8. Titrasi dengan Kalium Permanganat (KMnO_4) sampai timbul warna merah muda.
9. Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan persamaan 3.3.

$$KMnO_4 \text{ per liter} = \frac{1000}{\text{volume sampel}} \times \{[(10 + a) \times N] - (1 \times 0,1)\} \times 31,6 \times P \quad (3.3)$$

dimana:

- a : ml titrasi larutan Kalium Permanganat (KMnO_4)
- N : Normalitas larutan Kalium Permanganat (KMnO_4)
- P : Pengenceran

3.6.3. Chemical Oxygen Demand (COD)

Menurut Hermana (2006), langkah-langkah analisis ini yaitu:

1. Dimasukkan 0,4 gram Kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.

2. Tuangkan 20 ml air limbah dan 20 ml aquades (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
3. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
4. Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan kompor listrik dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquades melalui kondensor hingga volume mencapai 150 ml.
8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
10. Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar Ferro Ammonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah-cokelat.
11. Hitung COD pada air limbah tersebut menggunakan persamaan 3.4.

$$COD \left(\frac{mg}{L} O_2 \right) = \frac{(a-b) \times N \times 8.000}{Volume\ Air\ Limbah} \times f \times p \quad (3.4)$$

dimana:

- a : ml FAS pada titrasi blanko
- b : ml FAS pada titrasi air limbah
- N : Normalitas larutan FAS
- f : faktor (20 : titran blanko ke dua)
- p : Pengenceran

3.6.4. Biological Oxygen Demand (BOD)

Menurut Hermana (2006), terdapat 2 sub-analisis, yaitu:

3.6.4.1. Pembuatan air pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya air limbah yang akan dianalisis. Langkah-langkahnya yaitu:

1. Tambahkan 1 ml larutan Buffer Fosfat per liter air.
2. Tambahkan 1 ml larutan Magnesium Sulfat per liter air.
3. Tambahkan 1 ml larutan Kalium Klorida per liter air.

4. Tambahkan 1 ml larutan Ferri Klorida per liter air.
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor.
6. Aerasi minimal selama 2 jam.
7. Tambahkan 1 m larutan benih per liter air.

3.6.4.2. Prosedur BOD

A. Menentukan pengenceran

Untuk menganalisis BOD, harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ menggunakan persamaan 3.5.

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{3 \text{ atau } 5} \quad (3.5)$$

B. Prosedur BOD dengan Winkler

1. Siapkan 1 buah labu takar 500 ml dan tuangkan air limbah sesuai dengan perhitungan pengenceran. Ditambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol Winkler 300 ml dan 2 buah botol Winkler 150 ml.
3. Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol Winkler 300 ml dan 150 ml sampai tumpah.
4. Tuangkan air pengencer ke botol Winkler 300 ml dan 150 ml sebagai blanko sampai tumpah.
5. Dimasukkan kedua botol Winkler 300 ml ke dalam incubator 20 °C selama 5 hari.
6. Kedua botol Winkler 150 ml yang berisi ari dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedurnya yaitu:
 - a. Tambahkan 1 ml larutan Mangan Sulfat
 - b. Tambahkan 1 ml larutan pereaksi oksigen
 - c. Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara dalam botol. Lalu, dibolak-balikkan botol tersebut beberapa kali.
 - d. Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - e. Tambahkan 1 ml Asam Sulfat pekat. Tutup dan bolak-balikkan botol tersebut.
 - f. Tuangkan 100 ml larutan ke dalam erlenmeyer 250 ml.
 - g. Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,00125 N sampai warna menjadi coklat muda.

- h. Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum. Titrasi dengan Natrium Thiosulfat hingga warna biru hilang.
7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol Winkler 300 ml dengan analisis oksigen terlarut.
 8. Hitung oksigen terlarut dan BOD menggunakan persamaan 3.6 hingga persamaan 3.8.

$$OT \left(\frac{mg \ O_2}{L} \right) = \frac{a \times N \times 8.000}{100 \ ml} \quad (3.6)$$

$$BOD_5^{20} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)\} X (1 - P)}{P} \quad (3.7)$$

$$P = \frac{ml \ air \ limbah}{Volume \ hasil \ pengenceran} \quad (3.8)$$

dimana:

- X0 : oksigen terlarut air limbah pada t=0
- X5 : oksigen terlarut air limbah pada t=5
- B0 : oksigen terlarut blanko pada t=0
- B5 : oksigen terlarut blanko pada t=5
- P : derajat pengenceran

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji Pendahuluan

4.1.1. Uji densitas dan ketahanan fisik arang batok kelapa

Analisis pertama yaitu uji densitas arang batok kelapa. Metode yang digunakan pada uji densitas ini adalah metode *apparent density* dan *true bulk density*. Hasil uji densitas yang disajikan pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai densitas pada diameter mesh 12 paling besar daripada diameter mesh lainnya. Hal ini dikarenakan bahwa semakin besar diameter mesh adsorben, maka pori pada adsorben akan semakin kecil juga sehingga nilai massa volume akan semakin besar.

Tabel 4.1. Hasil Analisis Densitas Media dengan Metode *Apparent Density* dan *True Bulk Density*

| Diameter | Apparent Density (gr/ml) | True Bulk Density (gr/ml) |
|----------|--------------------------|---------------------------|
| Mesh 8 | 0,5573 | 1,1163 |
| Mesh 10 | 0,6507 | 1,7060 |
| Mesh 12 | 0,6589 | 1,7097 |

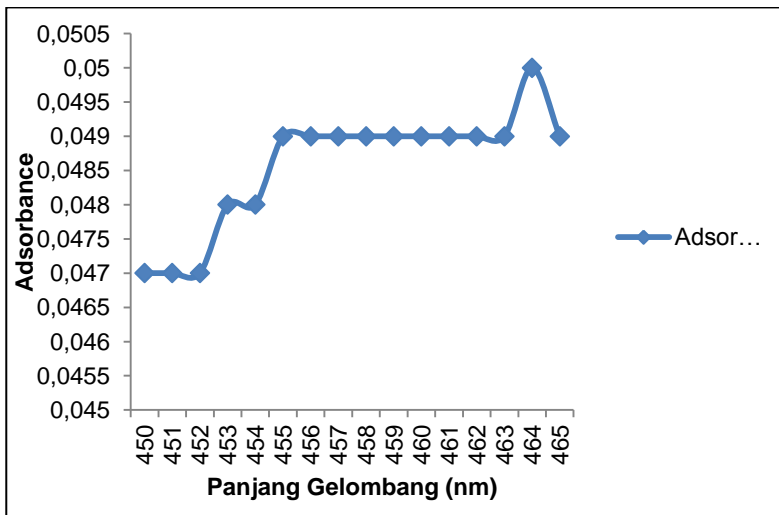
Analisis kedua yaitu dilakukan uji ketahanan fisik dari arang batok kelapa. Dari pengujian tersebut, didapat hasil uji ketahanan fisik arang batok kelapa yang disajikan pada Tabel 4.2. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa semua jenis ukuran arang batok kelapa terjadi penurunan berat sebesar 8-9 % setelah direndam asam kuat (HCl) dan pemanasan menggunakan oven 105 °C selama 24 jam. Persentase nilai massa arang batok kelapa hasil pengujian lebih kecil dari 10 % menunjukkan bahwa arang batok kelapa layak untuk digunakan sebagai adsorben.

Tabel 4.2. Hasil Analisis Uji Ketahanan Fisik Media

| Diameter | Massa Media Awal (gr) | Massa Media Akhir (gr) | Persentase Kehilangan Massa (%) |
|----------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| Mesh 8 | 10,0007 | 9,0844 | 9,16 |
| Mesh 10 | 10,0014 | 9,0571 | 9,44 |
| Mesh 12 | 10,0010 | 9,1630 | 8,38 |

4.1.2. Kalibrasi warna

Analisis ketiga yaitu pembuatan kurva kalibrasi warna pada air limbah industri pertambangan iodium. Kalibrasi warna dilakukan untuk menentukan panjang gelombang optimum. Kalibrasi warna ini menggunakan Spektrofotometer. Rentang panjang gelombang yang digunakan untuk warna alami atau murni dari air limbah tersebut adalah 450 – 465 nm (Cleceri, 1998). Hasil dari kalibrasi warna yang disajikan pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa panjang gelombang yang optimum yaitu 464 nm.



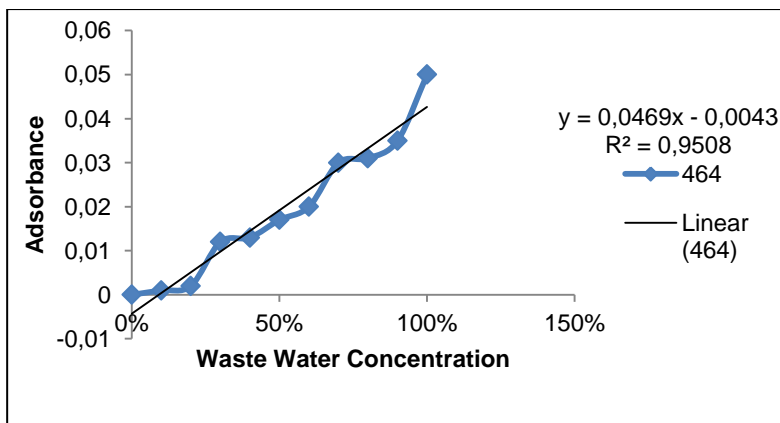
Gambar 4.1. Kurva Kalibrasi Warna

Setelah didapat panjang gelombang optimum pada Gambar 4.1, dibuat kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi warna air limbah industri pertambangan iodium pada penelitian sehingga didapat persamaan regresi warnanya dari Gambar 4.2 yaitu $y = 0,0469x - 0,0043$.

4.1.3. Analisis karakteristik air limbah

Analisis keempat pada penelitian ini adalah analisis karakteristik air limbah industri pertambangan iodium. Pada analisis ini, dilakukan pengambilan data sekunder dengan cara

mendata influen dan efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri pertambangan iodium yang hasilnya disajikan pada Tabel 4.3 hingga Tabel 4.11. Setelah didapat data tersebut, dilakukan pengambilan sampel air limbah industri pertambangan iodium dengan 3 waktu yang berbeda di hari yang sama dan dianalisis di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan (MKL), Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Parameter yang digunakan sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 beserta parameter salinitas. *Permanganat Value* (PV), Total P, dan Total Iodium. Hasil analisis ini disajikan pada Tabel 4.12.



Gambar 4.2. Hasil Kalibrasi Warna dengan Panjang Gelombang 464 nm

Tabel 4.3. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Oktober 2015

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|--------|------------|-------------|---|
| pH | - | 1,92 | 8,01 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 1,11 | 16,23 | 100 |
| COD | mg/L | 292,7 | 285,6 | 300 |
| TSS | mg/L | 21 | 26 | 100 |
| Total N | mg/L | 3,16 | 1,145 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,012 | 0,02 | 1 |

Tabel 4.4. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan November 2015

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|---------------|-------------------|--------------------|--|
| pH | - | 2,27 | 6,45 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 1,5 | 2,86 | 100 |
| COD | mg/L | 296,8 | 217,9 | 300 |
| TSS | mg/L | 94 | 74 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,374 | 0,28 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,01 | 0,031 | 1 |

Tabel 4.5. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Desember 2015

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|---------------|-------------------|--------------------|--|
| pH | - | 2,13 | 6,9 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 19,44 | 18,96 | 100 |
| COD | mg/L | 126,2 | 56,38 | 300 |
| TSS | mg/L | 38 | 43 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,628 | 0,376 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0 | 0 | 1 |

Tabel 4.6. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Januari 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|---------------|-------------------|--------------------|--|
| pH | - | 2,13 | 6,95 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 6 | 12,51 | 100 |
| COD | mg/L | 169,8 | 51,55 | 300 |
| TSS | mg/L | 51 | 29 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,205 | 0,106 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0 | 0 | 1 |

Tabel 4.7. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Februari 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|---------------|-------------------|--------------------|--|
| pH | - | 2,13 | 6,75 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 123,5 | 49,98 | 100 |
| COD | mg/L | 356,5 | 131,9 | 300 |
| TSS | mg/L | 203 | 100 | 100 |
| Total N | mg/L | 1,618 | 0,594 | 30 |

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|-----------|--------|------------|-------------|---|
| Phenol | mg/L | 0,096 | 0,021 | 1 |

Tabel 4.8. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Maret 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|--------|------------|-------------|---|
| pH | - | 2,46 | 7,3 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 5,52 | 3,18 | 100 |
| COD | mg/L | 605,3 | 107,4 | 300 |
| TSS | mg/L | 12 | 25 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,146 | 8,650 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0 | 0 | 1 |

Tabel 4.9. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan April 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|--------|------------|-------------|---|
| pH | - | 1,97 | 7,79 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 84,72 | 10,59 | 100 |
| COD | mg/L | 278,1 | 45,41 | 300 |
| TSS | mg/L | 30,5 | 12 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,479 | 0,282 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,267 | 0,189 | 1 |

Tabel 4.10. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Mei 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|--------|------------|-------------|---|
| pH | - | 2,85 | 6,48 | 6 - 9 |
| BOD ₅ | mg/L | 76,32 | 57,12 | 100 |
| COD | mg/L | 324,2 | 242,8 | 300 |
| TSS | mg/L | 25 | 63 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,425 | 0,58 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,1 | 0,038 | 1 |

Tabel 4.11. Data Analisis IPAL Industri Pertambangan Iodium Bulan Juni 2016

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|-----------|--------|------------|-------------|---|
| pH | - | 2,56 | 6,94 | 6 - 9 |

| Parameter | Satuan | Inlet IPAL | Outlet IPAL | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|------------------|--------|------------|-------------|---|
| BOD ₅ | mg/L | 43,05 | 52,80 | 100 |
| COD | mg/L | 259,8 | 126,6 | 300 |
| TSS | mg/L | 126 | 54 | 100 |
| Total N | mg/L | 0,59 | 0,453 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,106 | 0,121 | 1 |

Tabel 4.12. Hasil Analisis *Outlet* IPAL Industri Pertambangan Iodium tanggal 14 Maret 2016

| Parameter | Unit | Outlet IPAL | | | Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Farmasi |
|-----------|------|-------------|-----------|-----------|---|
| | | 11.00 WIB | 12.00 WIB | 13.00 WIB | |
| pH | - | 8,25 | 8,3 | 8,35 | 6 - 9 |
| BOD | mg/L | 11 | 9 | 2 | 100 |
| COD | mg/L | 19 | 15 | 4 | 300 |
| TSS | mg/L | 15 | 14 | 14 | 100 |
| Total N | mg/L | 56,67 | 65,67 | 88,11 | 30 |
| Phenol | mg/L | 0,084 | 0,012 | 0,136 | 1 |
| PV | ml/L | 53,72 | 49,3 | 51,82 | - |
| Salinitas | mg/L | 24,9 | 25 | 25,1 | - |

Dari Tabel 4.3 hingga Tabel 4.12, didapat perbedaan hasil analisis antara laboratorium MKL dan industri tersebut. Hal ini disebabkan adanya kadar salinitas pada air sampel tersebut sehingga analisis COD dan BOD serta PV terganggu oleh salinitas. Namun, setelah menyingkirkan kadar salinitas pada air limbah industri pertambangan iodium, hasil analisis Total N pada Tabel 4.4 melebihi nilai baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014.

4.1.4. Penentuan massa adsorben

Analisis kelima yaitu analisis adsorpsi dengan sistem *batch* menggunakan *jartest* untuk menentukan massa optimum adsorben. Dari analisis tersebut, didapat hasil yang disajikan pada Tabel 4.13. Berdasarkan Tabel 4.13, massa yang paling optimum adalah massa sebesar 12,5 gram dengan nilai persentase optimumnya dari parameter PV, BOD, COD, dan warna masing-masing sebesar 35,05 %, 9,09 %, 17,39 %, dan 78,00 %. Hal ini dikarenakan faktor adsorben yang menghasilkan abu saat pengadukan sehingga mengganggu pembacaan.

Tabel 4.13. Hasil Analisis Variasi Massa Adsorben Menggunakan *Jartest*

| Parameter | Variasi Massa (gr) | | | | Persentase Removal (%) | | |
|------------|--------------------|-------|-------|------|------------------------|-------|-------|
| | 0 | 12,5 | 25 | 50 | 12,5 gr | 25 gr | 50 gr |
| PV (mg/L) | 79,79 | 51,82 | 53,72 | 57,7 | 35,05 | 32,67 | 27,69 |
| BOD (mg/L) | 11 | 10 | 11 | 11 | 9,09 | 0 | 0 |
| COD (mg/L) | 23 | 19 | 19 | 19 | 17,39 | 7,39 | 17,39 |
| Warna (A) | 0,05 | 0,011 | 0,014 | 0,02 | 78,00 | 72,00 | 60,00 |

4.1.5. Penentuan waktu pengadukan

Analisis keenam yaitu analisis adsorpsi dengan sistem *batch* menggunakan *jartest* untuk menentukan waktu pengadukan optimum sehingga adsorben dapat meng-adsorpsi adsorbat hingga mencapai batas maksimal. Hasil dari analisis ini disajikan pada Tabel 4.14. Tabel 4.14 menunjukkan bahwa waktu pengadukan selama 180 menit atau 3 jam memiliki efisiensi removal yang tinggi.

Tabel 4.14. Hasil Analisis Variasi Waktu Pengadukan Menggunakan *Jartest*

| Waktu (menit) | Warna (A) | BOD (mg/L) | COD (mg/L) | PV (mg/L) |
|---------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 0 | 0,050 | 11 | 23 | 111,7 |
| 30 | 0,026 | 13 | 29 | 94,52 |
| 60 | 0,024 | 10 | 23 | 93,29 |
| 90 | 0,022 | 10 | 23 | 88,39 |
| 120 | 0,021 | 9 | 20 | 87,16 |
| 150 | 0,024 | 7 | 16 | 87,16 |
| 180 | 0,019 | 6 | 15 | 79,79 |
| 210 | 0,020 | 8 | 18 | 87,16 |

4.1.6. Penentuan kecepatan pengadukan

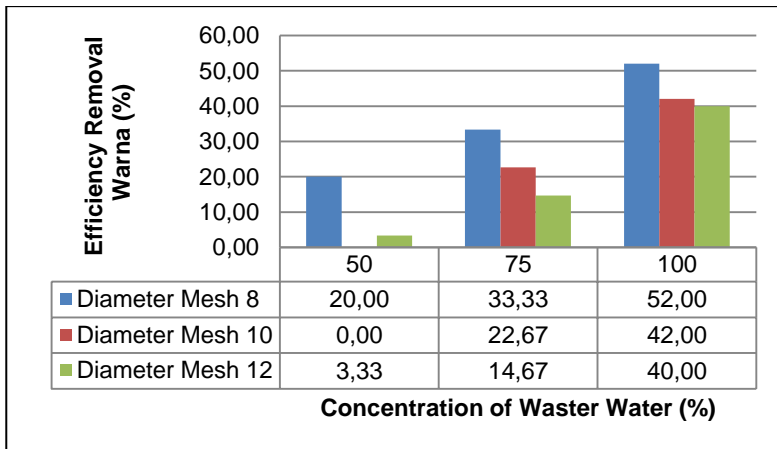
Analisis ketujuh yaitu analisis adsorpsi dengan sistem *batch* menggunakan *jartest* untuk menentukan kecepatan pengadukan optimum sehingga adsorben dapat meng-adsorpsi adsorbat hingga mencapai batas maksimal. Hasil dari analisis ini disajikan pada Tabel 4.15. Tabel 4.15 menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan yang optimum adalah 50 rpm. Apabila kecepatan pengadukan kurang dari 50 rpm, didapatkan efisiensi removal menurun akibat agitasi yang dilakukan terlalu kecil.

Tabel 4.15. Hasil Analisis Variasi Kecepatan Pengadukan Menggunakan *Jartest*

| Kecepatan Pengadukan (rpm) | Warna (A) | PV (mg/L) | COD (mg/L) | BOD (mg/L) |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 0 | 0,05 | 94,52 | 24 | 12 |
| 40 | 0,023 | 93,29 | 23 | 11 |
| 50 | 0,021 | 79,79 | 21 | 10 |
| 60 | 0,024 | 88,39 | 24 | 11 |

4.2. Analisis Adsorpsi dengan Sistem *Batch*

Analisis kedelepan yaitu analisis adsorpsi secara *batch* menggunakan *jartest* untuk menentukan konsentrasi air limbah dan ukuran media adsorben optimum sehingga adsorben dapat meng-adsorpsi adsorbat hingga mencapai batas maksimal. Hasil analisis adsorpsi secara *batch* dengan parameter Warna, PV, COD, dan BOD disajikan pada Gambar 4.3 hingga Gambar 4.6.



Gambar 4.3. Hasil Analisis Adsorpsi Secara *Batch* pada Parameter Warna

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi air limbah industri pertambangan iodium, maka rentang efisiensi *removal* warna yang didapat semakin besar juga. Hal ini sangat berbeda dengan hasil yang didapat dari 3 parameter selanjutnya

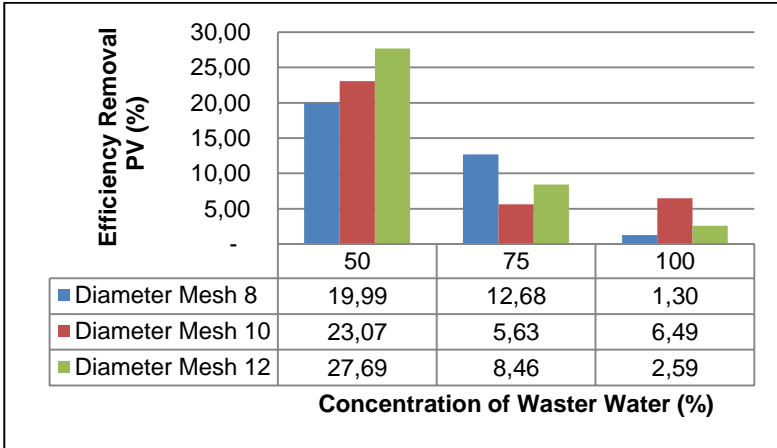
dikarenakan adanya faktor abu pada adsorben sehingga mengalami gangguan pembacaan parameter warna menggunakan spektrofotometer. Rentang efisiensi yang didapat dari konsentrasi air limbah 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing adalah 0-20 %, 14,67-33,33 %, dan 40-52 %. Berdasarkan ukuran diameter adsorbennya, tren efisiensi *removal* warna menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan nilai efisiensi *removal* warna seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal* warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 8 dengan konsentrasi air limbah sebesar 100 %.

Hal ini berbeda dengan penelitian Jannatin (2011) yang menunjukkan bahwa rentang efisiensi *removal* warna dari konsentrasi air limbah cair industri batik sebesar 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing sebesar 88,65-100 %, 78,33-100 %, dan 66,56-85,21 %. Tren efisiensi *removal* warna penelitian Jannatin (2011) menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai efisiensi *removal* warna seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal* warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 8 dengan konsentrasi air limbah sebesar 50 %.

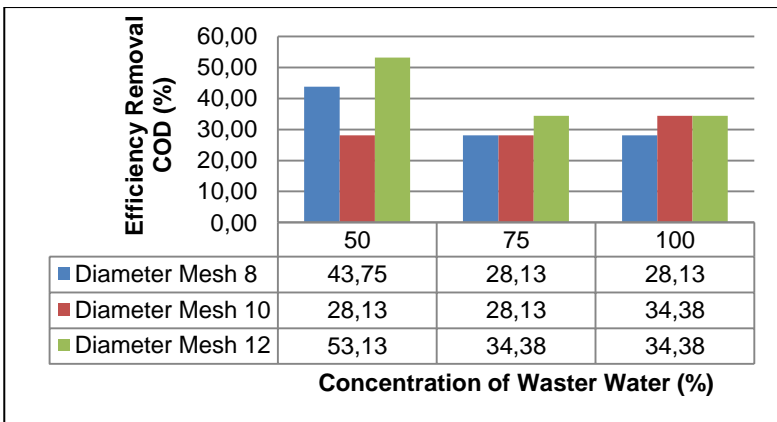
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi air limbah industri pertambangan iodium, maka rentang efisiensi *removal* PV yang didapat semakin kecil. Rentang efisiensi yang didapat dari konsentrasi air limbah 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing adalah 19,99-27,69 %, 5,63-12,68 %, dan 1,3-6,49 %. Berdasarkan ukuran diameter adsorbennya, tren efisiensi *removal* warna menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai efisiensi *removal* PV seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal* warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 12 dengan konsentrasi air limbah sebesar 50 %.

Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian Jannatin (2011) yang menunjukkan bahwa rentang efisiensi *removal* PV dari konsentrasi air limbah cair industri batik sebesar 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing sebesar 7,55-50,94 %, 7,5-83,75 %, dan

29,52-39,42 %. Berdasarkan ukuran diameter adsorbennya, tren efisiensi *removal* PV menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai efisiensi *removal* warna seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal* warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 10 dengan konsentrasi air limbah sebesar 75 %.

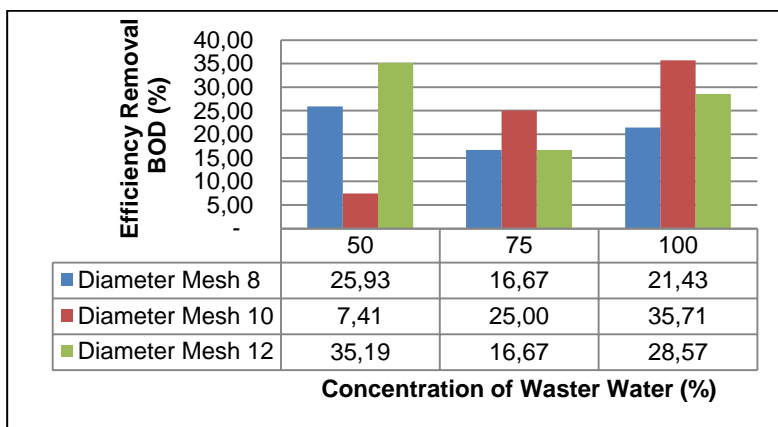


Gambar 4.4. Hasil Analisis Adsorpsi Secara *Batch* pada Parameter PV



Gambar 4.5. Hasil Analisis Adsorpsi Secara *Batch* pada Parameter COD

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi air limbah industri pertambangan iodium, maka rentang efisiensi *removal* COD yang didapat semakin kecil kecuali adsorben diameter mesh 10 yang terjadi peningkatan. Rentang efisiensi yang didapat dari konsentrasi air limbah 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing adalah 28,13-53,13 %, 28,13-34,38 %, dan 28,13-34,38 %. Berdasarkan ukuran diameter adsorbennya, tren efisiensi *removal* warna menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai efisiensi *removal* warna seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal* warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 12 dengan konsentrasi air limbah sebesar 50 %.



Gambar 4.6. Hasil Analisis Adsorpsi Secara *Batch* pada Parameter BOD

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa tren nilai efisiensi *removal* BOD bervariasi kecuali adsorben diameter mesh 10 yang mengalami peningkatan nilai efisiensi *removal* seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Rentang efisiensi yang didapat dari konsentrasi air limbah 50 %, 75 %, dan 100 % masing-masing adalah 7,41-35,19 %, 16,67-25 %, dan 21,43-28,57 %. Berdasarkan ukuran diameter adsorbennya, tren efisiensi *removal* warna menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai efisiensi *removal* warna seiring meningkatnya konsentrasi air limbah. Dengan demikian, nilai efisiensi *removal*

warna paling baik didapat dari adsorben berdiameter mesh 12 dengan konsentrasi air limbah sebesar 50 %.

Berdasarkan Gambar 4.3 hingga Gambar 4.6, efisiensi removal yang paling efektif untuk meng-adsorpsi warna, PV, COD, dan BOD yaitu pada adsorben berdiameter mesh 12, massa adsorben 12,5 gram per liter, dengan konsentrasi air limbah 50 %.

4.3. Adsorpsi Isothermis pada Parameter Warna

Dalam penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa, digunakan persamaan isoterm dengan melakukan plot data hasil analisis warna. Persamaan isoterm yang digunakan yaitu persamaan Isoterm Freundlich, Isoterm Langmuir, dan Isoterm BET. Dari 3 isoterm tersebut, akan dipilih persamaan yang menghasilkan nilai regresi yang paling linier, yaitu nilai konstanta mendekati satu (1). Perhitungan isoterm dimaksudkan untuk melihat kecenderungan data yang diperoleh dari 3 isoterm tersebut. Untuk mengetahui kecenderungan itu, maka nilai regresi dari 3 isoterm tersebut akan dibandingkan.

4.3.1. Isoterm Freundlich

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Freundlich ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.16 hingga Tabel 4.18.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi Warna Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi Warna Akhir (mg/L)

V : Volume Larutan (L)

m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)

x : Warna Ter-adsorp (mg/L)

x/m : Warna Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui

$m = 12.500 \text{ mg/L}$

Table 16: Equilibrium between Ferulic acid and Ethyl Ferulate in Benzene at 25°C

| Konzentration Ferulic acid (g) | Mass Ferulic acid (g) | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) | V_1 (L) | V_2 (L) | x_1 (mol/L) | x_2 (mol/L) | x_{12} | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|----------|------------------|------------------|
| 100 | 12,5 | 0,75 | 0,0 | 1 | 12500 | 0,75 | 0,0000 | 0,0000 | 0,75 | 0,0 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,2 | 1 | 12500 | 0,73 | 0,0001 | 0,0001 | 0,72 | 0,2 |
| 50 | 12,5 | 0,75 | 0,4 | 1 | 12500 | 0,73 | 0,0001 | 0,0001 | 0,72 | 0,4 |

Table 17: Equilibrium between Ferulic acid and Ethyl Ferulate in Benzene at 25°C

| Konzentration Ferulic acid (g) | Mass Ferulic acid (g) | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) | V_1 (L) | V_2 (L) | x_1 (mol/L) | x_2 (mol/L) | x_{12} | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|----------|------------------|------------------|
| 100 | 12,5 | 0,75 | 0,7 | 1 | 12500 | 0,45 | 0,0000 | 0,0000 | 0,45 | 0,7 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,7 | 1 | 12500 | 0,4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,4 | 0,7 |
| 50 | 12,5 | 0,75 | 0,73 | 1 | 12500 | 0,4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,4 | 0,73 |

Table 18: Equilibrium between Ferulic acid and Ethyl Ferulate in Benzene at 25°C

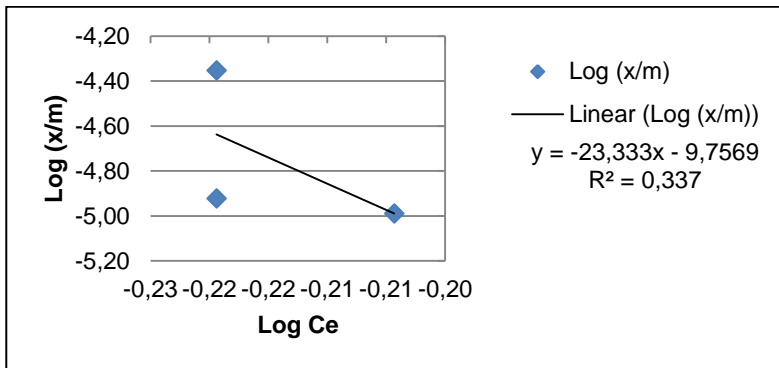
| Konzentration Ferulic acid (g) | Mass Ferulic acid (g) | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) | V_1 (L) | V_2 (L) | x_1 (mol/L) | x_2 (mol/L) | x_{12} | C_1 (mol/L) | C_2 (mol/L) |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|----------|------------------|------------------|
| 100 | 12,5 | 0,75 | 0,73 | 1 | 12500 | 0,43 | 0,0000 | 0,0000 | 0,43 | 0,73 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,77 | 1 | 12500 | 0,4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,4 | 0,77 |
| 50 | 12,5 | 0,75 | 0,77 | 1 | 12500 | 0,4 | 0,0000 | 0,0000 | 0,4 | 0,77 |

$$\begin{aligned} C_o &= 1,16 \text{ mg/L} \\ C_e &= 0,60 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Sehingga

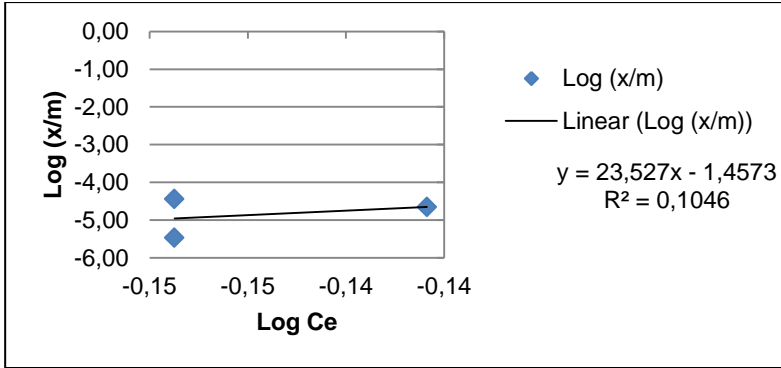
$$\begin{aligned} x &= C_o - C_e = (1,16 - 0,60) \text{ mg/L} = 0,55 \text{ mg/L} \\ x/m &= 0,55 / 12.500 = 0,00004 \\ \text{Log } C_e &= \text{Log } (0,60) = -0,22 \\ \text{Log } (x/m) &= \text{Log } (0,00004) = -4,35 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.16 hingga Tabel 4.18 dibuat grafik yang menghubungkan antara Log Ce dan Log (x/m). Grafik disajikan pada Gambar 4.7 hingga Gambar 4.9.

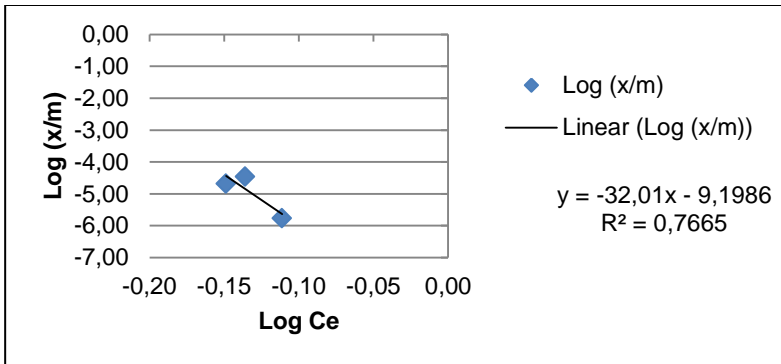


Gambar 4.7. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

Berdasarkan Gambar 4.7 hingga Gambar 4.9, hasil nilai regresi isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,337; 0,1046; dan 0,7665. Nilai regresi yang didapat cukup rendah, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.



Gambar 4.8. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.9. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.3.2. Isoterm Langmuir

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Langmuir ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.19 hingga Tabel 4.21.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi Warna Awal (mg/L)

Tabel 4.19. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|------|-----------|
| 100 | 12,5 | 1,16 | 0,60 | 1 | 12500 | 0,55 | 0,00004 | 1,66 | 22.548,08 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,62 | 1 | 12500 | 0,13 | 0,00001 | 1,60 | 97.708,33 |
| 50 | 12,5 | 0,45 | 0,60 | 1 | 12500 | 0,15 | 0,00001 | 1,66 | 83.750,00 |

Tabel 4.20. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|----------|------|------------|
| 100 | 12,5 | 1,16 | 0,71 | 1 | 12500 | 0,45 | 0,000036 | 1,41 | 27.916,67 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,71 | 1 | 12500 | 0,04 | 0,000003 | 1,41 | 293.125,00 |
| 50 | 12,5 | 0,45 | 0,73 | 1 | 12500 | 0,28 | 0,000022 | 1,37 | 45.096,15 |

Tabel 4.21. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|----------|------|------------|
| 100 | 12,5 | 1,16 | 0,73 | 1 | 12500 | 0,43 | 0,000034 | 1,37 | 29.312,50 |
| 75 | 12,5 | 0,75 | 0,77 | 1 | 12500 | 0,02 | 0,000002 | 1,29 | 586.250,00 |
| 50 | 12,5 | 0,45 | 0,71 | 1 | 12500 | 0,26 | 0,000020 | 1,41 | 48.854,17 |

C_e : Konsentrasi Warna Akhir (mg/L)
 V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : Warna Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : Warna Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui

$m = 12.500 \text{ mg/L}$

$C_o = 1,16 \text{ mg/L}$

$C_e = 0,60 \text{ mg/L}$

Sehingga

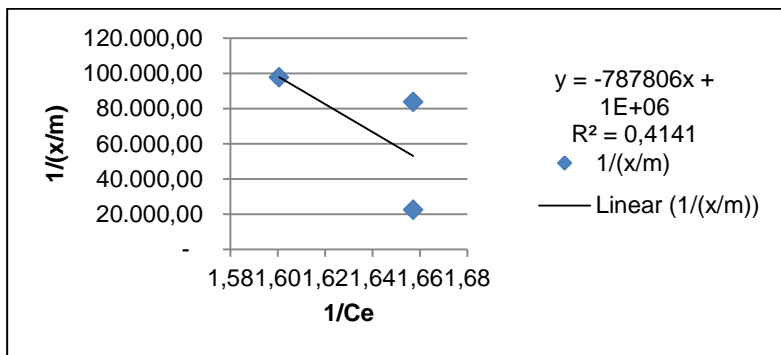
$x = C_o - C_e = (1,16 - 0,60) \text{ mg/L} = 0,55 \text{ mg/L}$

$x/m = 0,55 / 12.500 = 0,00004$

$1/C_e = 1/(0,60) = 1,66$

$1/(x/m) = 1/(0,00004) = 22.548,08$

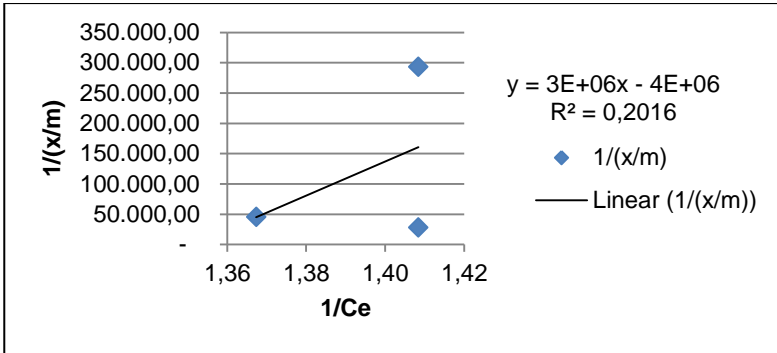
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.19 hingga Tabel 4.21 dibuat grafik yang menghubungkan antara $1/C_e$ dan $1/(x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.10 hingga Gambar 4.12.



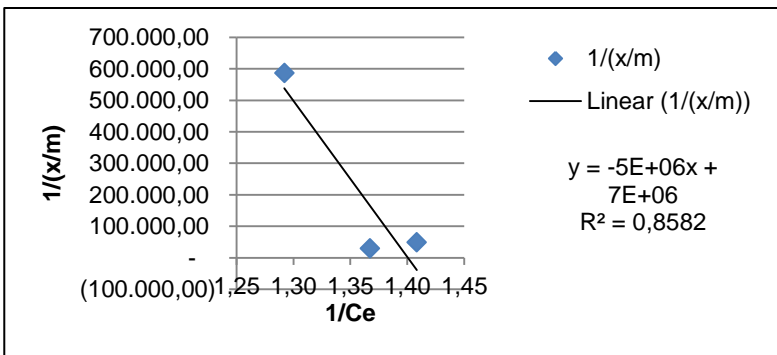
Gambar 4.10. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

Berdasarkan Gambar 4.10 hingga Gambar 4.12, hasil nilai regresi isoterm *Langmuir* arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,4141; 0,2016; dan

0,8582 Nilai regresi yang didapat cukup rendah, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.



Gambar 4.11. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.12. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.3.3. Isoterm BET

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm BET ditentukan dengan menghubungkan antara massa adsorbat ter-adsorpsi per massa arang batok kelapa (x/m) dengan konsentrasi akhir (C_e). Contoh dan hasil perhitungan isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.22 hingga Tabel 4.24.

Table 22: Titration of Fe^{2+} with Ce^{4+} in $1.0 \text{ M H}_2\text{SO}_4$.

| Volume of Fe^{2+} solution (L) | C_1 (mM) | C_2 (mM) | V_1 (L) | V_2 (L) | x (mM) | pH | $\frac{C_1}{C_2}$ (mM) |
|---|------------|------------|-----------|-----------|----------|-------------|------------------------|
| 0.0 | 12.5 | 0.0 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.0000 | 0.529 |
| 7.5 | 12.5 | 0.75 | 1 | 120.0 | 0.73 | 0.0000 | 0.53 |
| 50.0 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.0000 | 0.530 |

Table 23: Titration of Fe^{2+} with Ce^{4+} in $1.0 \text{ M H}_2\text{SO}_4$.

| Volume of Fe^{2+} solution (L) | C_1 (mM) | C_2 (mM) | V_1 (L) | V_2 (L) | x (mM) | pH | $\frac{C_1}{C_2}$ (mM) |
|---|------------|------------|-----------|-----------|----------|-------------|------------------------|
| 0.0 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.0000 | 0.53 |
| 7.5 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.74 | 0.0000 | 0.53025 |
| 50.0 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.00002 | 0.53047 |

Table 24: Titration of Fe^{2+} with Ce^{4+} in $1.0 \text{ M H}_2\text{SO}_4$.

| Volume of Fe^{2+} solution (L) | C_1 (mM) | C_2 (mM) | V_1 (L) | V_2 (L) | x (mM) | pH | $\frac{C_1}{C_2}$ (mM) |
|---|------------|------------|-----------|-----------|----------|-------------|------------------------|
| 0.0 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.0000 | 0.53047 |
| 7.5 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.74 | 0.00002 | 0.530500 |
| 50.0 | 12.5 | 0.75 | 1 | 125.0 | 0.75 | 0.00000 | 0.53053031 |

V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : Warna Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : Warna Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui

$$m = 12.500 \text{ mg/L}$$

$$C_o = 1,16 \text{ mg/L}$$

$$C_e = 0,60 \text{ mg/L}$$

Sehingga

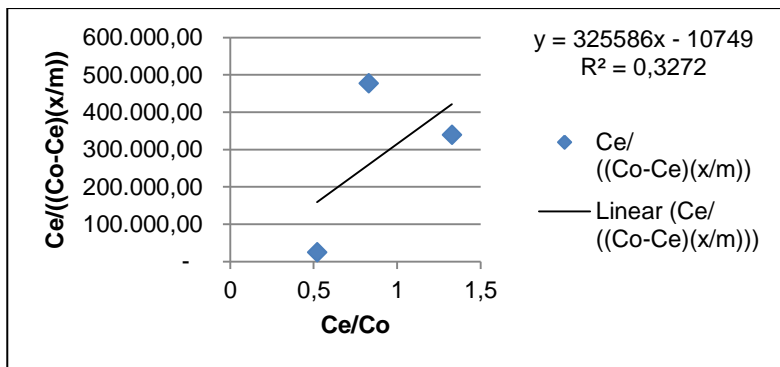
$$x = C_o - C_e = (1,16 - 0,60) \text{ mg/L} = 0,55 \text{ mg/L}$$

$$x/m = 0,55 / 12.500 = 0,00004$$

$$C_e/C_o = 0,60/1,16 = 0,521$$

$$C_e/((C_o-C_e)(x/m)) = 0,60/((0,55)(0,00004)) = 24.542,71$$

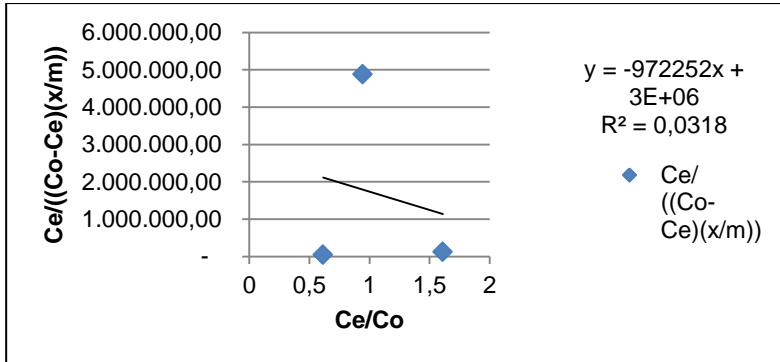
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.22 hingga Tabel 4.24 dibuat grafik yang menghubungkan antara C_e/C_o dan $C_e/((C_o-C_e)(x/m))$. Grafik disajikan pada Gambar 4.13 hingga Gambar 4.15.



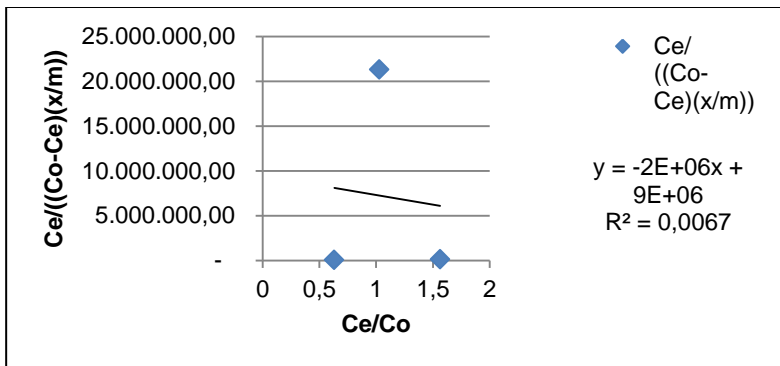
Gambar 4.13. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

Berdasarkan Gambar 4.13 hingga Gambar 4.15, hasil nilai regresi isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,3272; 0,0318; dan 0,0067 Nilai

regresi yang didapat cukup rendah, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.



Gambar 4.14. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.15. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.3.4. Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi

Dari Gambar 4.7 hingga Gambar 4.15, didapat nilai regresi masing-masing isoterm dan diameter mesh arang batok kelapa. Tabel 4.25 menunjukkan nilai regresi dari setiap isoterm adsorpsi. Berdasarkan Tabel 4.25, hasil nilai regresi yang mendekati satu dicapai oleh Isoterm Langmuir yaitu pada

diameter mesh 12 sebesar 0,8582. Hasil ini menunjukkan data yang didapat pada hasil percobaan mendekati asumsi – asumsi pada Isoterm Langmuir sehingga untuk penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa akan digunakan persamaan Isoterm Langmuir.

Tabel 4.25. Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter Warna

| Diameter Mesh | Nilai Regresi | | |
|---------------|---------------|----------|--------|
| | Freundlich | Langmuir | BET |
| 8 | 0,3370 | 0,4141 | 0,3272 |
| 10 | 0,1046 | 0,2016 | 0,0318 |
| 12 | 0,7665 | 0,8582 | 0,0067 |

Setelah ditentukan persamaan Isoterm Langmuir sebagai penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa pada sistem *batch*, dilakukan pengolahan hasil data yang didapat pada analisis adsorpsi dengan sistem *batch*. Dari pengolahan hasil data tersebut, akan didapat persamaan Isoterm Langmuir yang berbeda untuk setiap diameter mesh arang batok kelapa. Berdasarkan Gambar 4.10 hingga Gambar 4.12, akan didapat persamaan linier dan nilai regresi isoterm Langmuir. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Langmuir untuk mendapatkan nilai konstanta dan x/m pada diameter mesh 8 disajikan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26. Nilai x/m menggunakan Isoterm *Langmuir* pada Parameter Warna

| Diameter Mesh | intersep | slope | K_L | q_m | x/m |
|---------------|--------------|------------|-------|------------|----------|
| 8 | 1.330.306,04 | -787.806 | -1,69 | 0,0000008 | 0,000040 |
| 10 | -4202082,33 | 3.000.000 | -1,40 | -0,0000002 | 0,000043 |
| 12 | 7000000 | -5.088.093 | -1,38 | 0,0000001 | 0,000023 |

Diketahui:

Intersep= 1.330.306,04

Slope = -787.806

C_o = 1,16 mg/L

C_e = 0,60 mg/L

Sehingga

$$q_m = 1 / \text{Intersep} = 1 / 1.330306,04 = 8 \times 10^{-7}$$

$$K_L = 1 / (q_m \times \text{slope}) = 1 / (8 \times 10^{-7} \times (-787.806)) = -1,69$$

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m \times K_L \times C_e}{1 + K_L \times C_e} = \frac{8 \times 10^{-7} \times (-1,69) \times 0,6}{1 + K_L \times C_e}$$

$$\frac{x}{m} = 4 \times 10^{-5} \frac{\text{mg adsorbat}}{\text{mg adsorben}}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.26, nilai adsorpsi isothermis pada diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 40×10^{-6} mg adsorbat warna per mg adsorben, 43×10^{-6} mg adsorbat warna per mg adsorben, dan 23×10^{-6} mg adsorbat warna per mg adsorben.

4.4. Adsorpsi Isothermis pada Parameter PV

Dalam penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa, digunakan persamaan isotherm dengan melakukan plot masing-masing hasil analisis PV. Persamaan isotherm yang digunakan yaitu persamaan Isotherm Freundlich, Isotherm Langmuir, dan Isotherm BET. Dari 3 isotherm tersebut, akan dipilih persamaan yang menghasilkan nilai regresi yang paling linier, yaitu nilai konstanta mendekati satu (1). Perhitungan isotherm dimaksudkan untuk melihat kecenderungan data yang diperoleh dari 3 isotherm tersebut. Untuk mengetahui kecenderungan itu, maka nilai regresi dari 3 isotherm tersebut akan dibandingkan.

4.4.1. Isotherm Freundlich

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isotherm Freundlich ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isotherm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.27 hingga Tabel 4.29.

Keterangan:

C_0 : Konsentrasi PV Awal (mg/L)

| Table 27: Minimum Energy Formulae for the 5000-Element Mesh: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|------------|------|-----|--|--|--|--|
| Nodes | Mass | C | C | Y | M | X | | α/m | C | | | | | |
| At Length | At Length | (m/L) | (m/L) | (L) | (m/L) | (m/L) | | | (%) | (%) | | | | |
| (\circ) | (\circ) | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 12.5 | 0.452 | 0.429 | 1 | 12500 | 0.79 | 0.0005 | 1.05 | 0.91 | | | | | |
| 75 | 12.5 | 0.48 | 0.411 | 1 | 12500 | 1.0 | 0.0004 | 1.02 | 0.91 | | | | | |
| 50 | 12.5 | 0.775 | 0.384 | 1 | 12500 | 0.71 | 0.0015 | 1.70 | 0.83 | | | | | |
| Table 28: Minimum Energy Formulae for the 5000-Element Mesh 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| Nodes | Mass | C | C | Y | M | X | | α/m | C | | | | | |
| At Length | At Length | (m/L) | (m/L) | (L) | (m/L) | (m/L) | | | (%) | (%) | | | | |
| (\circ) | (\circ) | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 12.5 | 0.452 | 0.429 | 1 | 12500 | 0.79 | 0.0005 | 1.05 | 0.91 | | | | | |
| 75 | 12.5 | 0.48 | 0.411 | 1 | 12500 | 1.0 | 0.0004 | 1.02 | 0.91 | | | | | |
| 50 | 12.5 | 0.775 | 0.384 | 1 | 12500 | 0.71 | 0.0015 | 1.70 | 0.83 | | | | | |
| Table 29: Minimum Energy Formulae for the 5000-Element Mesh 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| Nodes | Mass | C | C | Y | M | X | | α/m | C | | | | | |
| At Length | At Length | (m/L) | (m/L) | (L) | (m/L) | (m/L) | | | (%) | (%) | | | | |
| (\circ) | (\circ) | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 12.5 | 0.452 | 0.429 | 1 | 12500 | 0.79 | 0.0002 | 1.05 | 0.91 | | | | | |
| 75 | 12.5 | 0.48 | 0.411 | 1 | 12500 | 1.0 | 0.0001 | 1.02 | 0.91 | | | | | |
| 50 | 12.5 | 0.775 | 0.384 | 1 | 12500 | 0.71 | 0.0003 | 1.70 | 0.83 | | | | | |

C_e : Konsentrasi PV Akhir (mg/L)
 V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : PV Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : PV Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air 100 %

$m = 12.500$ mg/L

$C_o = 94,52$ mg/L

$C_e = 93,29$ mg/L

Sehingga

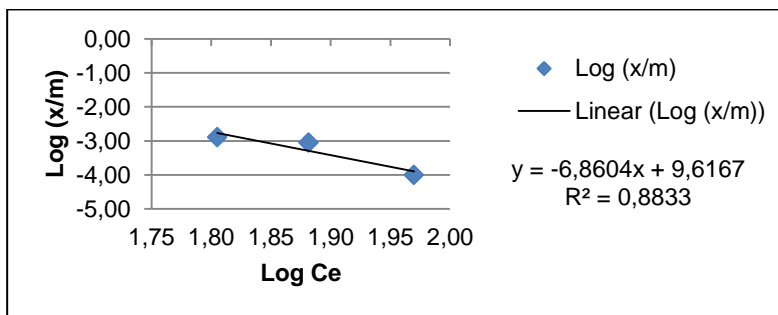
$x = C_o - C_e = (94,52 - 93,29)$ mg/L = 1,23 mg/L

$x/m = 1,23 / 12.500 = 0,0001$

$\text{Log } C_e = \text{Log } (93,29) = 1,97$

$\text{Log } (x/m) = \text{Log } (0,0001) = -4,01$

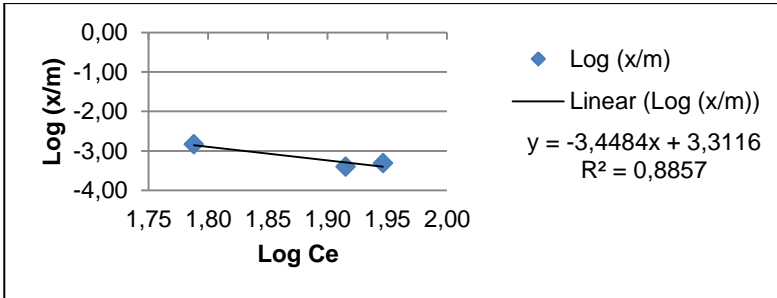
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.27 hingga Tabel 4.29 dibuat grafik yang menghubungkan antara $\text{Log } C_e$ dan $\text{Log } (x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18.



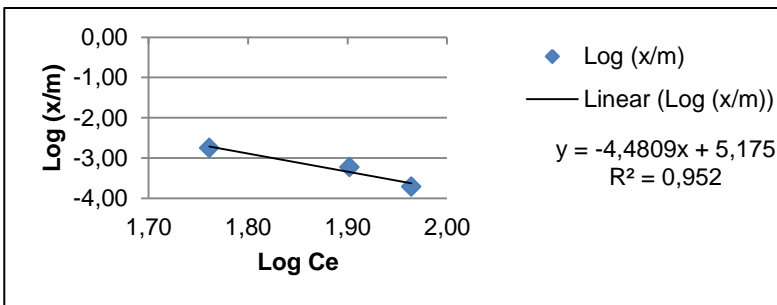
Gambar 4.16. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

Berdasarkan Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18, hasil nilai regresi isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,8833; 0,8857; dan 0,952.

Nilai regresi yang didapat cukup baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.



Gambar 4.17. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.18. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.4.2. Isoterm Langmuir

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Langmuir ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter PV disajikan pada Tabel 4.30 hingga Tabel 4.32.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi PV Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi PV Akhir (mg/L)

V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : PV Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : PV Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

$m = 12.500 \text{ mg/L}$

$C_o = 94,52 \text{ mg/L}$

$C_e = 93,29 \text{ mg/L}$

Sehingga

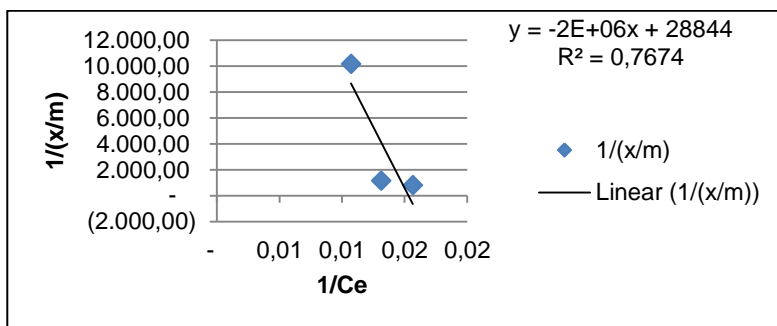
$x = C_o - C_e = (94,52 - 93,29) \text{ mg/L} = 1,23 \text{ mg/L}$

$x/m = 1,23 / 12.500 = 0,0001$

$1/C_e = 1/(93,29) = 0,01$

$1/(x/m) = 1/(0,0001) = 10.162,60$

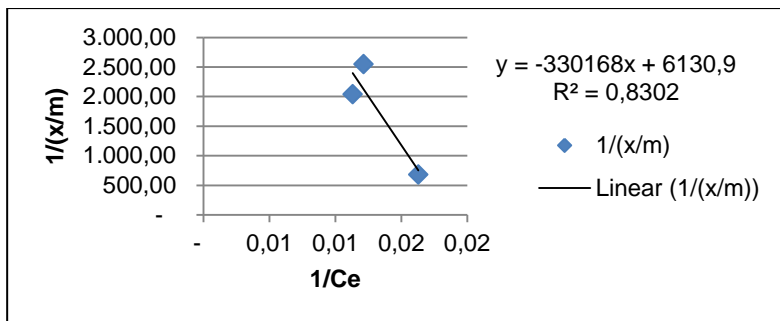
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.30 hingga Tabel 4.32 dibuat grafik yang menghubungkan antara $1/C_e$ dan $1/(x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.19 hingga Gambar 4.21.



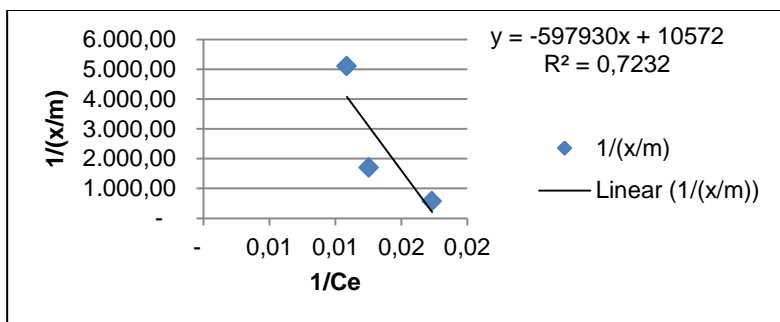
Gambar 4.19. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

Berdasarkan Gambar 4.19 hingga Gambar 4.21, hasil nilai regresi isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,7674; 0,8302; dan

0,7232. Nilai regresi yang didapat cukup rendah, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.



Gambar 4.20. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.21. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.4.3. Isoterm BET

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm BET ditentukan dengan menghubungkan antara massa adsorbat ter-adsorpsi per massa arang batok kelapa (x/m) dengan konsentrasi akhir (C_e). Contoh dan hasil perhitungan isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.33 hingga Tabel 4.35.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi PV Awal (mg/L)

| Toluol, 25.0000g, 100.0000mL, 1.0000g/mL, 100.0000mL, 1.0000g/mL | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|------|-----|-------|------|------|------|------|-------|--------|-------|
| Component | Mass | C | H | N | O | S | Cl | Br | I | Other | Sum | GC |
| Area (mV) | (g) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 00 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |
| 76 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |
| 80 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |
| Toluol, 25.0000g, 100.0000mL, 1.0000g/mL, 100.0000mL, 1.0000g/mL | | | | | | | | | | | | |
| Component | Mass | C | H | N | O | S | Cl | Br | I | Other | Sum | GC |
| Area (mV) | (g) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 00 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |
| 76 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |
| 80 | 12.8 | 77.92 | 7.72 | 1 | 12.00 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.0030 | 77.77 |

C_e : Konsentrasi PV Akhir (mg/L)
 V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : PV Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : PV Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

$m = 12.500 \text{ mg/L}$
 $C_o = 94,52 \text{ mg/L}$
 $C_e = 93,29 \text{ mg/L}$

Sehingga

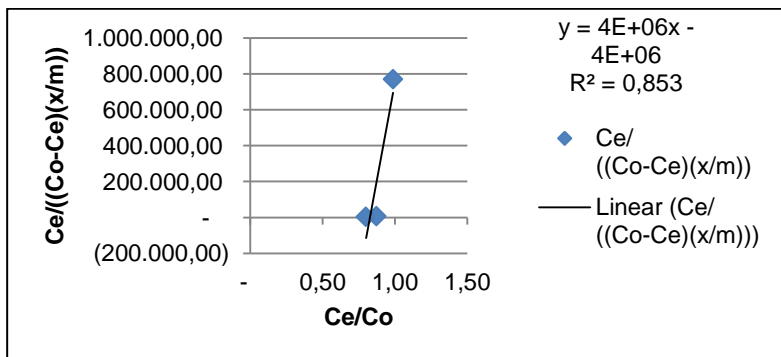
$x = C_o - C_e = (94,52 - 93,29) \text{ mg/L} = 1,23 \text{ mg/L}$

$x/m = 1,23 / 12.500 = 0,0001$

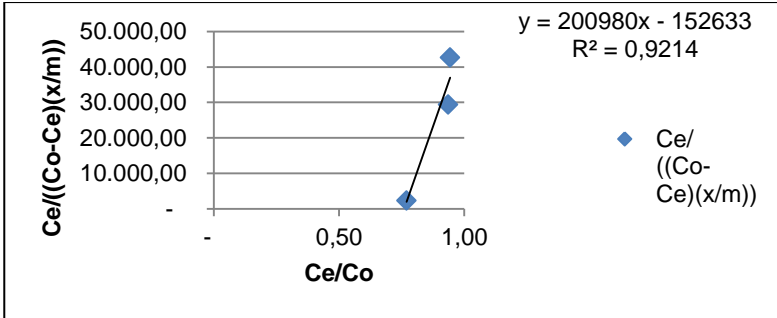
$C_e/C_o = 93,29/94,52 = 0,99$

$C_e/((C_o-C_e)(x/m)) = 93,29/((1,23)(0,0001)) = 770.787,89$

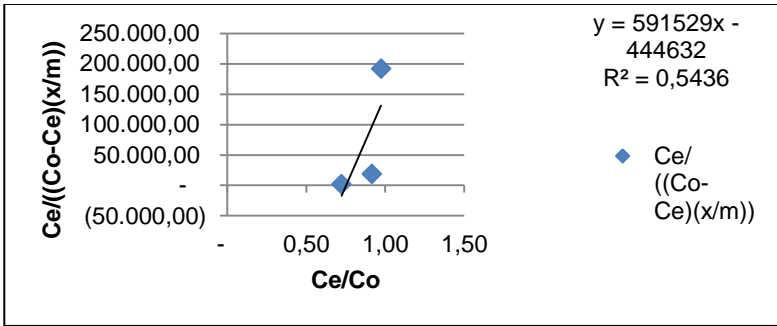
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.33 hingga Tabel 4.35 dibuat grafik yang menghubungkan antara C_e/C_o dan $C_e/((C_o-C_e)(x/m))$. Grafik disajikan pada Gambar 4.22 hingga Gambar 4.24.



Gambar 4.22. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.23. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.24. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

Berdasarkan Gambar 4.22 hingga Gambar 4.24, hasil nilai regresi isotherm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,853; 0,9214; dan 0,5436. Nilai regresi yang didapat cukup rendah, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

4.4.4. Penentuan persamaan isotherm dan perhitungan kinetika adsorpsi

Dari Gambar 4.16 hingga Gambar 4.24, didapat nilai regresi masing-masing isotherm dan diameter mesh arang batok kelapa. Untuk memudahkan perbandingan, nilai regresi masing-masing isotherm dari setiap diameter mesh arang batok kelapa disajikan pada Tabel 4.36. Tabel 4.36 menunjukkan bahwa hasil nilai

regresi yang mendekati satu dicapai oleh Isoterm Freundlich yaitu pada diameter mesh 12 sebesar 0,952. Hasil ini menunjukkan data yang didapat pada hasil percobaan mendekati asumsi – asumsi pada Isoterm Freundlich sehingga untuk penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa akan digunakan persamaan Isoterm Freundlich.

Tabel 4.36. Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter PV

| Diameter Mesh | Nilai Regresi | | |
|------------------|---------------|----------|--------|
| | Freundlich | Langmuir | BET |
| 8 | 0,8833 | 0,7674 | 0,8530 |
| 10 | 0,8857 | 0,8302 | 0,9214 |
| 12 | 0,9520 | 0,7232 | 0,5436 |

Setelah ditentukan persamaan Isoterm Freundlich sebagai penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa pada parameter PV, dilakukan pengolahan hasil data yang didapat pada analisis adsorpsi dengan sistem *batch*. Dari pengolahan hasil data ini, akan didapat persamaan Isoterm Freundlich yang berbeda untuk setiap diameter mesh arang batok kelapa. Berdasarkan Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18, akan didapat persamaan linier dan nilai regresi isoterm Freundlich. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Freundlich untuk mendapatkan nilai konstanta dan x/m pada diameter mesh 8 disajikan pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37. Nilai x/m menggunakan Isoterm Freundlich pada Parameter Warna

| Diameter Mesh | intersep | slope | K_F | n | x/m |
|------------------|----------|---------|------------------|-------|--------|
| 8 | 9,62 | -6,8604 | 4.137.137.927,27 | -0,15 | 0,0001 |
| 10 | 3,3116 | -3,4484 | 2.049,27 | -0,29 | 0,0004 |
| 12 | 5,175 | -4,4809 | 149.623,57 | -0,22 | 0,0002 |

Diketahui pada diameter mesh 8:

Intersep= 9,62

Slope = -6,8604

C_o = 94,52 mg/L

C_e = 93,29 mg/L

Sehingga

$$n = 1 / \text{slope} = 1 / -6,8604 = -0,15$$

$$K_F = 10^{(\text{intersep})} = 10^{9,62} = 4.137.137.927,27$$

$$\frac{x}{m} = K_F \times C e^{\frac{1}{n}} = 4.137.137.927,27 \times 93,29^{-6,8604}$$

$$\frac{x}{m} = 0,0001 \frac{\text{mg adsorbat}}{\text{mg adsorben}}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.37, nilai adsorpsi isothermis pada diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1×10^{-4} mg adsorbat warna per mg adsorben, 4×10^{-4} mg adsorbat warna per mg adsorben, dan 2×10^{-4} mg adsorbat PV per mg adsorben.

4.5. Adsorpsi Isothermis pada Parameter COD

Dalam penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa, digunakan persamaan isoterm dengan melakukan plot data hasil analisis COD. Persamaan isoterm yang digunakan yaitu persamaan Isoterm Freundlich, Isoterm Langmuir, dan Isoterm BET. Dari 3 isoterm tersebut, akan dipilih persamaan yang menghasilkan nilai regresi yang paling linier, yaitu nilai konstanta mendekati satu (1). Perhitungan isoterm dimaksudkan untuk melihat kecenderungan data yang diperoleh dari 3 isoterm tersebut. Untuk mengetahui kecenderungan itu, maka nilai regresi dari 3 isoterm tersebut akan dibandingkan.

4.5.1. Isoterm Freundlich

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Freundlich ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter COD disajikan pada Tabel 4.38 hingga Tabel 4.40.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi COD Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi COD Akhir (mg/L)

Tabel 4.38. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 18,00 | 1 | 12500 | 6 | 0,0005 | 1,26 | -3,32 |

Tabel 4.39. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 1,32 | -3,62 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |

Tabel 4.40. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 1,32 | -3,62 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 1,36 | -4,10 |

V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : COD Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : COD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air 100 %

$m = 12.500$ mg/L

$C_o = 24$ mg/L

$C_e = 23$ mg/L

Sehingga

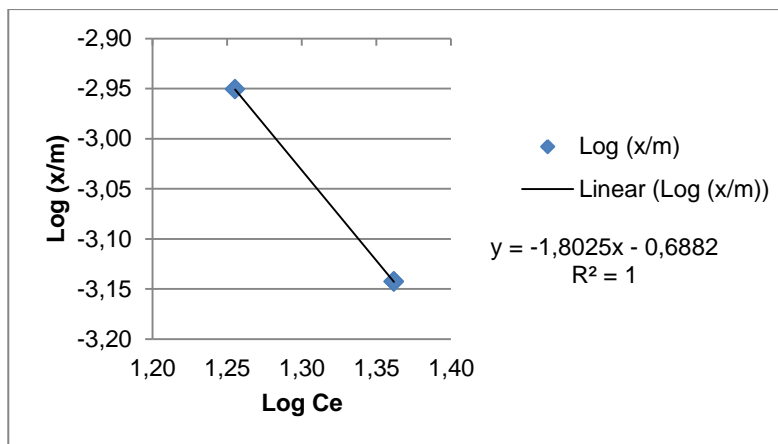
$x = C_o - C_e = (24 - 23)$ mg/L = 1 mg/L

$x/m = 1 / 12.500 = 0,0001$

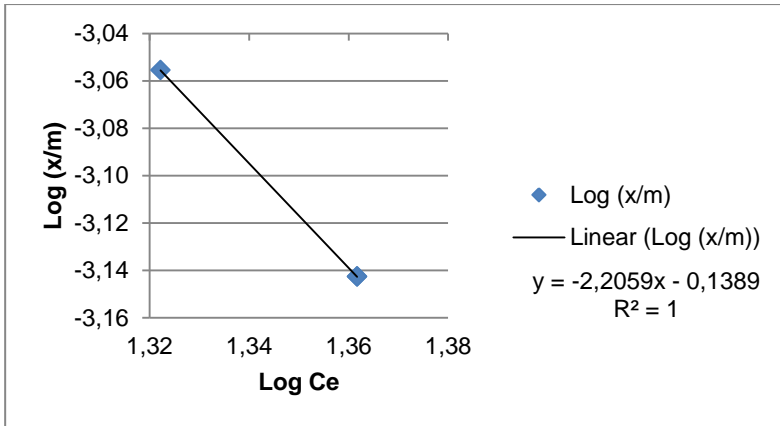
$\text{Log } C_e = \text{Log } (23) = 1,36$

$\text{Log } (x/m) = \text{Log } (0,0001) = -4,1$

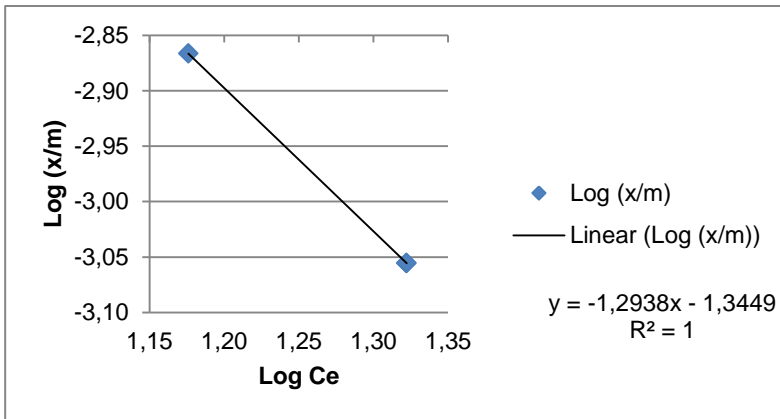
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.38 hingga Tabel 4.40 dibuat grafik yang menghubungkan antara $\text{Log } C_e$ dan $\text{Log } (x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.25 hingga Gambar 4.27.



Gambar 4.25. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.26. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.27. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

Berdasarkan Gambar 4.25 hingga Gambar 4.27, hasil nilai regresi isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1. Nilai regresi yang didapat sangat baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

4.5.2. Isoterm Langmuir

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Langmuir ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter COD disajikan pada Tabel 4.41 hingga Tabel 4.43.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi COD Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi COD Akhir (mg/L)

V : Volume Larutan (L)

m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)

x : COD Ter-adsorp (mg/L)

x/m : COD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

m = 12.500 mg/L

C_o = 24 mg/L

C_e = 23 mg/L

Sehingga

x = $C_o - C_e = (24 - 23)$ mg/L = 1 mg/L

x/m = $1 / 12.500 = 0,000125$

$1/C_e$ = $1/(23) = 0,04$

$1/(x/m)$ = $1/(0,000125) = 12.500$

Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.41 hingga Tabel 4.43 dibuat grafik yang menghubungkan antara $1/C_e$ dan $1/(x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.28 hingga Gambar 4.30. Berdasarkan Gambar 4.28 hingga Gambar 4.30, hasil nilai regresi isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1. Nilai regresi yang didapat sangat baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

Tabel 4.41. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

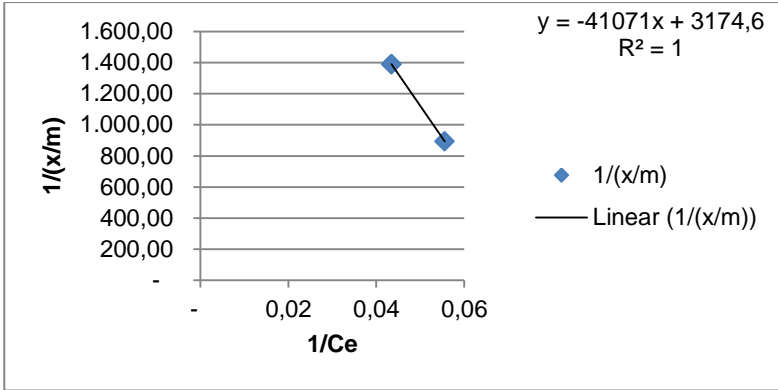
| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|------|-----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,04 | 12.500,00 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,04 | 12.500,00 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 18,00 | 1 | 12500 | 6 | 0,0005 | 0,06 | 2.083,33 |

Tabel 4.42. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10

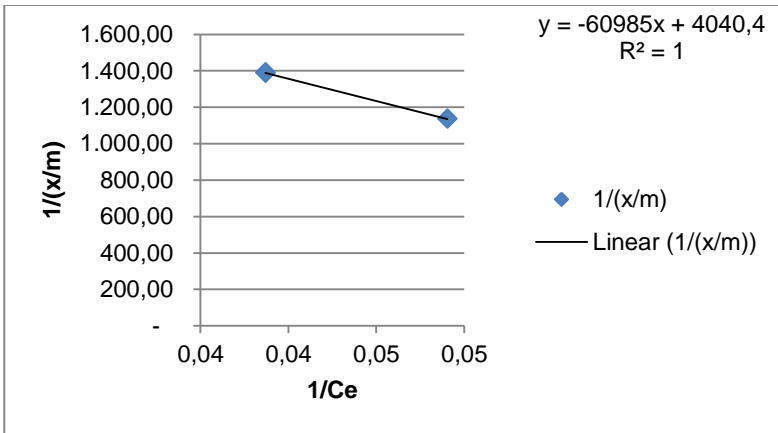
| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|------|-----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,05 | 4.166,67 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,04 | 12.500,00 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,04 | 12.500,00 |

Tabel 4.43. Perhitungan Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

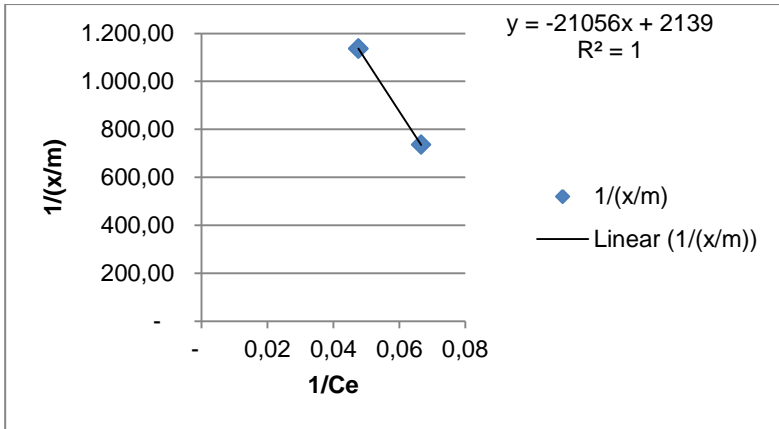
| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | 1/Ce | 1/(x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|------|----------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,05 | 4.166,67 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,05 | 4.166,67 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 15,00 | 1 | 12500 | 9 | 0,0007 | 0,07 | 1.388,89 |



Gambar 4.28. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.29. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.30. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.5.3. Isoterm BET

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm BET ditentukan dengan menghubungkan antara massa adsorbat ter-adsorp per massa arang batok kelapa (x/m) dengan konsentrasi akhir (C_e). Contoh dan hasil perhitungan isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.44 hingga Tabel 4.46.

Keterangan:

- Co : Konsentrasi COD Awal (mg/L)
- Ce : Konsentrasi COD Akhir (mg/L)
- V : Volume Larutan (L)
- m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
- x : COD Ter-adsorp (mg/L)
- x/m : COD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

- m = 12.500 mg/L
- Co = 24 mg/L
- Ce = 23 mg/L

Tabel 4.44. Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Ce/Co | Ce/ ((Co-Ce)(x/m)) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-------|--------------------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,96 | 287.500,00 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,96 | 287.500,00 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 18,00 | 1 | 12500 | 6 | 0,0005 | 0,75 | 6.250,00 |

Tabel 4.45. Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Ce/Co | Ce/ ((Co-Ce)(x/m)) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-------|--------------------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,88 | 29.166,67 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,96 | 287.500,00 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 23,00 | 1 | 12500 | 1 | 0,0001 | 0,96 | 287.500,00 |

Tabel 4.46. Perhitungan Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Ce/Co | Ce/ ((Co-Ce)(x/m)) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-------|--------------------|
| 100 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,88 | 29.166,67 |
| 75 | 12,5 | 24,00 | 21,00 | 1 | 12500 | 3 | 0,0002 | 0,88 | 29.166,67 |
| 50 | 12,5 | 24,00 | 15,00 | 1 | 12500 | 9 | 0,0007 | 0,63 | 2.314,81 |

Sehingga

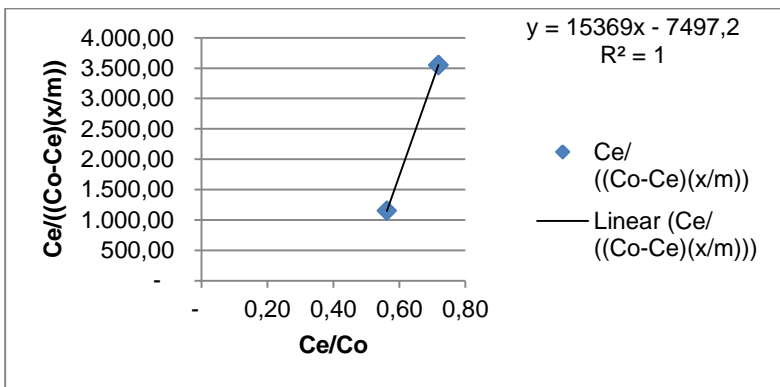
$$x = C_o - C_e = (24 - 23) \text{ mg/L} = 1 \text{ mg/L}$$

$$x/m = 1 / 12.500 = 0,0001$$

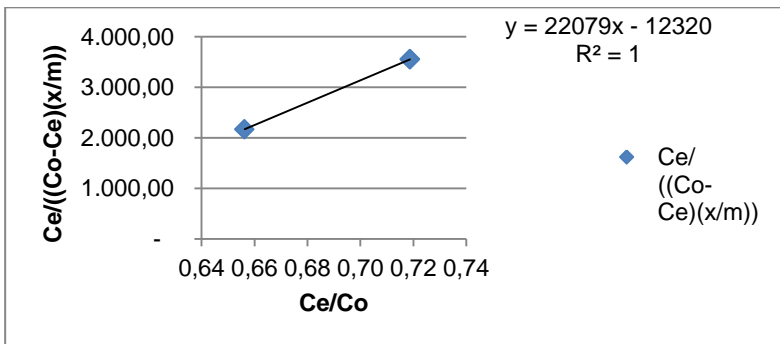
$$C_e/C_o = 23/24 = 0,96$$

$$C_e/((C_o - C_e)(x/m)) = 23/((1)(0,0001)) = 287.500$$

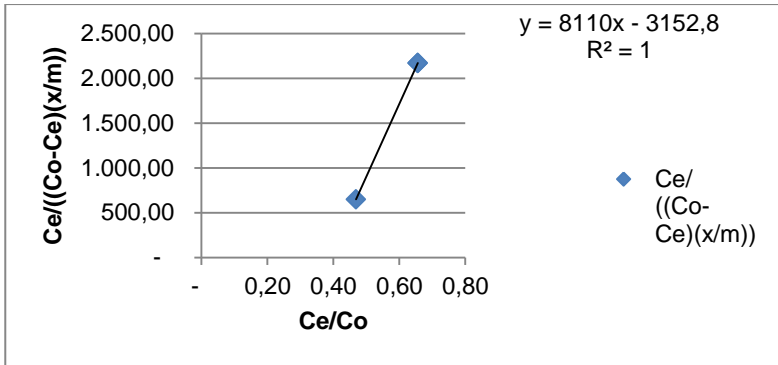
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.44 hingga Tabel 4.46 dibuat grafik yang menghubungkan antara C_e/C_o dan $C_e/((C_o - C_e)(x/m))$. Grafik disajikan pada Gambar 4.31 hingga Gambar 4.33.



Gambar 4.31. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.32. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.33. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

Berdasarkan Gambar 4.31 hingga Gambar 4.33, hasil nilai regresi isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1. Nilai regresi yang didapat sangat baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

4.5.4. Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.25 hingga Gambar 4.33, didapat nilai regresi masing-masing isoterm dari setiap diameter mesh arang batok kelapa. Untuk memudahkan perbandingan, nilai regresi masing-masing isoterm dari setiap diameter mesh arang batok kelapa disajikan pada Tabel 4.47. Tabel 4.47 menunjukkan bahwa hasil nilai regresi yang mendekati satu dicapai oleh semua Isoterm. Hasil ini menunjukkan data yang didapat pada hasil percobaan mendekati asumsi – asumsi pada 3 Isoterm sehingga untuk penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa akan digunakan 3 persamaan Isoterm yaitu Isoterm Freundlich, Isoterm Langmuir, dan Isoterm BET.

Tabel 4.47. Nilai Regresi Masing-masing Isoterm Adsorpsi pada Parameter COD

| Diameter Mesh | Nilai Regresi | | |
|---------------|---------------|----------|-----|
| | Freundlich | Langmuir | BET |
| 8 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 1 | 1 | 1 |

Setelah itu, dilakukan pengolahan hasil data yang didapat pada analisis adsorpsi dengan sistem *batch*. Dari pengolahan hasil data ini, akan didapat 3 persamaan isoterm yang berbeda untuk setiap diameter mesh arang batok kelapa. Berdasarkan Gambar 4.25 hingga Gambar 4.33, akan didapat persamaan linier dari 3 isoterm. Contoh dan hasil perhitungan dari setiap isoterm untuk mendapatkan nilai konstanta dan x/m pada diameter mesh 8 disajikan pada Tabel 4.48 hingga Tabel 4.50.

Tabel 4.48. Nilai x/m menggunakan Isoterm Freundlich pada Parameter COD

| Diameter Mesh | intersep | slope | K_F | n | x/m |
|---------------|----------|----------|----------------------|-------|-----------|
| 8 | 5,8600 | -7,3097 | 719.117,74 | -0,14 | 0,0000800 |
| 10 | 12,3480 | -12,0760 | 2.228.435.149.270,31 | -0,08 | 0,0002404 |
| 12 | 0,6974 | -3,2651 | 4,98 | -0,31 | 0,0002400 |

Diketahui pada diameter mesh 8:

Intersep= 5,86

Slope = -7,3097

C_o = 24 mg/L

C_e = 23 mg/L

Sehingga

n = $1 / \text{slope} = 1 / -7,3097 = -0,13$

K_F = $10^{(\text{intersep})} = 10^{5,86} = 719.117,74$

$\frac{x}{m} = K_F \times C_e^{1/n} = 719.117,74 \times 23^{-7,3097} = 0,00008 \frac{\text{mg adsorbat}}{\text{mg adsorben}}$

Tabel 4.49. Nilai x/m menggunakan Isoterm Langmuir pada Parameter COD

| Diameter Mesh | intersep | slope | K_L | q_m | x/m |
|---------------|----------|------------|-------|---------|--------|
| 8 | 50.000 | -862.500 | -0,06 | 0,00002 | 0,0001 |
| 10 | 100.000 | -2.012.500 | -0,05 | 0,00001 | 0,0009 |
| 12 | 11.111 | -145.833 | -0,08 | 0,00009 | 0,0002 |

Diketahui pada diameter mesh 8:

Intersep= 50.000

Slope = -862.500

C_o = 24 mg/L

C_e = 23 mg/L

Sehingga

$$q_m = 1 / \text{Intersep} = 1/50.000 = 0,00002$$

$$K_L = 1 / (q_m \times \text{slope}) = 1 / (0,00002 \times (-862.500)) = -0,06$$

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m \times K_L \times C_e}{1 + K_L \times C_e} = \frac{0,00002 \times (-0,06) \times 23}{1 + (-0,06) \times 23}$$

$$\frac{x}{m} = 0,00008 \frac{\text{mg adsorbat}}{\text{mg adsorben}}$$

Tabel 4.50. Nilai x/m menggunakan Isoterm BET pada Parameter COD

| Diameter Mesh | intersep | slope | K_{BET} | q_m | x/m |
|---------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 8 | -998.214 | 1.339.286 | -0,34 | 0,000003 | -0,000072 |
| 10 | -2.812.500 | 3.229.167 | -0,15 | 0,000002 | -0,000003 |
| 12 | -64.815 | 107.407 | -0,66 | 0,000023 | 0,000337 |

Diketahui pada diameter mesh 8:

Intersep= -998.214

Slope = 1.339.286

C_o = 24 mg/L

C_e = 23 mg/L

Sehingga

$$K_{BET} = (\text{slope}/\text{intersep}) + 1 = (1.339.286/(-998.214)) + 1 = -0,34$$

$$q_m = 1 / (K_{BET} \times \text{intersep}) = 1/((-0,34) \times (-998.214))$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,000003 \\
 \frac{x}{m} &= \frac{q_m \times K_{BET} \times C_e}{(C_o - C_e) \left[1 + (K_{BET} - 1) \left(\frac{C_e}{C_o} \right) \right]} \\
 \frac{x}{m} &= \frac{0,000003 \times (-0,34) \times 23}{(24 - 23) \left[1 + (-0,34 - 1) \left(\frac{23}{24} \right) \right]} = 0,0000806 \frac{\text{mg adsorbat}}{\text{mg adsorben}}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.48 hingga Tabel 4.50, nilai adsorpsi isothermis yang paling optimum didapat dengan menggunakan isotherm Langmuir, dengan nilainya pada diameter mesh 8, 10, 12 masing-masing sebesar 1×10^{-4} mg adsorbat COD per mg adsorben, 9×10^{-4} mg adsorbat COD per mg adsorben, dan 2×10^{-4} mg adsorbat COD per mg adsorben.

4.6. Adsorpsi Isothermis pada Parameter BOD

Dalam penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa, digunakan persamaan isotherm dengan melakukan plot data hasil analisis BOD. Persamaan isotherm yang digunakan yaitu persamaan Isotherm Freundlich, Isotherm Langmuir, dan Isotherm BET. Dari 3 isotherm tersebut, akan dipilih persamaan yang menghasilkan nilai regresi yang paling linier, yaitu nilai konstanta mendekati satu (1). Perhitungan isotherm dimaksudkan untuk melihat kecenderungan data yang diperoleh dari 3 isotherm tersebut. Untuk mengetahui kecenderungan itu, maka nilai regresi dari 3 isotherm tersebut akan dibandingkan.

4.6.1. Isotherm Freundlich

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isotherm Freundlich ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isotherm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.51 hingga Tabel 4.53.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi BOD Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi BOD Akhir (mg/L)

Tabel 4.51. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 14,00 | 11,00 | 1 | 12500 | 3,0 | 0,00024 | 1,04 | -3,62 |
| 75 | 12,5 | 12,00 | 10,00 | 1 | 12500 | 2,0 | 0,00016 | 1,00 | -3,80 |
| 50 | 12,5 | 10,80 | 8,00 | 1 | 12500 | 2,8 | 0,00022 | 0,90 | -3,65 |

Tabel 4.52. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 14,00 | 9,00 | 1 | 12500 | 5,0 | 0,00040 | 0,95 | -3,40 |
| 75 | 12,5 | 12,00 | 9,00 | 1 | 12500 | 3,0 | 0,00024 | 0,95 | -3,62 |
| 50 | 12,5 | 10,80 | 10,00 | 1 | 12500 | 0,8 | 0,00006 | 1,00 | -4,19 |

Tabel 4.53. Perhitungan Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

| Konsentrasi Air Limbah (%) | Massa Adsorben (gr) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | m (mg/L) | x (mg/L) | x/m | Log Ce | Log (x/m) |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|--------|-----------|
| 100 | 12,5 | 14,00 | 10,00 | 1 | 12500 | 4,00 | 0,00032 | 1,00 | -3,49 |
| 75 | 12,5 | 12,00 | 10,00 | 1 | 12500 | 2,00 | 0,00016 | 1,00 | -3,80 |
| 50 | 12,5 | 10,80 | 7,00 | 1 | 12500 | 3,80 | 0,00030 | 0,85 | -3,52 |

V : Volume Larutan (L)
 m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)
 x : BOD Ter-adsorp (mg/L)
 x/m : BOD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air 100 %

m = 12.500 mg/L

Co = 12 mg/L

Ce = 11 mg/L

Sehingga

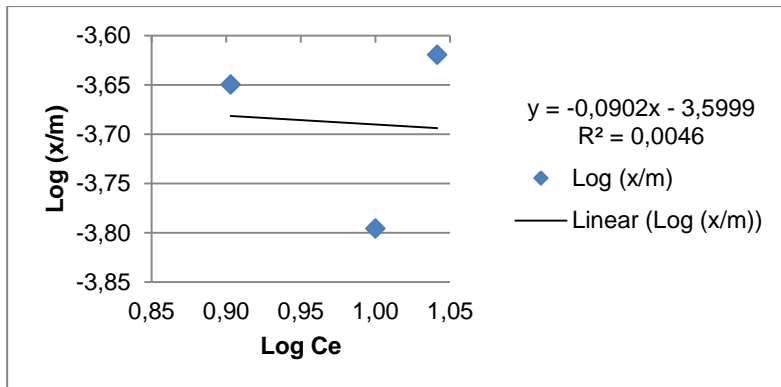
x = Co - Ce = (12 - 11) mg/L = 1 mg/L

x/m = 1 / 12.500 = 0,000125

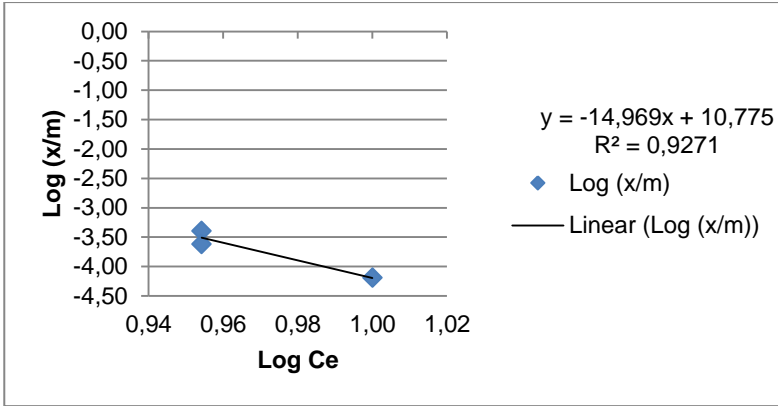
Log Ce = Log (11) = 1,04

Log (x/m) = Log (0,000125) = -4,1

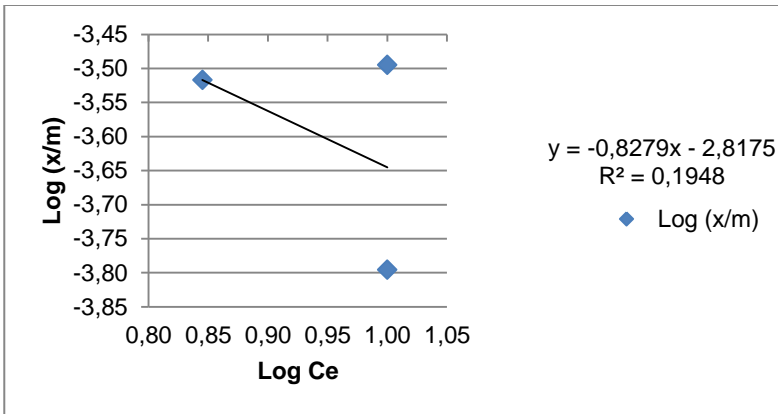
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.51 hingga Tabel 4.53 dibuat grafik yang menghubungkan antara Log Ce dan Log (x/m). Grafik disajikan pada Gambar 4.34 hingga Gambar 4.36.



Gambar 4.34. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.35. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.36. Grafik Isoterm Freundlich Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

Berdasarkan Gambar 4.34 hingga Gambar 4.36, hasil nilai regresi isoterm Freundlich arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,046, 0,9271, dan 0,1948. Nilai regresi yang didapat cukup baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

4.6.2. Isoterm Langmuir

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm Langmuir ditentukan dengan menghubungkan antara konsentrasi akhir (C_e) dan massa arang batok kelapa. Contoh dan hasil perhitungan isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter BOD disajikan pada Tabel 4.54 hingga Tabel 4.56.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi BOD Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi BOD Akhir (mg/L)

V : Volume Larutan (L)

m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)

x : BOD Ter-adsorp (mg/L)

x/m : BOD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

m = 12.500 mg/L

C_o = 12 mg/L

C_e = 11 mg/L

Sehingga

x = $C_o - C_e = (12 - 11)$ mg/L = 1 mg/L

x/m = $1 / 12.500 = 0,000125$

$1/C_e$ = $1/(11) = 0,09$

$1/(x/m)$ = $1/(0,000125) = 12.500$

Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.54 hingga Tabel 4.56 dibuat grafik yang menghubungkan antara $1/C_e$ dan $1/(x/m)$. Grafik disajikan pada Gambar 4.37 hingga Gambar 4.39. Berdasarkan Gambar 4.37 hingga Gambar 4.39, hasil nilai regresi isoterm Langmuir arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,017, 0,9864, dan 0,2106. Nilai regresi yang didapat cukup baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

Table 1.57. Steady-state composition for a 1000-gal stirred tank reactor. Feed: 1000 gal/min

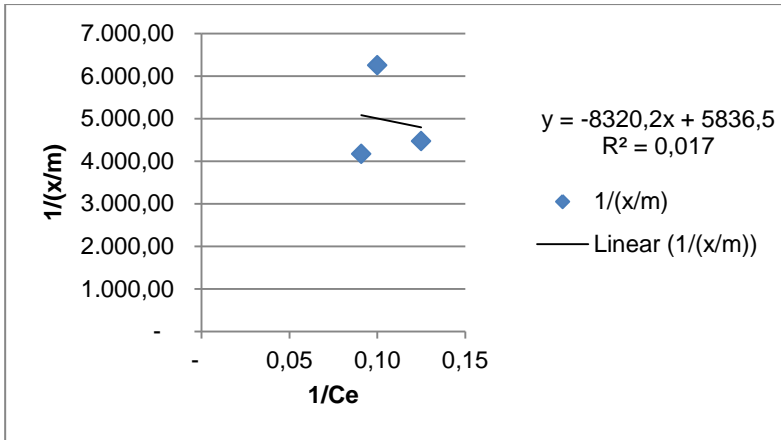
| Component | Mass Flow Rate (g/min) | C ₁ (mol/L) | C ₂ (mol/L) | V (L) | n ₁ (mol/min) | n ₂ (mol/min) | x ₁ (mol/L) | x ₂ (mol/L) | x _{1m} | 1/C ₁ (1/gm) | 1/C ₂ (1/gm) |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 00 | 12.5 | 2.00 | 11.00 | 1 | 125.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 76 | 12.5 | 12.00 | 0.00 | 1 | 120.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80 | 12.5 | 0.00 | 5.00 | 1 | 0 | 125.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Table 1.58. Steady-state composition for a 1000-gal stirred tank reactor. Feed: 1000 gal/min

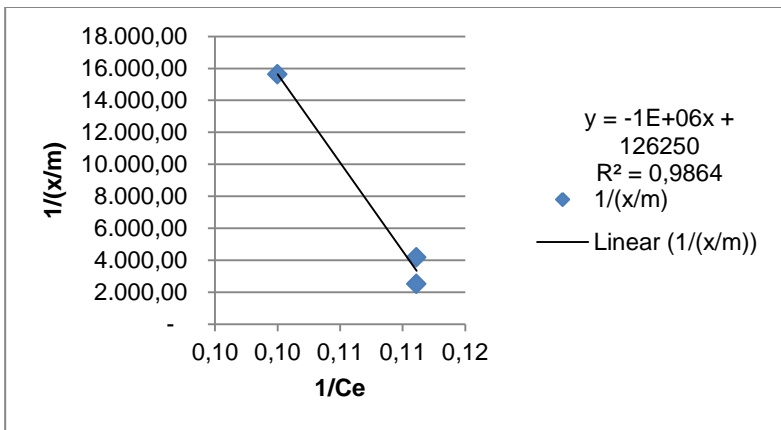
| Component | Mass Flow Rate (g/min) | C ₁ (mol/L) | C ₂ (mol/L) | V (L) | n ₁ (mol/min) | n ₂ (mol/min) | x ₁ (mol/L) | x ₂ (mol/L) | x _{1m} | 1/C ₁ (1/gm) | 1/C ₂ (1/gm) |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 00 | 12.5 | 14.00 | 0.00 | 1 | 125.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 75 | 12.5 | 12.00 | 0.00 | 1 | 120.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80 | 12.5 | 10.00 | 10.00 | 1 | 100.00 | 100.00 | 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Table 1.59. Steady-state composition for a 1000-gal stirred tank reactor. Feed: 1000 gal/min

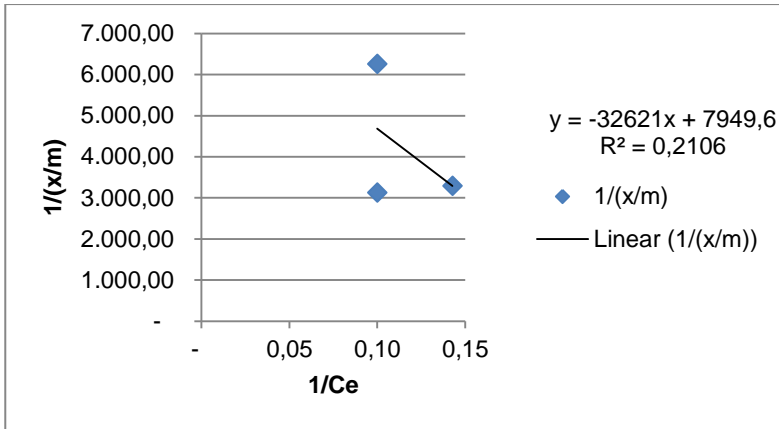
| Component | Mass Flow Rate (g/min) | C ₁ (mol/L) | C ₂ (mol/L) | V (L) | n ₁ (mol/min) | n ₂ (mol/min) | x ₁ (mol/L) | x ₂ (mol/L) | x _{1m} | 1/C ₁ (1/gm) | 1/C ₂ (1/gm) |
|-----------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 00 | 12.5 | 14.00 | 10.00 | 1 | 125.00 | 100.00 | 4.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 75 | 12.5 | 12.00 | 0.00 | 1 | 120.00 | 0 | 2.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 80 | 12.5 | 10.00 | 7.00 | 1 | 100.00 | 70.00 | 8.00 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |



Gambar 4.37. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.38. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.39. Grafik Isoterm Langmuir Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

4.6.3. Isoterm BET

Kemampuan adsorpsi arang batok kelapa menggunakan isoterm BET ditentukan dengan menghubungkan antara massa adsorbat ter-adsorp per massa arang batok kelapa (x/m) dengan konsentrasi akhir (C_e). Contoh dan hasil perhitungan isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 pada parameter warna disajikan pada Tabel 4.57 hingga Tabel 4.59.

Keterangan:

C_o : Konsentrasi BOD Awal (mg/L)

C_e : Konsentrasi BOD Akhir (mg/L)

V : Volume Larutan (L)

m : Massa Arang Batok Kelapa (mg/L)

x : BOD Ter-adsorp (mg/L)

x/m : BOD Ter-adsorp / Massa Arang Batok Kelapa

Contoh perhitungan:

Diketahui pada diameter mesh 8 dan konsentrasi air limbah 100 %

m = 12.500 mg/L

C_o = 12 mg/L

C_e = 11 mg/L

Table 57: Titration of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ with Fe^{2+} in H_2SO_4 solution. $V_0 = 10.00 \text{ mL}$, $V_{\text{ind}} = 12.50 \text{ mL}$.

| Point of titration (V) | Mass (g) | C_0 (mol/L) | V_0 (L) | n (mol/L) | x (mol/L) | x/n | $C_0 - C_1$ | C_1 ($\text{C}_0 - C_1$) |
|-------------------------------|-------------|------------------|--------------|----------------|----------------|--------|-------------|---------------------------------|
| 00 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 0.0000 | 0.0000 | 0.75 | 15.2775 |
| 75 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 2.0000 | 0.1600 | 0.59 | 31.2000 |
| 50 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 3.0000 | 0.2400 | 0.51 | 12.7500 |

Table 58: Titration of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ with Fe^{2+} in H_2SO_4 solution. $V_0 = 10.00 \text{ mL}$, $V_{\text{ind}} = 12.50 \text{ mL}$.

| Point of titration (V) | Mass (g) | C_0 (mol/L) | V_0 (L) | n (mol/L) | x (mol/L) | x/n | $C_0 - C_1$ | C_1 ($\text{C}_0 - C_1$) |
|-------------------------------|-------------|------------------|--------------|----------------|----------------|--------|-------------|---------------------------------|
| 00 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 5.0000 | 0.4000 | 0.64 | 4.5000 |
| 75 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 3.0000 | 0.2400 | 0.76 | 12.5000 |
| 50 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 1.5000 | 0.1200 | 0.83 | 15.3125 |

Table 59: Titration of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ with Fe^{2+} in H_2SO_4 solution. $V_0 = 10.00 \text{ mL}$, $V_{\text{ind}} = 12.50 \text{ mL}$.

| Point of titration (V) | Mass (g) | C_0 (mol/L) | V_0 (L) | n (mol/L) | x (mol/L) | x/n | $C_0 - C_1$ | C_1 ($\text{C}_0 - C_1$) |
|-------------------------------|-------------|------------------|--------------|----------------|----------------|--------|-------------|---------------------------------|
| 100 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 4.0000 | 0.3200 | 0.71 | 7.2500 |
| 75 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 2.0000 | 0.1600 | 0.59 | 31.2000 |
| 50 | 12.5 | 1.00 | 1 | 12.500 | 3.0000 | 0.2400 | 0.51 | 12.7500 |

Sehingga

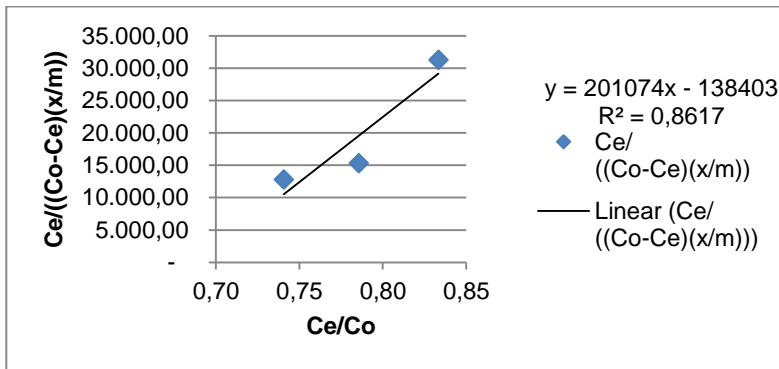
$$x = C_o - C_e = (12 - 11) \text{ mg/L} = 1 \text{ mg/L}$$

$$x/m = 1 / 12.500 = 0,000125$$

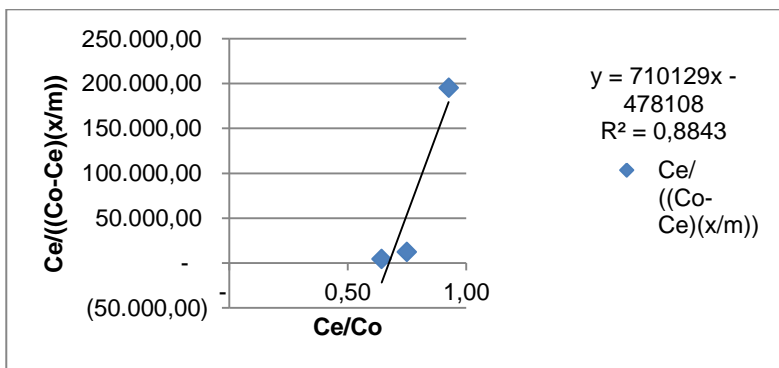
$$C_e/C_o = 12/11 = 0,92$$

$$C_e/((C_o - C_e)(x/m)) = 11/((1)(0,000125)) = 137.500$$

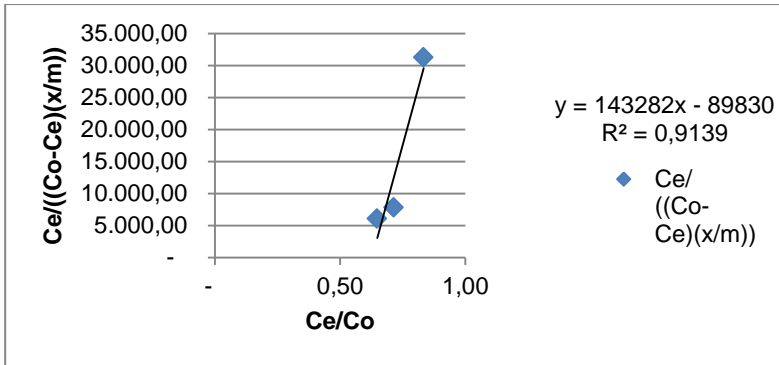
Hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 4.57 hingga Tabel 4.59 dibuat grafik yang menghubungkan antara C_e/C_o dan $C_e/((C_o - C_e)(x/m))$. Grafik disajikan pada Gambar 4.40 hingga Gambar 4.42.



Gambar 4.40. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 8



Gambar 4.41. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 10



Gambar 4.42. Grafik Isoterm BET Arang Batok Kelapa Berdiameter Mesh 12

Berdasarkan Gambar 4.40 hingga Gambar 4.42, hasil nilai regresi isoterm BET arang batok kelapa berdiameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 0,8617; 0,8843; dan 0,9139. Nilai regresi yang didapat cukup baik, dimana nilai regresi yang baik adalah antara 0,9 hingga mendekati 1.

4.6.4. Penentuan persamaan isoterm dan perhitungan kinetika adsorpsi

Dari Gambar 4.34 hingga Gambar 4.42, didapat nilai regresi masing-masing isoterm dari setiap diameter mesh arang batok kelapa. Untuk memudahkan perbandingan, nilai regresi masing-masing isoterm dari setiap diameter mesh arang batok kelapa disajikan pada Tabel 4.60. Tabel 4.60 menunjukkan bahwa hasil nilai regresi yang mendekati satu dicapai oleh Isoterm Langmuir yaitu pada diameter mesh 10 sebesar 0,9864. Hasil ini menunjukkan data yang didapat pada hasil percobaan mendekati asumsi – asumsi pada Isoterm Langmuir sehingga untuk penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa akan digunakan persamaan Isoterm Langmuir.

Setelah ditentukan persamaan Isoterm Langmuir sebagai penentuan kapasitas adsorpsi arang batok kelapa pada parameter BOD, dilakukan pengolahan hasil data yang didapat pada analisis adsorpsi dengan sistem *batch*. Dari pengolahan hasil data ini, akan didapat persamaan Isoterm Langmuir yang

berbeda untuk setiap diameter mesh arang batok kelapa. Berdasarkan Gambar 4.40 hingga Gambar 4.42, akan didapat persamaan linier dan nilai regresi isotherm Langmuir. Contoh dan hasil perhitungan isotherm Langmuir untuk mendapatkan nilai konstanta dan x/m pada setiap diameter arang batok kelapa disajikan pada Tabel 4.61. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.61, nilai adsorpsi isothermis pada diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 2×10^{-4} mg adsorbat BOD per mg adsorben, 1×10^{-5} mg adsorbat BOD per mg adsorben, dan $2,1 \times 10^{-4}$ mg adsorbat BOD per mg adsorben.

Tabel 4.60. Nilai Regresi Masing-masing Isotherm Adsorpsi pada Parameter BOD

| Diameter Mesh | Nilai Regresi | | |
|------------------|---------------|----------|--------|
| | Freundlich | Langmuir | BET |
| 8 | 0,0046 | 0,0170 | 0,8617 |
| 10 | 0,9271 | 0,9864 | 0,8843 |
| 12 | 0,1948 | 0,2106 | 0,9139 |

4.7. Analisis Adsorpsi dengan Sistem *Continue*

Pada analisis ini, dilakukan penggunaan variasi ketinggian adsorben pada kolom reaktor. Diameter adsorben dan konsentrasi air limbah yang digunakan adalah diameter adsorben dan konsentrasi air limbah paling optimum dari hasil analisis adsorpsi dengan sistem *batch*, yaitu diameter mesh 12 dan konsentrasi 50%. Ketinggian media berasal dari massa adsorben optimum yang didapat dari analisis adsorpsi dengan sistem *batch*. Kemudian, divariasikan massa-nya menjadi 2 kali lipat dan 3 kali lipat. Hal ini dilakukan untuk mendapat variasi tinggi adsorben pada kolom reaktor. Dari variasi massa 12,5 gram, 25 gram, dan 37,5 gram, didapat ketinggian adsorben pada kolom reaktor masing-masing setinggi 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm. Debit pada kolom reaktor diatur sesuai waktu optimum pada analisis adsorpsi dengan sistem *batch* yaitu 3 jam pada volume 1000 ml sehingga debit yang diatur adalah antara 5-6 ml/menit atau 333,3-333,4 ml/jam dengan kecepatan pengalirannya 8×10^{-3} m/jam. Kolom reaktor yang digunakan terbuat dari akrilik dengan diameter $\pm 2,96$ cm.

Topologie: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

| Mesh | invers | st | K ₁ | o _m | sch | |
|------|-------------|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| i | 5,5,5 | -32,0,2,0,0,0 | | 0,0 | 0,0,0,7 | 0,0,0,0 |
| 10 | 1,0,0,0,0,0 | 0,0,0,0,0,0 | 10,0,0,0,0,0,0,0,0,0 | 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 | 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 | 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0 |
| 12 | 7,0,0,0 | -32,0,1,0,0,0,0 | | 0,0,0 | 0,0,0,1,3 | 0,0,0,0,1 |

Graph positionen von Elementen mesh :

- Direkt:
 - invers = 5,5,5
 - st = -32,0,2
 - C₁ = 14 mV
 - C₂ = 11 mV

Schritte:

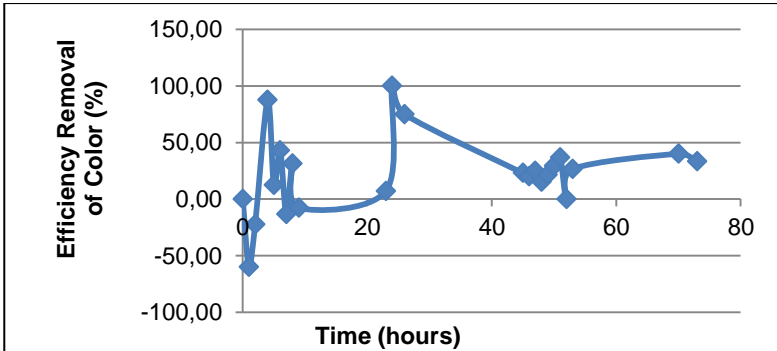
$$o_m = 1 / \text{invers} = 1/5 = 0,5 = 0,00017$$

$$K_1 = 1 / (o_m \times st) = 1 / (0,00017 \times (-32,0,2)) = -0,7$$

$$x_m \times K_1 \times C_1 = 0,00017 \times (-0,7) \times 11 = -0,002$$

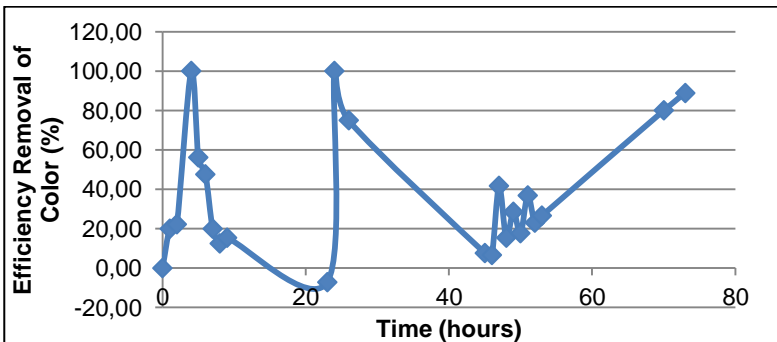
$$m = 1 + K_1 \times C_2 = 1 + (-0,7) \times 11 = -0,002$$

4.7.1. Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi *removal* warna



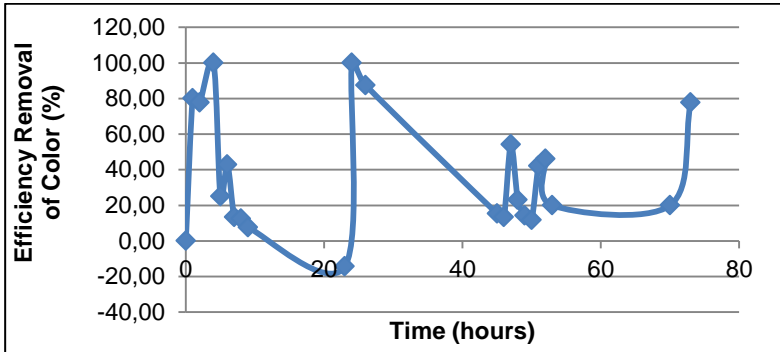
Gambar 4.43. Grafik Efisiensi *Removal* Warna dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.43, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 87,5 % pada jam ke 4. Pada Gambar 4.44, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 7,5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 100 % pada jam ke 4.



Gambar 4.44. Grafik Efisiensi *Removal* Warna dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi

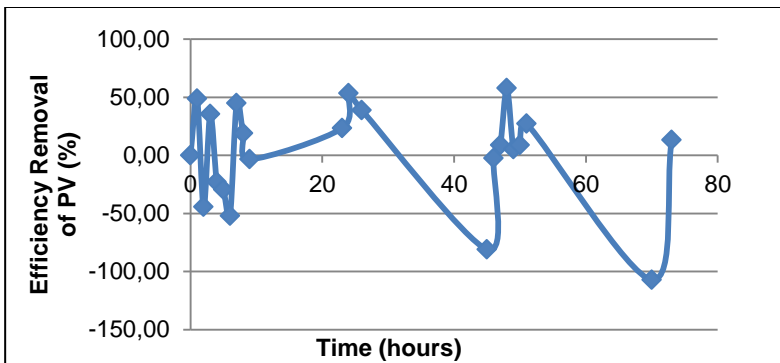
Pada Gambar 4.45, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 10 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 100 % pada jam ke 4.



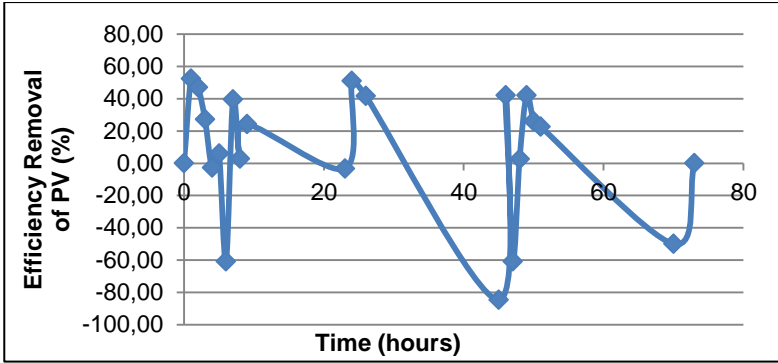
Gambar 4.45. Grafik Efisiensi *Removal* Warna dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi

4.7.2. Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi *removal* PV

Pada Gambar 4.46, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 48,8 % pada jam ke 1.

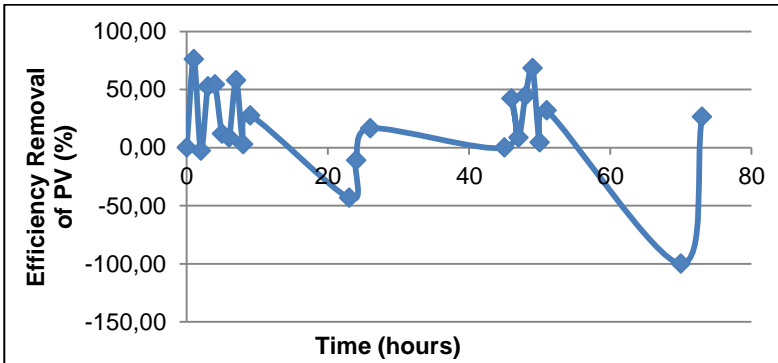


Gambar 4.46. Grafik Efisiensi *Removal* PV dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi



Gambar 4.47. Grafik Efisiensi *Removal* PV dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi

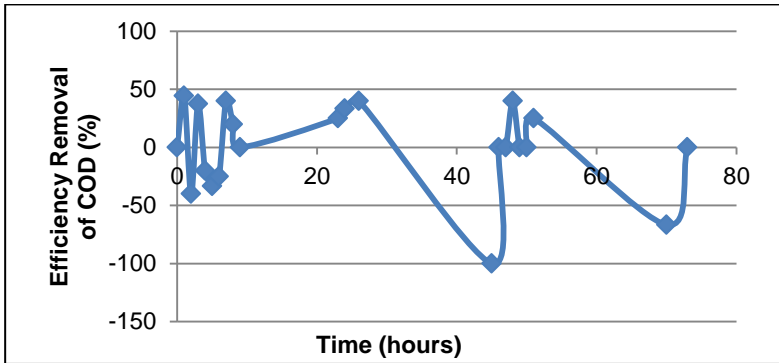
Pada Gambar 4.47, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 7,5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 52,38 % pada jam ke 1.



Gambar 4.48. Grafik Efisiensi *Removal* PV dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi

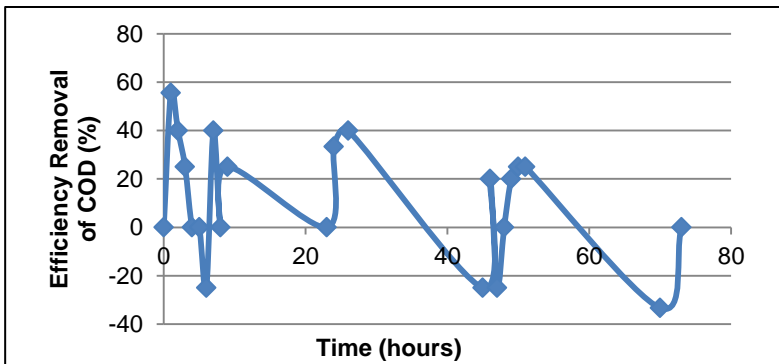
Pada Gambar 4.48, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 10 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 76,19 % pada jam ke 1.

4.7.3. Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi *removal* COD



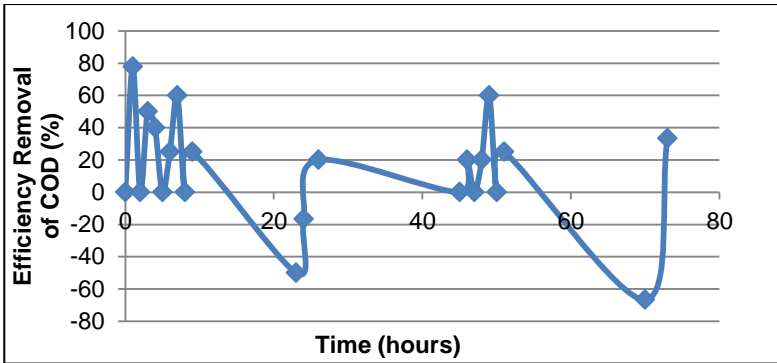
Gambar 4.49. Grafik Efisiensi *Removal* COD dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.49, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 44,44 % pada jam ke 1.



Gambar 4.50. Grafik Efisiensi *Removal* COD dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.50, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 7,5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 55,56 % pada jam ke 1.

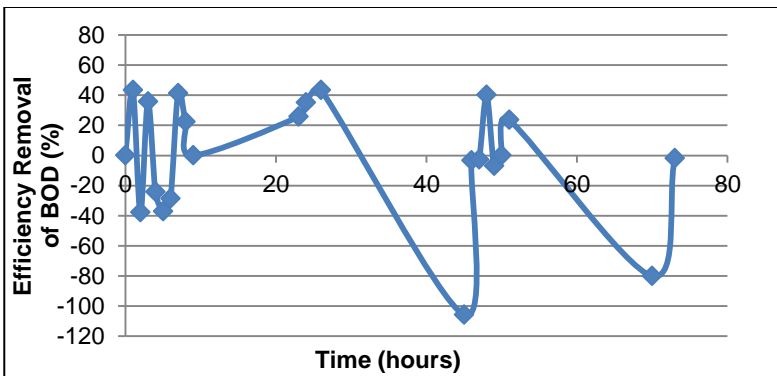


Gambar 4.51. Grafik Efisiensi *Removal* COD dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.51, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 10 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 77,78 % pada jam ke 1.

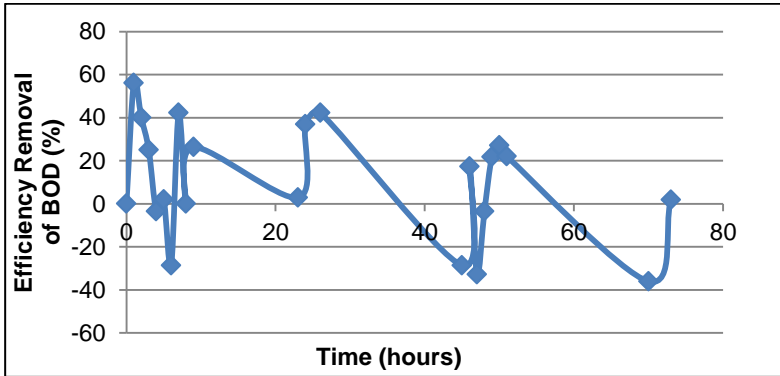
4.7.4. Pengaruh tinggi media terhadap efisiensi *removal* BOD

Pada Gambar 4.52, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 43,29 % pada jam ke 1.



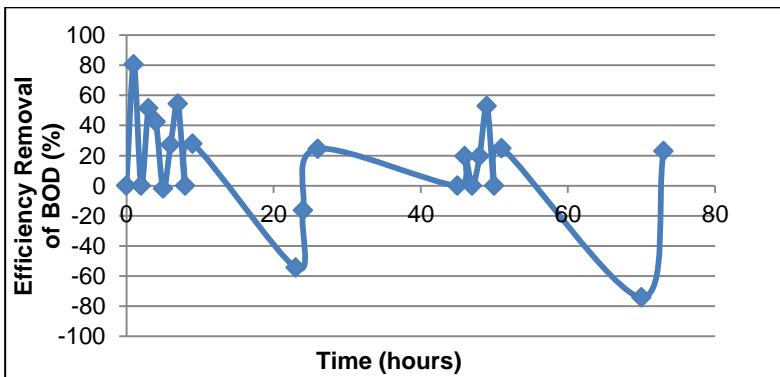
Gambar 4.52. Grafik Efisiensi *Removal* BOD dengan ketinggian adsorben 5 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.53, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 7,5 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 56,10 % pada jam ke 1.



Gambar 4.53. Grafik Efisiensi *Removal* BOD dengan ketinggian adsorben 7,5 cm pada kolom adsorpsi

Pada Gambar 4.54, analisis adsorpsi dengan sistem *continue* dengan ketinggian 10 cm menunjukkan bahwa nilai efisiensi *removal* tertinggi dicapai 80,49 % pada jam ke 1.



Gambar 4.54. Grafik Efisiensi *Removal* BOD dengan ketinggian adsorben 10 cm pada kolom adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4.43 hingga Gambar 4.54, efisiensi removal yang paling efektif untuk meng-adsorpsi warna, PV, COD, dan BOD yaitu kolom arang batok kalapa setinggi 10 cm dengan nilainya masing-masing sebesar 100 %, 76,19 %, 77,78 %, dan 80,49 %. Semua nilai tersebut didapat pada waktu ke 1, kecuali parameter warna pada waktu ke 4 sehingga nilai dan waktu tersebut dapat digunakan untuk kriteria desain kolom unit adsorpsi. Namun, grafik adsorpsi tersebut tidak sesuai dengan teori adsorpsi pada umumnya bahwa pada awal waktu adsorpsi mencapai nilai efisiensi maksimum hingga pada selang beberapa waktu terjadinya *breakthrough*. Adanya *breakthrough* diakibatkan terjadinya penurunan proses adsorpsi sehingga nilai efisiensi removal adsorpsi juga menurun secara drastis.

4.8. Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media

Konstanta kinetika dan kapasitas media dihitung menggunakan pendekatan kinetika (*kinetic approach*). Data yang digunakan adalah konsentrasi *influent* dan *effluent*, debit, dan massa adsorben yang didapat dari kurva *breakthrough*. Data volume terolah didapat dari pengukuran volume air selama proses berjalannya analisis adsorpsi menggunakan sistem *continue*.

4.8.1. Parameter Warna

Contoh perhitungan dan hasil nilai konstanta kinetika pada parameter warna dengan ketinggian adsorben 5, 7,5 dan 10 cm disajikan pada Tabel 4.62 hingga Tabel 4.64.

Contoh perhitungan:

Diketahui pada tinggi media 5 cm waktu jam ke 4

$$C_o = 0,26 \text{ mg/L}$$

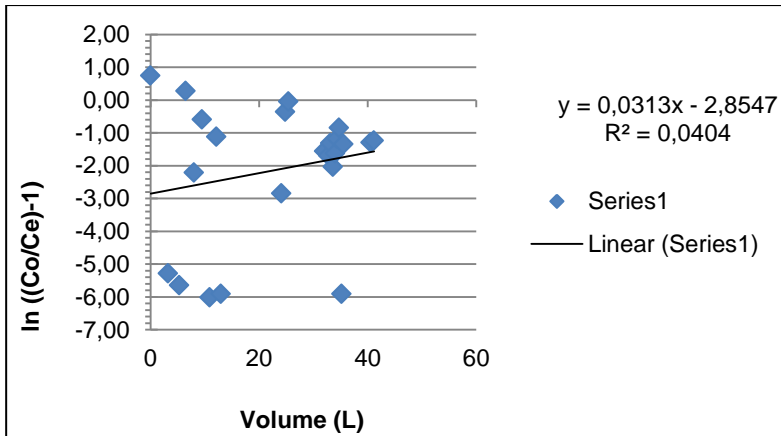
$$C_e = 0,11 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume Terolah (V)} = 1,13 \text{ L}$$

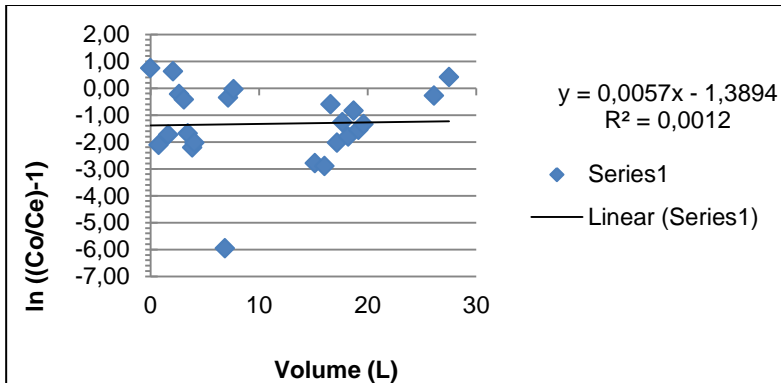
$$\ln ((C_o/C_e) - 1) = \ln ((0,26/0,11)-1) = \ln (1,32) = 0,28.$$

Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik dengan nilai axisnya yaitu Volume Terolah (V) dan nilai ordinatnya yaitu ln

((Co/Ce)-1). Grafik masing-masing tinggi media disajikan pada Gambar 4.55 hingga Gambar 4.57.



Gambar 4.55. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsoben 5 cm



Gambar 4.56. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm

Tabel 4.62: Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 | Co (A) | Ce (A) |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|--------|--------|
| 0 | 0,28 | 0,09 | 0 | 0 | 2,09 | 0,74 | 0,009 | 0 |
| 1 | 0,20 | 0,20 | 3,2 | 3,2 | 0,01 | -5,28 | 0,005 | 0,008 |
| 2 | 0,28 | 0,28 | 2,12 | 5,32 | 0,00 | -5,64 | 0,009 | 0,011 |
| 4 | 0,26 | 0,11 | 1,13 | 6,45 | 1,32 | 0,28 | 0,008 | 0,001 |
| 5 | 0,43 | 0,39 | 1,56 | 8,01 | 0,11 | -2,21 | 0,016 | 0,014 |
| 6 | 0,54 | 0,35 | 1,48 | 9,49 | 0,55 | -0,59 | 0,021 | 0,012 |
| 7 | 0,41 | 0,41 | 1,4 | 10,89 | 0,00 | -6,02 | 0,015 | 0,017 |
| 8 | 0,43 | 0,33 | 1,248 | 12,138 | 0,33 | -1,12 | 0,016 | 0,011 |
| 9 | 0,37 | 0,37 | 0,8 | 12,938 | 0,00 | -5,91 | 0,013 | 0,014 |
| 23 | 0,39 | 0,37 | 11,2 | 24,138 | 0,06 | -2,85 | 0,014 | 0,013 |
| 24 | 0,16 | 0,09 | 0,7 | 24,838 | 0,70 | -0,36 | 0,003 | 0 |
| 26 | 0,26 | 0,13 | 0,58 | 25,418 | 0,95 | -0,05 | 0,008 | 0,002 |
| 45 | 0,37 | 0,30 | 6,6 | 32,018 | 0,21 | -1,56 | 0,013 | 0,01 |
| 46 | 0,41 | 0,35 | 0,78 | 32,798 | 0,18 | -1,69 | 0,015 | 0,012 |
| 47 | 0,60 | 0,48 | 0,36 | 33,158 | 0,27 | -1,31 | 0,024 | 0,018 |
| 48 | 0,37 | 0,33 | 0,43 | 33,588 | 0,13 | -2,03 | 0,013 | 0,011 |
| 49 | 0,39 | 0,33 | 0,44 | 34,028 | 0,20 | -1,63 | 0,014 | 0,011 |
| 50 | 0,45 | 0,35 | 0,37 | 34,398 | 0,31 | -1,18 | 0,017 | 0,012 |
| 51 | 0,50 | 0,35 | 0,365 | 34,763 | 0,43 | -0,85 | 0,019 | 0,012 |
| 52 | 0,37 | 0,37 | 0,416 | 35,179 | 0,00 | -5,91 | 0,013 | 0,013 |
| 53 | 0,41 | 0,33 | 0,361 | 35,54 | 0,26 | -1,34 | 0,015 | 0,011 |
| 70 | 0,20 | 0,16 | 5,054 | 40,594 | 0,27 | -1,29 | 0,005 | 0,003 |
| 73 | 0,28 | 0,22 | 0,577 | 41,171 | 0,29 | -1,23 | 0,009 | 0,006 |

Tabel 4.63. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm

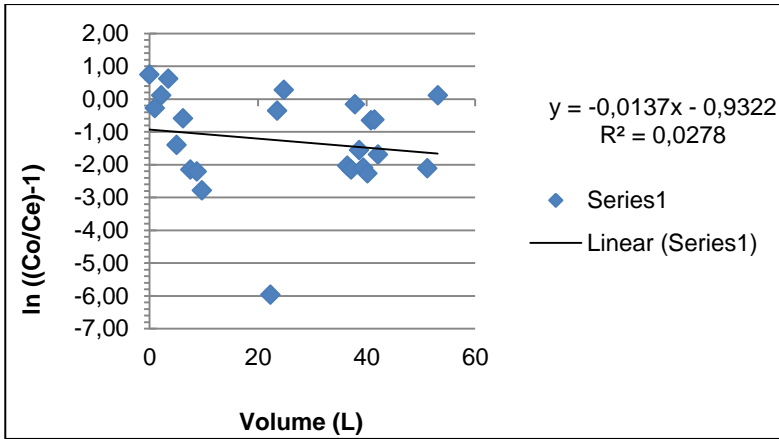
| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | In (Co/Ce)-1 | Co (A) | Ce (A) |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|--------|--------|
| 0 | 0,28 | 0,09 | 0 | 0 | 2,09 | 0,74 | 0,009 | 0 |
| 1 | 0,20 | 0,18 | 0,75 | 0,75 | 0,12 | -2,12 | 0,005 | 0,004 |
| 2 | 0,28 | 0,24 | 0,9 | 1,65 | 0,18 | -1,73 | 0,009 | 0,007 |
| 4 | 0,26 | 0,09 | 0,45 | 2,1 | 1,86 | 0,62 | 0,008 | 0 |
| 5 | 0,43 | 0,24 | 0,54 | 2,64 | 0,80 | -0,23 | 0,016 | 0,007 |
| 6 | 0,54 | 0,33 | 0,46 | 3,1 | 0,65 | -0,43 | 0,021 | 0,011 |
| 7 | 0,41 | 0,35 | 0,35 | 3,45 | 0,18 | -1,69 | 0,015 | 0,012 |
| 8 | 0,43 | 0,39 | 0,41 | 3,86 | 0,11 | -2,21 | 0,016 | 0,014 |
| 9 | 0,37 | 0,33 | 0,2 | 4,06 | 0,13 | -2,03 | 0,013 | 0,011 |
| 23 | 0,39 | 0,39 | 2,8 | 6,86 | 0,00 | -5,96 | 0,014 | 0,015 |
| 24 | 0,16 | 0,09 | 0,3 | 7,16 | 0,70 | -0,36 | 0,003 | 0 |
| 26 | 0,26 | 0,13 | 0,487 | 7,647 | 0,95 | -0,05 | 0,008 | 0,002 |
| 45 | 0,37 | 0,35 | 7,5 | 15,147 | 0,06 | -2,79 | 0,013 | 0,012 |
| 46 | 0,41 | 0,39 | 0,9 | 16,047 | 0,05 | -2,91 | 0,015 | 0,014 |
| 47 | 0,60 | 0,39 | 0,54 | 16,587 | 0,55 | -0,60 | 0,024 | 0,014 |
| 48 | 0,37 | 0,33 | 0,6 | 17,187 | 0,13 | -2,03 | 0,013 | 0,011 |
| 49 | 0,39 | 0,30 | 0,51 | 17,697 | 0,28 | -1,27 | 0,014 | 0,01 |
| 50 | 0,45 | 0,39 | 0,53 | 18,227 | 0,16 | -1,81 | 0,017 | 0,014 |
| 51 | 0,50 | 0,35 | 0,5 | 18,727 | 0,43 | -0,85 | 0,019 | 0,012 |
| 52 | 0,37 | 0,30 | 0,447 | 19,174 | 0,21 | -1,56 | 0,013 | 0,01 |
| 53 | 0,41 | 0,33 | 0,463 | 19,637 | 0,26 | -1,34 | 0,015 | 0,011 |
| 70 | 0,20 | 0,11 | 6,482 | 26,119 | 0,75 | -0,28 | 0,005 | 0,001 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ | Co (A) | Ce (A) |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|--------|--------|
| 73 | 0,28 | 0,11 | 1,389 | 27,508 | 1,51 | 0,41 | 0,009 | 0,001 |

Tabel 4.64. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ | Co (A) | Ce (A) |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|--------|--------|
| 0 | 0,28 | 0,09 | 0 | 0 | 2,09 | 0,74 | 0,009 | 0 |
| 1 | 0,20 | 0,11 | 1 | 1 | 0,75 | -0,28 | 0,005 | 0,001 |
| 2 | 0,28 | 0,13 | 1,19 | 2,19 | 1,11 | 0,11 | 0,009 | 0,002 |
| 4 | 0,26 | 0,09 | 1,3 | 3,49 | 1,86 | 0,62 | 0,008 | 0 |
| 5 | 0,43 | 0,35 | 1,48 | 4,97 | 0,25 | -1,40 | 0,016 | 0,012 |
| 6 | 0,54 | 0,35 | 1,2 | 6,17 | 0,55 | -0,59 | 0,021 | 0,012 |
| 7 | 0,41 | 0,37 | 1,35 | 7,52 | 0,12 | -2,16 | 0,015 | 0,013 |
| 8 | 0,43 | 0,39 | 1,212 | 8,732 | 0,11 | -2,21 | 0,016 | 0,014 |
| 9 | 0,37 | 0,35 | 0,905 | 9,637 | 0,06 | -2,79 | 0,013 | 0,012 |
| 23 | 0,39 | 0,39 | 12,67 | 22,307 | 0,00 | -5,96 | 0,014 | 0,016 |
| 24 | 0,16 | 0,09 | 1,244 | 23,551 | 0,70 | -0,36 | 0,003 | 0 |
| 26 | 0,26 | 0,11 | 1,19 | 24,741 | 1,32 | 0,28 | 0,008 | 0,001 |
| 45 | 0,37 | 0,33 | 11,72 | 36,461 | 0,13 | -2,03 | 0,013 | 0,011 |
| 46 | 0,41 | 0,37 | 0,679 | 37,14 | 0,12 | -2,16 | 0,015 | 0,013 |
| 47 | 0,60 | 0,33 | 0,75 | 37,89 | 0,85 | -0,16 | 0,024 | 0,011 |
| 48 | 0,37 | 0,30 | 0,74 | 38,63 | 0,21 | -1,56 | 0,013 | 0,01 |
| 49 | 0,39 | 0,35 | 0,76 | 39,39 | 0,12 | -2,10 | 0,014 | 0,012 |
| 50 | 0,45 | 0,41 | 0,75 | 40,14 | 0,10 | -2,27 | 0,017 | 0,015 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ | Co (A) | Ce (A) |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|--------|--------|
| 51 | 0,50 | 0,33 | 0,7 | 40,84 | 0,52 | -0,65 | 0,019 | 0,011 |
| 52 | 0,37 | 0,24 | 0,62 | 41,46 | 0,53 | -0,63 | 0,013 | 0,007 |
| 53 | 0,41 | 0,35 | 0,648 | 42,108 | 0,18 | -1,69 | 0,015 | 0,012 |
| 70 | 0,20 | 0,18 | 9,072 | 51,18 | 0,12 | -2,12 | 0,005 | 0,004 |
| 73 | 0,28 | 0,13 | 1,944 | 53,124 | 1,11 | 0,11 | 0,009 | 0,002 |



Gambar 4.57. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter Warna dengan Tinggi Adsorben 10 cm

Berdasarkan Gambar 4.55 hingga Gambar 4.57, dapat dihitung kapasitas media pada setiap tinggi adsorben pada kolom adsorpsi. Contoh dan hasil perhitungan kapasitas media disajikan pada Tabel 4.65.

Tabel 4.65. Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter Warna

| Tinggi Kolom (cm) | intersep | slope | Q (L/jam) | K_1 (lt/mg.jam) | M (gr) | q_0 |
|-------------------|----------|---------|-----------|-------------------|--------|--------|
| 5 | -2,8547 | 0,0313 | 0,56 | -0,016 | 22,37 | 0,005 |
| 7,5 | -1,3894 | 0,0057 | 0,38 | -0,004 | 33,56 | 0,004 |
| 10 | -0,9322 | -0,0137 | 0,73 | 0,005 | 44,75 | -0,003 |

Contoh Perhitungan Pada Tinggi Kolom 5 cm:

Diketahui:

Intersep= -2,8547 Volume Terolah = 41,171 L
 Slope = 0,0313 Waktu = 73 jam
 Diameter Kolom = 2,94 cm C_0 = 0,28 mg/L
 Densitas Adsorben Berdiameter Mesh 12 = 0,6589 gr/ml

Debit (Q) = volume terolah / Waktu = 41,171 L / 73 jam = 0,56 L/jam.

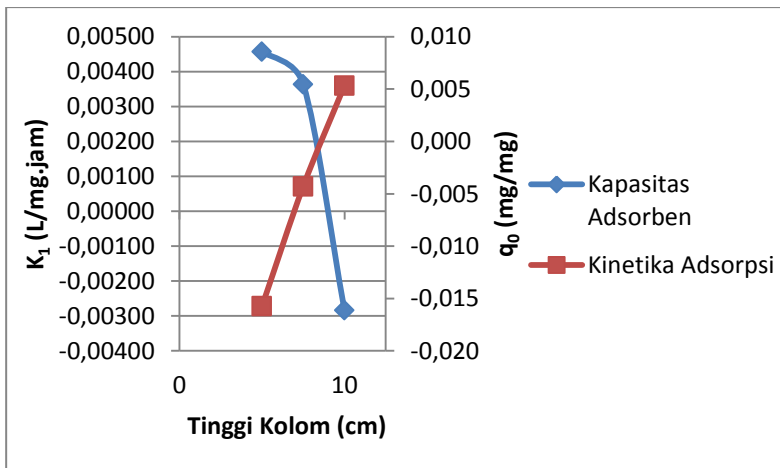
$$K_1 = -(\text{slope} \times C_0/Q) = -(0,0313 \times 0,28/0,56) = -0,016 \text{ L/mg.jam}$$

Massa Adsorben (M) = Densitas Adsorben x Volume Adsorben
 Massa Adsorben (M) = 0,6589 x (22/7 x 2,94²/4 x 5)

Massa Adsorben (M) = 22,37 gram

$$q_0 = \text{intersep} \times Q / (K_1 \times M / 1000) \\ = -2,8547 \times 0,56 / (-0,016 \times 22,37 \times 1000) = 0,005 \text{ mg/mg}$$

Berdasarkan Tabel 4.65, didapat bahwa nilai kapasitas media pada kolom adsorpsi setinggi 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 0,005 mg warna/mg adsorben, 0,004 mg warna/mg adsorben, dan -0,003 mg warna/mg adsorben. Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik perbandingan antara nilai kinetika adsorpsi dan kapasitas medianya pada parameter warna yang disajikan pada Gambar 4.58.



Gambar 4.58. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter Warna

4.8.2. Parameter PV

Contoh perhitungan dan hasil nilai konstanta kinetika pada parameter PV dengan ketinggian adsorben 5, 7,5 dan 10 cm disajikan pada Tabel 4.66 hingga Tabel 4.68.

Tabel 4.66. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm

| Waktu | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 36,66 | 36,66 | 0 | 0 | 0,00 | -10,51 |
| 1 | 79,63 | 40,77 | 3,2 | 3,2 | 0,95 | -0,05 |
| 2 | 45,5 | 45,5 | 2,12 | 5,32 | 0,00 | -10,73 |
| 3 | 74,57 | 48,03 | 1,2 | 6,52 | 0,55 | -0,59 |
| 4 | 44,24 | 44,24 | 1,13 | 7,65 | 0,00 | -10,70 |
| 5 | 21,49 | 21,49 | 1,56 | 9,21 | 0,00 | -9,98 |
| 6 | 29,07 | 29,07 | 1,48 | 10,69 | 0,00 | -10,28 |
| 7 | 48,03 | 26,54 | 1,4 | 12,09 | 0,81 | -0,21 |
| 8 | 46,77 | 37,92 | 1,248 | 13,338 | 0,23 | -1,46 |
| 9 | 36,66 | 36,66 | 0,8 | 14,138 | 0,00 | -10,51 |
| 23 | 37,92 | 29,07 | 11,2 | 25,338 | 0,30 | -1,19 |
| 24 | 56,88 | 26,54 | 0,7 | 26,038 | 1,14 | 0,13 |
| 26 | 45,5 | 27,81 | 0,58 | 26,618 | 0,64 | -0,45 |
| 45 | 26,54 | 26,54 | 6,6 | 33,218 | 0,00 | -10,19 |
| 46 | 48,03 | 48,03 | 0,78 | 33,998 | 0,00 | -10,78 |
| 47 | 29,07 | 26,54 | 0,36 | 34,358 | 0,10 | -2,35 |
| 48 | 48,03 | 20,22 | 0,43 | 34,788 | 1,38 | 0,32 |
| 49 | 48,03 | 45,5 | 0,44 | 35,228 | 0,06 | -2,89 |
| 50 | 29,07 | 26,54 | 0,37 | 35,598 | 0,10 | -2,35 |
| 51 | 27,81 | 20,22 | 0,365 | 35,963 | 0,38 | -0,98 |
| 70 | 17,7 | 17,7 | 5,054 | 41,017 | 0,00 | -9,78 |
| 73 | 18,92 | 16,43 | 0,577 | 41,594 | 0,15 | -1,89 |

Tabel 4.67. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 36,66 | 36,66 | 0 | 0 | 0,00 | -10,51 |
| 1 | 79,63 | 37,92 | 0,75 | 0,75 | 1,10 | 0,10 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| 2 | 45,5 | 24,07 | 0,9 | 1,65 | 0,89 | -0,12 |
| 4 | 74,57 | 54,35 | 0,49 | 2,14 | 0,37 | -0,99 |
| 5 | 44,24 | 44,24 | 0,45 | 2,59 | 0,00 | -10,70 |
| 6 | 21,49 | 20,22 | 0,54 | 3,13 | 0,06 | -2,77 |
| 7 | 29,07 | 29,07 | 0,46 | 3,59 | 0,00 | -10,28 |
| 8 | 48,03 | 29,07 | 0,35 | 3,94 | 0,65 | -0,43 |
| 9 | 46,77 | 45,5 | 0,41 | 4,35 | 0,03 | -3,58 |
| 23 | 36,66 | 27,81 | 0,2 | 4,55 | 0,32 | -1,14 |
| 24 | 37,92 | 37,92 | 2,8 | 7,35 | 0,00 | -10,54 |
| 26 | 56,88 | 27,81 | 0,3 | 7,65 | 1,05 | 0,04 |
| 45 | 45,5 | 26,54 | 0,487 | 8,137 | 0,71 | -0,34 |
| 46 | 26,54 | 26,54 | 7,5 | 15,637 | 0,00 | -10,19 |
| 47 | 48,03 | 27,84 | 0,9 | 16,537 | 0,73 | -0,32 |
| 48 | 29,07 | 29,07 | 0,54 | 17,077 | 0,00 | -10,28 |
| 49 | 48,03 | 46,77 | 0,6 | 17,677 | 0,03 | -3,61 |
| 50 | 48,03 | 27,81 | 0,51 | 18,187 | 0,73 | -0,32 |
| 51 | 29,07 | 21,49 | 0,53 | 18,717 | 0,35 | -1,04 |
| 52 | 27,81 | 21,49 | 0,5 | 19,217 | 0,29 | -1,22 |
| 53 | 17,7 | 17,7 | 6,482 | 25,699 | 0,00 | -9,78 |
| 70 | 18,92 | 18,92 | 1,389 | 27,088 | 0,00 | -9,85 |
| 73 | 0,28 | 0,13 | 1,944 | 29,032 | 1,11 | 0,11 |

Tabel 4.68. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter PV dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| 0 | 36,66 | 36,66 | 0 | 0 | 0,00 | -10,51 |
| 1 | 79,63 | 18,96 | 1 | 1 | 3,20 | 1,16 |
| 2 | 45,5 | 45,5 | 1,19 | 2,19 | 0,00 | -10,73 |
| 4 | 74,57 | 35,39 | 1,3 | 3,49 | 1,11 | 0,10 |
| 5 | 44,24 | 20,22 | 1,3 | 4,79 | 1,19 | 0,17 |
| 6 | 21,49 | 18,96 | 1,48 | 6,27 | 0,13 | -2,01 |
| 7 | 29,07 | 26,54 | 1,2 | 7,47 | 0,10 | -2,35 |
| 8 | 48,03 | 20,22 | 1,35 | 8,82 | 1,38 | 0,32 |
| 9 | 46,77 | 45,5 | 1,212 | 10,032 | 0,03 | -3,58 |
| 23 | 36,66 | 26,54 | 0,905 | 10,937 | 0,38 | -0,96 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 24 | 37,92 | 37,92 | 12,67 | 23,607 | 0,00 | -10,54 |
| 26 | 56,88 | 56,88 | 1,244 | 24,851 | 0,00 | -10,95 |
| 45 | 45,5 | 37,92 | 1,19 | 26,041 | 0,20 | -1,61 |
| 46 | 26,54 | 26,54 | 11,72 | 37,761 | 0,00 | -10,19 |
| 47 | 48,03 | 27,81 | 0,679 | 38,44 | 0,73 | -0,32 |
| 48 | 29,07 | 26,54 | 0,75 | 39,19 | 0,10 | -2,35 |
| 49 | 48,03 | 26,54 | 0,74 | 39,93 | 0,81 | -0,21 |
| 50 | 48,03 | 15,17 | 0,76 | 40,69 | 2,17 | 0,77 |
| 51 | 29,07 | 27,81 | 0,75 | 41,44 | 0,05 | -3,09 |
| 52 | 27,81 | 18,92 | 0,7 | 42,14 | 0,47 | -0,76 |
| 53 | 17,7 | 17,7 | 9,072 | 51,212 | 0,00 | -9,78 |
| 70 | 18,92 | 13,9 | 1,944 | 53,156 | 0,36 | -1,02 |
| 73 | 0,28 | 0,13 | 1,944 | 55,1 | 1,11 | 0,11 |

Contoh perhitungan:

Diketahui pada tinggi media 5 cm waktu jam ke 1

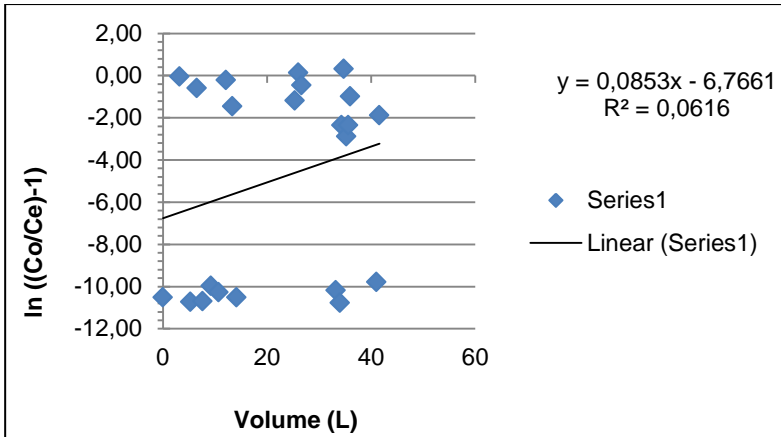
Co = 79,63 mg/L

Ce = 40,77 mg/L

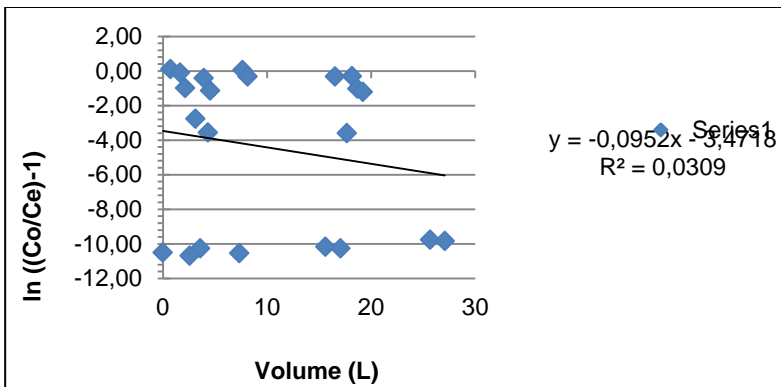
Volume Terolah (V) = 3,2 L

$\ln ((Co/Ce) - 1) = \ln ((79,63/40,77)-1) = \ln (0,95) = -0,05.$

Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik dengan nilai axisnya yaitu Volume Terolah (V) dan nilai ordinatnya yaitu $\ln ((Co/Ce)-1)$. Grafik masing-masing tinggi media disajikan pada Gambar 4.58 hingga Gambar 4.60. Berdasarkan Gambar 4.58 hingga Gambar 4.60, dapat dihitung kapasitas media pada setiap tinggi adsorben pada kolom adsorpsi. Contoh dan hasil perhitungan kapasitas media disajikan pada Tabel 4.69.



Gambar 4.59. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter PV dengan Tinggi Adsoben 5 cm

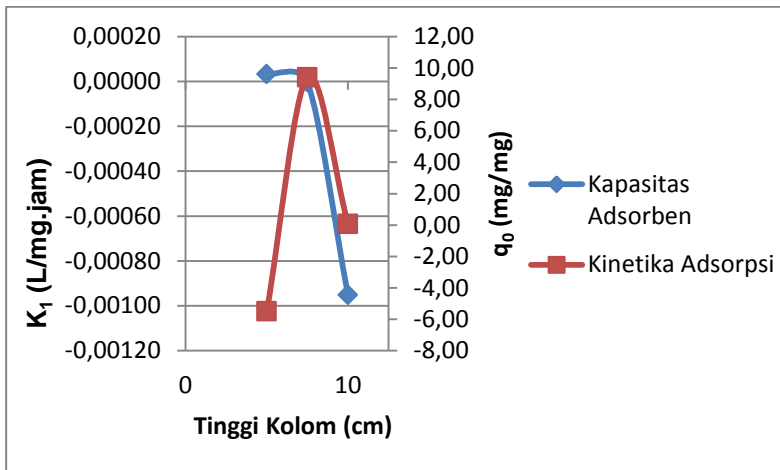


Gambar 4.60. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter PV dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm

Massa Adsorben (M) = Densitas Adsorben x Volume Adsorben
 Massa Adsorben (M) = 0,6589 x (22/7 x 2,94²/4 x 5)
 Massa Adsorben (M) = 22,37 gram

$$\begin{aligned}
 q_0 &= \text{intersep} \times Q / (K_1 \times M / 1000) \\
 &= -6,7661 \times 0,57 / (-5,49 \times 22,37 \times 1000) \\
 &= 0,000031 \text{ mg/mg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.69, didapat bahwa nilai kapasitas media pada kolom adsorpsi setinggi 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 31×10^{-6} mg PV/mg adsorben, -4×10^{-6} mg PV/mg adsorben, dan -953×10^{-6} mg PV/mg adsorben. Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik perbandingan antara nilai kinetika adsorpsi dan kapasitas medianya pada parameter warna yang disajikan pada Gambar 4.62.



Gambar 4.62. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter PV

4.8.3. Parameter COD

Contoh perhitungan dan hasil nilai konstanta kinetika pada parameter COD dengan ketinggian adsorben 5, 7,5 dan 10 cm disajikan pada Tabel 4.70 hingga Tabel 4.72.

Tabel 4.70. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm

| Waktu | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |
| 1 | 36 | 20 | 3,2 | 3,2 | 0,80 | -0,22 |
| 2 | 20 | 20 | 2,12 | 5,32 | 0,00 | -9,90 |
| 3 | 32 | 20 | 1,2 | 6,52 | 0,60 | -0,51 |
| 4 | 20 | 20 | 1,13 | 7,65 | 0,00 | -9,90 |
| 5 | 12 | 12 | 1,56 | 9,21 | 0,00 | -9,39 |
| 6 | 16 | 16 | 1,48 | 10,69 | 0,00 | -9,68 |
| 7 | 20 | 12 | 1,4 | 12,09 | 0,67 | -0,41 |
| 8 | 20 | 16 | 1,248 | 13,338 | 0,25 | -1,39 |
| 9 | 16 | 16 | 0,8 | 14,138 | 0,00 | -9,68 |
| 23 | 16 | 12 | 11,2 | 25,338 | 0,33 | -1,10 |
| 24 | 24 | 16 | 0,7 | 26,038 | 0,50 | -0,69 |
| 26 | 20 | 12 | 0,58 | 26,618 | 0,67 | -0,41 |
| 45 | 16 | 16 | 6,6 | 33,218 | 0,00 | -9,68 |
| 46 | 20 | 20 | 0,78 | 33,998 | 0,00 | -9,90 |
| 47 | 16 | 16 | 0,36 | 34,358 | 0,00 | -9,68 |
| 48 | 20 | 12 | 0,43 | 34,788 | 0,67 | -0,41 |
| 49 | 20 | 20 | 0,44 | 35,228 | 0,00 | -9,90 |
| 50 | 16 | 16 | 0,37 | 35,598 | 0,00 | -9,68 |
| 51 | 16 | 12 | 0,365 | 35,963 | 0,33 | -1,10 |
| 70 | 12 | 12 | 5,054 | 41,017 | 0,00 | -9,39 |
| 73 | 12 | 12 | 0,577 | 41,594 | 0,00 | -9,39 |

Tabel 4.71. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |
| 1 | 36 | 16 | 0,75 | 0,75 | 1,25 | 0,22 |
| 2 | 20 | 12 | 0,9 | 1,65 | 0,67 | -0,41 |
| 4 | 32 | 24 | 0,49 | 2,14 | 0,33 | -1,10 |
| 5 | 20 | 20 | 0,45 | 2,59 | 0,00 | -9,90 |
| 6 | 12 | 12 | 0,54 | 3,13 | 0,00 | -9,39 |
| 7 | 16 | 16 | 0,46 | 3,59 | 0,00 | -9,68 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| 8 | 20 | 12 | 0,35 | 3,94 | 0,67 | -0,41 |
| 9 | 20 | 20 | 0,41 | 4,35 | 0,00 | -9,90 |
| 23 | 16 | 12 | 0,2 | 4,55 | 0,33 | -1,10 |
| 24 | 16 | 16 | 2,8 | 7,35 | 0,00 | -9,68 |
| 26 | 24 | 16 | 0,3 | 7,65 | 0,50 | -0,69 |
| 45 | 20 | 12 | 0,487 | 8,137 | 0,67 | -0,41 |
| 46 | 16 | 16 | 7,5 | 15,637 | 0,00 | -9,68 |
| 47 | 20 | 16 | 0,9 | 16,537 | 0,25 | -1,39 |
| 48 | 16 | 16 | 0,54 | 17,077 | 0,00 | -9,68 |
| 49 | 20 | 20 | 0,6 | 17,677 | 0,00 | -9,90 |
| 50 | 20 | 16 | 0,51 | 18,187 | 0,25 | -1,39 |
| 51 | 16 | 12 | 0,53 | 18,717 | 0,33 | -1,10 |
| 52 | 16 | 12 | 0,5 | 19,217 | 0,33 | -1,10 |
| 53 | 12 | 12 | 6,482 | 25,699 | 0,00 | -9,39 |
| 70 | 12 | 12 | 1,389 | 27,088 | 0,00 | -9,39 |
| 73 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |

Tabel 4.72. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter COD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce) ₁ | ln (Co/Ce) ₁ |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| 0 | 16 | 15,999 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |
| 1 | 36 | 8 | 1 | 1 | 3,50 | 1,25 |
| 2 | 20 | 19,999 | 1,19 | 2,19 | 0,00 | -9,90 |
| 4 | 32 | 16 | 1,3 | 3,49 | 1,00 | 0,00 |
| 5 | 20 | 12 | 1,3 | 4,79 | 0,67 | -0,41 |
| 6 | 12 | 11,999 | 1,48 | 6,27 | 0,00 | -9,39 |
| 7 | 16 | 12 | 1,2 | 7,47 | 0,33 | -1,10 |
| 8 | 20 | 8 | 1,35 | 8,82 | 1,50 | 0,41 |
| 9 | 20 | 19,999 | 1,212 | 10,032 | 0,00 | -9,90 |
| 23 | 16 | 12 | 0,905 | 10,937 | 0,33 | -1,10 |
| 24 | 16 | 15,999 | 12,67 | 23,607 | 0,00 | -9,68 |
| 26 | 24 | 23,999 | 1,244 | 24,851 | 0,00 | -10,09 |
| 45 | 20 | 16 | 1,19 | 26,041 | 0,25 | -1,39 |
| 46 | 16 | 15,999 | 11,72 | 37,761 | 0,00 | -9,68 |
| 47 | 20 | 16 | 0,679 | 38,44 | 0,25 | -1,39 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 48 | 16 | 15,999 | 0,75 | 39,19 | 0,00 | -9,68 |
| 49 | 20 | 16 | 0,74 | 39,93 | 0,25 | -1,39 |
| 50 | 20 | 8 | 0,76 | 40,69 | 1,50 | 0,41 |
| 51 | 16 | 15,999 | 0,75 | 41,44 | 0,00 | -9,68 |
| 52 | 16 | 12 | 0,7 | 42,14 | 0,33 | -1,10 |
| 53 | 12 | 11,999 | 9,072 | 51,212 | 0,00 | -9,39 |
| 70 | 12 | 8 | 1,944 | 53,156 | 0,50 | -0,69 |
| 73 | 16 | 15,999 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |

Contoh perhitungan:

Diketahui pada tinggi media 5 cm waktu jam ke 1

Co = 36 mg/L

Ce = 20 mg/L

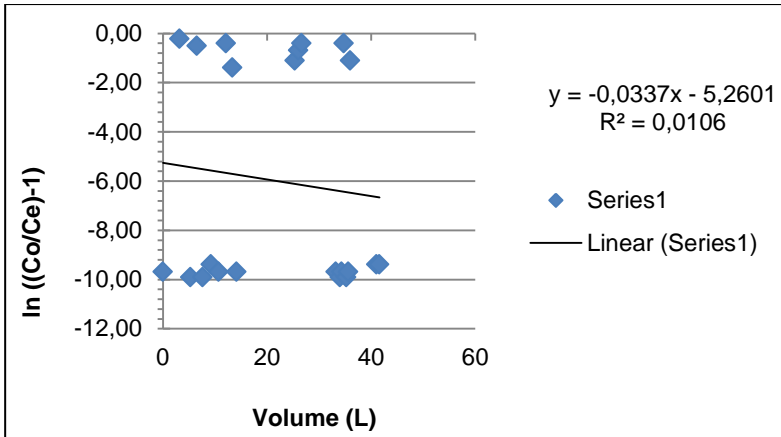
Volume Terolah (V) = 3,2 L

$\ln ((Co/Ce) - 1) = \ln ((36/20)-1) = \ln (0,8) = -0,22.$

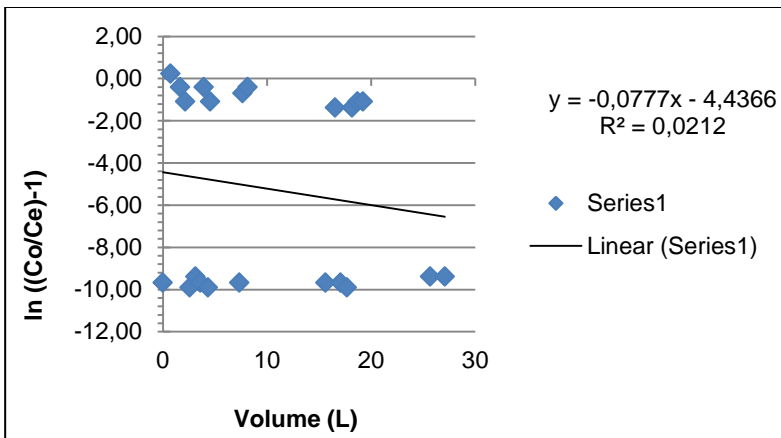
Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik dengan nilai axisnya yaitu Volume Terolah (V) dan nilai ordinatnya yaitu $\ln ((Co/Ce)-1)$. Grafik masing-masing tinggi media disajikan pada Gambar 4.61 hingga Gambar 4.63. Berdasarkan Gambar 4.61 hingga Gambar 4.63, dapat dihitung kapasitas media pada setiap tinggi adsorben pada kolom adsorpsi. Contoh dan hasil perhitungan kapasitas media disajikan pada Tabel 4.73.

Tabel 4.73. Perhitungan Persamaan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media pada Parameter COD

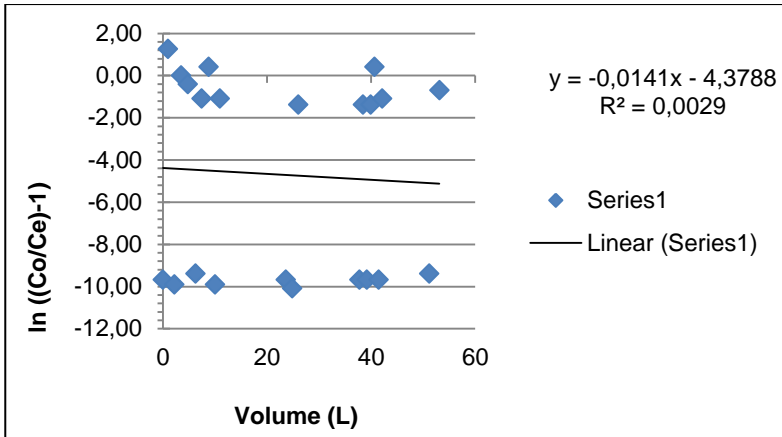
| Tinggi Kolom (cm) | intersep | slope | Q (L/jam) | K ₁ (lt/mg.jam) | M (gr) | q ₀ |
|-------------------|----------|---------|-----------|----------------------------|--------|----------------|
| 5 | -5,2601 | -0,0337 | 0,57 | 0,95 | 22,37 | -0,00014 |
| 7,5 | -4,4366 | -0,0777 | 0,37 | 3,35 | 33,56 | -0,00001 |
| 10 | -4,3788 | -0,0141 | 0,73 | 0,31 | 44,75 | -0,00023 |



Gambar 4.63. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsoben 5 cm



Gambar 4.64. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsoben 7,5 cm



Gambar 4.65. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter COD dengan Tinggi Adsorben 10 cm

Contoh Perhitungan Pada Tinggi Kolom 5 cm:

Diketahui:

Intersep= -5,2601

Volume Terolah = 41,594 L

Slope = 0,0337

Waktu = 73 jam

Diameter Kolom = 2,94 cm

Co = 16 mg/L

Densitas Adsorben Berdiameter Mesh 12

= 0,6589 gr/ml

Debit (Q) = volume terolah / Waktu = 41,594 L / 73 jam

Debit (Q) = 0,57 L/jam.

$K_1 = -(\text{slope} \times \text{Co}/Q) = -(0,0337 \times 16/0,57) = 0,95 \text{ L/mg.jam}$

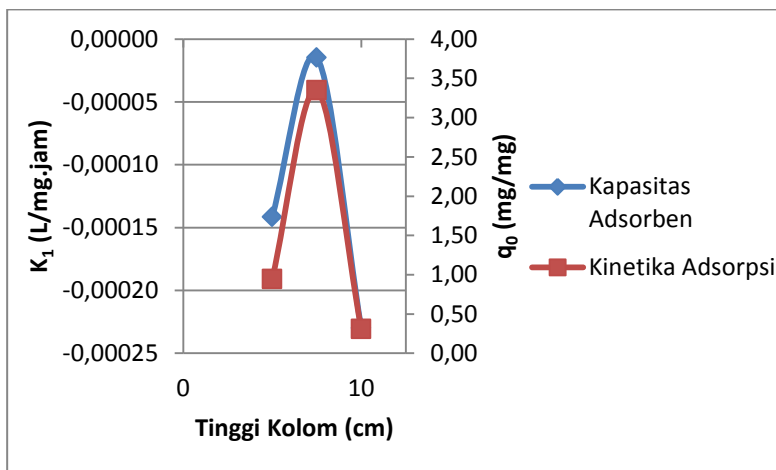
Massa Adsorben (M) = Densitas Adsorben x Volume Adsorben

Massa Adsorben (M) = 0,6589 x (22/7 x 2,94²/4 x 5)

Massa Adsorben (M) = 22,37 gram

$q_0 = \text{intersep} \times Q / (K_1 \times M / 1000)$
 $= -5,2601 \times 0,57 / (0,95 \times 22,37 \times 1000)$
 $= -0,00014 \text{ mg/mg}$

Berdasarkan Tabel 4.73, didapat bahwa nilai kapasitas media pada kolom adsorpsi setinggi 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar -14×10^{-5} mg COD/mg adsorben, -1×10^{-5} mg COD/mg adsorben, dan -23×10^{-5} mg COD/mg adsorben. Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik perbandingan antara nilai kinetika adsorpsi dan kapasitas medianya pada parameter warna yang disajikan pada Gambar 4.66.



Gambar 4.66. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter COD

4.8.4. Parameter BOD

Contoh perhitungan dan hasil nilai konstanta kinetika pada parameter BOD dengan ketinggian adsorben 5, 7,5 dan 10 cm disajikan pada Tabel 4.74 hingga Tabel 4.76.

Tabel 4.74. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 5 cm

| Waktu | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 6,8 | 6,799 | 0 | 0 | 0,00 | -8,82 |
| 1 | 16,4 | 9,3 | 3,2 | 3,2 | 0,76 | -0,27 |
| 2 | 9 | 8,999 | 2,12 | 5,32 | 0,00 | -9,10 |

| Waktu | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)- ₁ | ln (Co/Ce)- ₁ |
|-------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| 3 | 14 | 9 | 1,2 | 6,52 | 0,56 | -0,59 |
| 4 | 8,7 | 8,699 | 1,13 | 7,65 | 0,00 | -9,07 |
| 5 | 5,1 | 5,099 | 1,56 | 9,21 | 0,00 | -8,54 |
| 6 | 7 | 6,999 | 1,48 | 10,69 | 0,00 | -8,85 |
| 7 | 9 | 5,3 | 1,4 | 12,09 | 0,70 | -0,36 |
| 8 | 9 | 7 | 1,248 | 13,338 | 0,29 | -1,25 |
| 9 | 7,2 | 7,199 | 0,8 | 14,138 | 0,00 | -8,88 |
| 23 | 7 | 5,2 | 11,2 | 25,338 | 0,35 | -1,06 |
| 24 | 11,1 | 7,2 | 0,7 | 26,038 | 0,54 | -0,61 |
| 26 | 9 | 5,1 | 0,58 | 26,618 | 0,76 | -0,27 |
| 45 | 7 | 6,999 | 6,6 | 33,218 | 0,00 | -8,85 |
| 46 | 8,7 | 8,699 | 0,78 | 33,998 | 0,00 | -9,07 |
| 47 | 7 | 6,999 | 0,36 | 34,358 | 0,00 | -8,85 |
| 48 | 8,7 | 5,2 | 0,43 | 34,788 | 0,67 | -0,40 |
| 49 | 8,7 | 8,699 | 0,44 | 35,228 | 0,00 | -9,07 |
| 50 | 7 | 6,999 | 0,37 | 35,598 | 0,00 | -8,85 |
| 51 | 6,8 | 5,2 | 0,365 | 35,963 | 0,31 | -1,18 |
| 70 | 5 | 4,999 | 5,054 | 41,017 | 0,00 | -8,52 |
| 73 | 5,2 | 5,199 | 0,577 | 41,594 | 0,00 | -8,56 |

Tabel 4.75. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 7,5 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)- ₁ | ln (Co/Ce)- ₁ |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| 0 | 6,8 | 6,799 | 0 | 0 | 0,00 | -8,82 |
| 1 | 16,4 | 7,2 | 0,75 | 0,75 | 1,28 | 0,25 |
| 2 | 9 | 5,4 | 0,9 | 1,65 | 0,67 | -0,41 |
| 4 | 14 | 10,5 | 0,49 | 2,14 | 0,33 | -1,10 |
| 5 | 8,7 | 8,699 | 0,45 | 2,59 | 0,00 | -9,07 |
| 6 | 5,1 | 5 | 0,54 | 3,13 | 0,02 | -3,91 |
| 7 | 7 | 6,999 | 0,46 | 3,59 | 0,00 | -8,85 |
| 8 | 9 | 5,2 | 0,35 | 3,94 | 0,73 | -0,31 |
| 9 | 9 | 8,999 | 0,41 | 4,35 | 0,00 | -9,10 |
| 23 | 7,2 | 5,3 | 0,2 | 4,55 | 0,36 | -1,03 |
| 24 | 7 | 6,8 | 2,8 | 7,35 | 0,03 | -3,53 |
| 26 | 11,1 | 7 | 0,3 | 7,65 | 0,59 | -0,53 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 45 | 9 | 5,2 | 0,487 | 8,137 | 0,73 | -0,31 |
| 46 | 7 | 6,999 | 7,5 | 15,637 | 0,00 | -8,85 |
| 47 | 8,7 | 7,2 | 0,9 | 16,537 | 0,21 | -1,57 |
| 48 | 7 | 6,999 | 0,54 | 17,077 | 0,00 | -8,85 |
| 49 | 8,7 | 8,699 | 0,6 | 17,677 | 0,00 | -9,07 |
| 50 | 8,7 | 6,8 | 0,51 | 18,187 | 0,28 | -1,28 |
| 51 | 7 | 5,1 | 0,53 | 18,717 | 0,37 | -0,99 |
| 52 | 6,8 | 5,3 | 0,5 | 19,217 | 0,28 | -1,26 |
| 53 | 5 | 4,999 | 6,482 | 25,699 | 0,00 | -8,52 |
| 70 | 12 | 12 | 1,389 | 27,088 | 0,00 | -9,39 |
| 73 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0,00 | -9,68 |

Tabel 4.76. Perhitungan Konstanta Kinetika pada Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben pada Kolom 10 cm

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 0 | 6,8 | 6,799 | 0 | 0 | 0,00 | -8,82 |
| 1 | 16,4 | 3,2 | 1 | 1 | 4,13 | 1,42 |
| 2 | 9 | 8,999 | 1,19 | 2,19 | 0,00 | -9,10 |
| 4 | 14 | 6,8 | 1,3 | 3,49 | 1,06 | 0,06 |
| 5 | 8,7 | 5 | 1,3 | 4,79 | 0,74 | -0,30 |
| 6 | 5,1 | 5,099 | 1,48 | 6,27 | 0,00 | -8,54 |
| 7 | 7 | 5,1 | 1,2 | 7,47 | 0,37 | -0,99 |
| 8 | 9 | 4,1 | 1,35 | 8,82 | 1,20 | 0,18 |
| 9 | 9 | 8,999 | 1,212 | 10,032 | 0,00 | -9,10 |
| 23 | 7,2 | 5,2 | 0,905 | 10,937 | 0,38 | -0,96 |
| 24 | 7 | 6,999 | 12,67 | 23,607 | 0,00 | -8,85 |
| 26 | 11,1 | 11,099 | 1,244 | 24,851 | 0,00 | -9,31 |
| 45 | 9 | 6,8 | 1,19 | 26,041 | 0,32 | -1,13 |
| 46 | 7 | 6,999 | 11,72 | 37,761 | 0,00 | -8,85 |
| 47 | 8,7 | 7 | 0,679 | 38,44 | 0,24 | -1,42 |
| 48 | 7 | 6,999 | 0,75 | 39,19 | 0,00 | -8,85 |
| 49 | 8,7 | 7 | 0,74 | 39,93 | 0,24 | -1,42 |
| 50 | 8,7 | 4,1 | 0,76 | 40,69 | 1,12 | 0,12 |
| 51 | 7 | 6,999 | 0,75 | 41,44 | 0,00 | -8,85 |
| 52 | 6,8 | 5,1 | 0,7 | 42,14 | 0,33 | -1,10 |

| Waktu (jam) | Co (mg/L) | Ce (mg/L) | V (L) | V Kumulatif (L) | (Co/Ce)-1 | ln (Co/Ce)-1 |
|-------------|-----------|-----------|-------|-----------------|-----------|--------------|
| 53 | 5 | 4,999 | 9,072 | 51,212 | 0,00 | -8,52 |
| 70 | 5,2 | 4 | 1,944 | 53,156 | 0,30 | -1,20 |
| 73 | 6,8 | 6,799 | 0 | 0 | 0,00 | -8,82 |

Contoh perhitungan:

Diketahui pada tinggi media 5 cm waktu jam ke 1

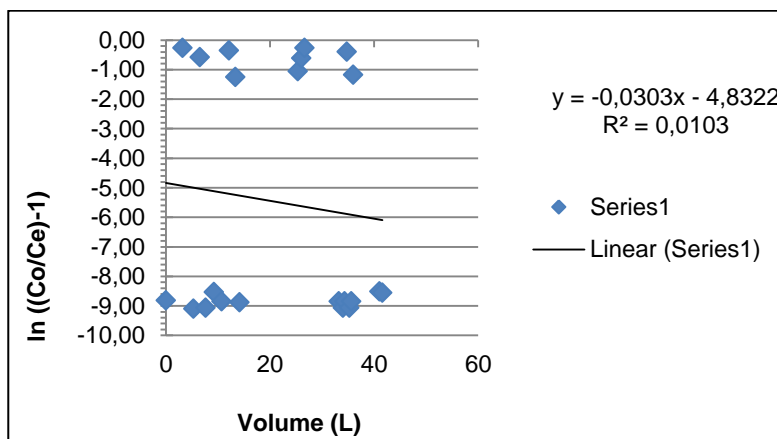
Co = 16,4 mg/L

Ce = 9,3 mg/L

Volume Terolah (V) = 3,2 L

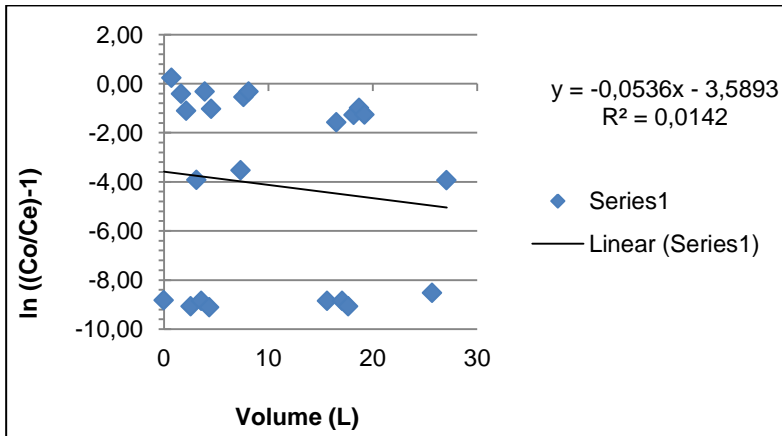
$\ln ((Co/Ce) - 1) = \ln ((16,4/9,3)-1) = \ln (0,76) = -0,27.$

Setelah itu, dilakukan pembuatan grafik dengan nilai axisnya yaitu Volume Terolah (V) dan nilai ordinatnya yaitu $\ln ((Co/Ce)-1)$. Grafik masing-masing tinggi media disajikan pada Gambar 4.64 hingga Gambar 4.66.

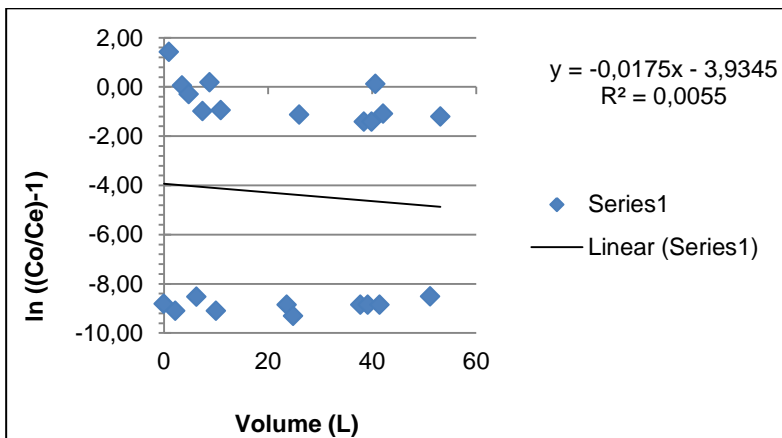


Gambar 4.67. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsoben 5 cm

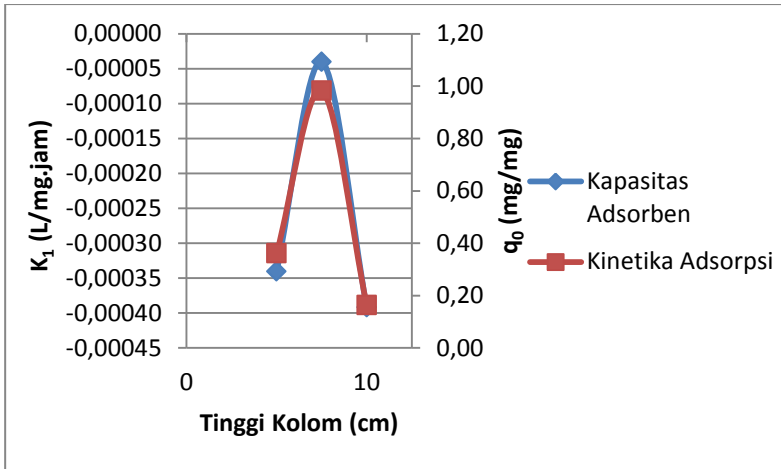
Berdasarkan Gambar 4.64 hingga Gambar 4.66, dapat dihitung kapasitas media pada setiap tinggi adsorben pada kolom adsorpsi. Contoh dan hasil perhitungan kapasitas media disajikan pada Tabel 4.77.



Gambar 4.68. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben 7,5 cm



Gambar 4.69. Grafik Pendekatan Kinetik Parameter BOD dengan Tinggi Adsorben 10 cm



Gambar 4.70. Grafik Perbandingan Nilai Konstanta Kinetika dengan Nilai Kapasitas Media pada Parameter BOD

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Nilai efisiensi *removal* adsorben arang batok kelapa untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium pada skala laboratorium secara *batch* yaitu:
 - a. Parameter warna sebesar antara 0 – 52 % dengan nilai x/m untuk diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 40×10^{-6} mg/mg, 43×10^{-6} mg/mg, dan 23×10^{-6} mg/mg
 - b. Parameter PV sebesar antara 1,30 – 27,69 % dengan nilai x/m untuk diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1×10^{-4} mg/mg, 4×10^{-4} mg/mg, dan 2×10^{-4} mg/mg
 - c. Parameter COD sebesar antara 28,13 – 53,13 % dengan nilai x/m untuk diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 1×10^{-4} mg/mg, 9×10^{-4} mg/mg, dan 3×10^{-4} mg/mg
 - d. Parameter BOD sebesar antara 7,41 – 35,19 % dengan nilai x/m untuk diameter mesh 8, 10, dan 12 masing-masing sebesar 75×10^{-6} mg/mg, 82×10^{-6} mg/mg, dan 83×10^{-6} mg/mg
2. Nilai kinetika adsorpsi dan kapasitas adsorben arang batok kelapa untuk mengurangi konsentrasi zat pencemar air limbah industri pertambangan iodium menggunakan *down flow fixed bed adsorption column reactor* pada skala laboratorium yaitu:
 - a. Nilai kinetika adsorpsi pada parameter warna dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar -0,016 L/mg.jam, -0,004 L/mg.jam, dan 0,005 L/mg.jam. Sedangkan, nilai kapasitasnya dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 0,005 mg warna / mg adsorben, 0,004 mg warna / mg adsorben, dan -0,003 mg warna / mg adsorben.

- b. Nilai kinetika adsorpsi pada parameter PV dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar -5,49 L/mg.jam, 9,41 L/mg.jam, dan 0,06 L/mg.jam. Sedangkan, nilai kapasitasnya dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 0,000031 mg PV / mg adsorben, -4×10^{-6} mg PV / mg adsorben, dan -0,000953 mg PV / mg adsorben.
- c. Nilai kinetika adsorpsi pada parameter COD dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 0,95 L/mg.jam, 3,35 L/mg.jam, dan 0,31 L/mg.jam. Sedangkan, nilai kapasitasnya dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar -0,00014 mg COD / mg adsorben, -1×10^{-5} mg COD / mg adsorben, dan -0,00023 mg COD/ mg adsorben.
- d. Nilai kinetika adsorpsi pada parameter BOD dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar 0,36 L/mg.jam, 0,98 L/mg.jam, dan 0,16 L/mg.jam. Sedangkan, nilai kapasitasnya dengan ketinggian adsorben 5 cm, 7,5 cm, dan 10 cm masing-masing sebesar -0,00034 mg BOD / mg adsorben, -4×10^{-5} mg BOD / mg adsorben, dan -0,00039 mg BOD / mg adsorben.

5.2. Saran

Saran dari penelitian ini yaitu:

1. Diperlukan perlakuan arang batok kelapa tanpa aktivasi menggunakan HCl 20 % sehingga dapat dibandingkan nilai daya adsorpsi pada arang batok kelapa sebelum dan setelah diaktivasi
2. Diperlukan perencanaan unit kolom adsorpsi pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Industri Pertambangan Iodium.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kombinasi unit kolom adsorpsi dengan unit pengolahan air limbah lainnya sehingga hasil air *effluent* IPAL lebih berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M.A., 2009. "Colour Reduction From Water Sample Using Adsorption Process by Agro-Waste By-Product". **Doctoral dissertation**. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia
- Alberty, R. A., and Silbey, R. J. 1997. **Physical Chemistry**, Second Edition, Wiley, New York
- Amuda, O. S., Giwa, A., and Bello, I. A. 2007. "Removal Of Heavy Metal From Industrial Wastewater Using Modified Activated Coconut Shell Carbon". **Biochemical Engineering Journal**, 36(2), 174-181
- Asri, R.Y., 1995. "Kemampuan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Kayu sebagai Media Saring dalam Penurunan Kadar Warna Limbah Cair Industri Tekstil PR. Sandratek di Kotamadia Semarang". **Thesis**. Diponegoro University, Semarang, Indonesia
- Atkins, P. W. 1999. **Kimia Fisika**. Edisi keempat. Jilid, 1
- Azhari, M. F. A. 2010. "The effectiveness of activated carbon from coconut shell as wastewater pollutant removal". **Doctoral dissertation**. Universiti Malaysia Pahang
- Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M. and Montiel, A., 2009. "Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions". **Journal of Hazardous Materials**, 162(2), pp.1522-1529
- Basuki, K.T., 2007. "Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂". **JFN** 1, 1:45-64

- Benfield, L.D., Judkins, J.F. and Weand, B.L., 1982. **Process chemistry for water and wastewater treatment**. Prentice Hall Inc
- Cleceri, L.S., Greenberg, A.E. and Eaton, A.D., 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Association, Washington, DC, USA.
- Cooney, D. O. 1998. **Adsorption design for wastewater treatment**. CRC Press
- Degremont. 1991. **Water Treatment Handbook**, 6th edition. Lavoisier, Paris. 382-383
- Droste, R.L., 1997. **Theory And Practice Of Water**.
- George, T., Franklin, L. B., & Stensel, H. D. 2003. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc., New York
- Gratiso, M.K.B., Panyathanmaporn, T., Chumnanklang, R.A., Sirinuntawittaya, N.B. and Dutta, A., 2008. "Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology". **Bioresource Technology**, 99 (11), pp.4887-4895.
- Hermana, J., Tangahu, B. V., Samodra, M. A. 2006. **Penuntun Praktikum Teknik Analisis Pencemar Lingkungan**. Laboratorium Teknologi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya
- Jannatin, R. D. 2011. "Uji Kemampuan Adsorpsi Arang Batok Kelapa Untuk Mereduksi Warna dan Permanganat Value Dari Limbah Cair Industri Batik". **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

- Juliandini, F. dan Trihadiningrum, Y., 2008. "Uji Kemampuan Karbon Aktif dari Limbah Kayu dalam Sampah Kota untuk Penyisihan Fenol". **Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VII. Program Studi MMT-ITS Surabaya**, 2 Februari.
- Kusumo, A. H. 2011. "Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dalam Limbah Cair *Laundry* Dengan Adsorpsi Menggunakan Arang Batok Kelapa (Coconut Shells) Komersil". **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Masduqi, A., dan Assomadi, A. F. 2012. **Operasi dan Proses Pengolahan Air**. ITS Press, Surabaya
- Paul A. J., Dhas, L.A. 2008. "Removal of COD and Colour from Textile Wastewater Using Limestone and Activated Carbon". **Thesis**. Universiti Sains Malaysia
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 tentang Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya
- Reynolds, T. D., and Richards, P. A. 1996. **Unit Operations And Processes In Environmental Engineering**. PWS series in engineering
- Setyaningsih, H., 1995. "Pengolahan Limbah Batik dengan Proses Kimia dan Adsorpsi Karbon Aktif". **Thesis**. Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
- Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S., Tondon, G.S. and Gosh, D., 2003. "Color removal from wastewater using low-cost activated carbon derived from agricultural waste

material". **Industrial & engineering chemistry research**, 42(9), pp.1965-1976

Sundstrom, D. W., & Klei, H. E. 1979. **Wastewater Treatment**. Prentice Hall

Yuniarto, A. 1999. "Studi Kemampuan Batu Bara Untuk Menurunkan Konsentrasi Surfaktan Dalam Larutan Deterjen Dengan Proses Adsorpsi". **Tugas Akhir**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

LAMPIRAN 1
HASIL ANALISIS ADSORPSI DENGAN SISTEM
CONTINUE

Tabel L.1. Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 5 cm

| Waktu ke | Kontrol | | A | | 5 cm | |
|----------|---------|------|-------|------|----------------|------------|
| | A | mg/L | A | mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
| 0 | 0,009 | 0,28 | | | 0,00 | 0,000 |
| 1 | 0,005 | 0,20 | 0,008 | 0,26 | -60,00 | 3,200 |
| 2 | 0,009 | 0,28 | 0,011 | 0,33 | -22,22 | 2,120 |
| 4 | 0,008 | 0,26 | 0,001 | 0,11 | 87,50 | 1,130 |
| 5 | 0,016 | 0,43 | 0,014 | 0,39 | 12,50 | 1,560 |
| 6 | 0,021 | 0,54 | 0,012 | 0,35 | 42,86 | 1,480 |
| 7 | 0,015 | 0,41 | 0,017 | 0,45 | -13,33 | 1,400 |
| 8 | 0,016 | 0,43 | 0,011 | 0,33 | 31,25 | 1,248 |
| 9 | 0,013 | 0,37 | 0,014 | 0,39 | -7,69 | 0,800 |
| 23 | 0,014 | 0,39 | 0,013 | 0,37 | 7,14 | 11,200 |
| 24 | 0,003 | 0,16 | 0,000 | 0,09 | 100,00 | 0,700 |
| 26 | 0,008 | 0,26 | 0,002 | 0,13 | 75,00 | 0,580 |
| 45 | 0,013 | 0,37 | 0,010 | 0,30 | 23,08 | 6,600 |
| 46 | 0,015 | 0,41 | 0,012 | 0,35 | 20,00 | 0,780 |
| 47 | 0,024 | 0,60 | 0,018 | 0,48 | 25,00 | 0,360 |
| 48 | 0,013 | 0,37 | 0,011 | 0,33 | 15,38 | 0,430 |
| 49 | 0,014 | 0,39 | 0,011 | 0,33 | 21,43 | 0,440 |
| 50 | 0,017 | 0,45 | 0,012 | 0,35 | 29,41 | 0,370 |
| 51 | 0,019 | 0,50 | 0,012 | 0,35 | 36,84 | 0,365 |
| 52 | 0,013 | 0,37 | 0,013 | 0,37 | 0,00 | 0,416 |
| 53 | 0,015 | 0,41 | 0,011 | 0,33 | 26,67 | 0,361 |
| 70 | 0,005 | 0,20 | 0,003 | 0,16 | 40,00 | 5,054 |
| 73 | 0,009 | 0,28 | 0,006 | 0,22 | 33,33 | 0,577 |

Tabel L.2. Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm

| Waktu ke | Kontrol | | A | | 7,5 cm | |
|----------|---------|------|-------|------|----------------|------------|
| | A | mg/L | A | mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
| 0 | 0,009 | 0,28 | | | 0 | 0 |
| 1 | 0,005 | 0,20 | 0,004 | 0,18 | 20,00 | 0,75 |
| 2 | 0,009 | 0,28 | 0,007 | 0,24 | 22,22 | 0,9 |
| 4 | 0,008 | 0,26 | 0,000 | 0,09 | 100,00 | 0,45 |
| 5 | 0,016 | 0,43 | 0,007 | 0,24 | 56,25 | 0,54 |
| 6 | 0,021 | 0,54 | 0,011 | 0,33 | 47,62 | 0,46 |
| 7 | 0,015 | 0,41 | 0,012 | 0,35 | 20,00 | 0,35 |

| Waktu ke | Kontrol | | | | 7,5 cm | |
|----------|---------|------|-------|------|----------------|------------|
| | A | mg/L | A | mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
| 8 | 0,016 | 0,43 | 0,014 | 0,39 | 12,50 | 0,41 |
| 9 | 0,013 | 0,37 | 0,011 | 0,33 | 15,38 | 0,2 |
| 23 | 0,014 | 0,39 | 0,015 | 0,41 | -7,14 | 2,8 |
| 24 | 0,003 | 0,16 | 0 | 0,09 | 100,00 | 0,3 |
| 26 | 0,008 | 0,26 | 0,002 | 0,13 | 75,00 | 0,487 |
| 45 | 0,013 | 0,37 | 0,012 | 0,35 | 7,69 | 7,5 |
| 46 | 0,015 | 0,41 | 0,014 | 0,39 | 6,67 | 0,9 |
| 47 | 0,024 | 0,60 | 0,014 | 0,39 | 41,67 | 0,54 |
| 48 | 0,013 | 0,37 | 0,011 | 0,33 | 15,38 | 0,6 |
| 49 | 0,014 | 0,39 | 0,01 | 0,30 | 28,57 | 0,51 |
| 50 | 0,017 | 0,45 | 0,014 | 0,39 | 17,65 | 0,53 |
| 51 | 0,019 | 0,50 | 0,012 | 0,35 | 36,84 | 0,5 |
| 52 | 0,013 | 0,37 | 0,01 | 0,30 | 23,08 | 0,447 |
| 53 | 0,015 | 0,41 | 0,011 | 0,33 | 26,67 | 0,463 |
| 70 | 0,005 | 0,20 | 0,001 | 0,11 | 80,00 | 6,482 |
| 73 | 0,009 | 0,28 | 0,001 | 0,11 | 88,89 | 1,389 |

Tabel L.3. Hasil Parameter Warna pada kolom adsorben setinggi 10 cm

| Waktu ke | Kontrol | | | | 10 cm | |
|----------|---------|------|-------|------|----------------|------------|
| | A | mg/L | A | mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
| 0 | 0,009 | 0,28 | | | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 0,005 | 0,20 | 0,001 | 0,11 | 80,00 | 1,00 |
| 2 | 0,009 | 0,28 | 0,002 | 0,13 | 77,78 | 1,19 |
| 4 | 0,008 | 0,26 | 0,000 | 0,09 | 100,00 | 1,30 |
| 5 | 0,016 | 0,43 | 0,012 | 0,35 | 25,00 | 1,48 |
| 6 | 0,021 | 0,54 | 0,012 | 0,35 | 42,86 | 1,20 |
| 7 | 0,015 | 0,41 | 0,013 | 0,37 | 13,33 | 1,35 |
| 8 | 0,016 | 0,43 | 0,014 | 0,39 | 12,50 | 1,21 |
| 9 | 0,013 | 0,37 | 0,012 | 0,35 | 7,69 | 0,91 |
| 23 | 0,014 | 0,39 | 0,016 | 0,43 | -14,29 | 12,67 |
| 24 | 0,003 | 0,16 | 0,000 | 0,09 | 100,00 | 1,24 |
| 26 | 0,008 | 0,26 | 0,001 | 0,11 | 87,50 | 1,19 |
| 45 | 0,013 | 0,37 | 0,011 | 0,33 | 15,38 | 11,72 |
| 46 | 0,015 | 0,41 | 0,013 | 0,37 | 13,33 | 0,68 |
| 47 | 0,024 | 0,60 | 0,011 | 0,33 | 54,17 | 0,75 |
| 48 | 0,013 | 0,37 | 0,010 | 0,30 | 23,08 | 0,74 |
| 49 | 0,014 | 0,39 | 0,012 | 0,35 | 14,29 | 0,76 |
| 50 | 0,017 | 0,45 | 0,015 | 0,41 | 11,76 | 0,75 |
| 51 | 0,019 | 0,50 | 0,011 | 0,33 | 42,11 | 0,70 |

| Waktu ke | Kontrol | | 10 cm | | Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|---------|------|-------|------|----------------|------------|
| | A | mg/L | A | mg/L | | |
| 52 | 0,013 | 0,37 | 0,007 | 0,24 | 46,15 | 0,62 |
| 53 | 0,015 | 0,41 | 0,012 | 0,35 | 20,00 | 0,65 |
| 70 | 0,005 | 0,20 | 0,004 | 0,18 | 20,00 | 9,07 |
| 73 | 0,009 | 0,28 | 0,002 | 0,13 | 77,78 | 1,94 |

Tabel L.4. Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 5 cm

| Waktu ke | Kontrol | | 5 cm | | Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|---------|-------|------|------|----------------|------------|
| | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | | |
| 0 | 36,66 | | | | 0,00 | 0,000 |
| 1 | 79,63 | 40,77 | | | 48,80 | 3,200 |
| 2 | 45,50 | 65,73 | | | -44,46 | 2,120 |
| 3 | 74,57 | 48,03 | | | 35,59 | 1,200 |
| 4 | 44,24 | 54,35 | | | -22,85 | 1,130 |
| 5 | 21,49 | 27,81 | | | -29,41 | 1,560 |
| 6 | 29,07 | 44,24 | | | -52,18 | 1,480 |
| 7 | 48,03 | 26,54 | | | 44,74 | 1,400 |
| 8 | 46,77 | 37,92 | | | 18,92 | 1,248 |
| 9 | 36,66 | 37,92 | | | -3,44 | 0,800 |
| 23 | 37,92 | 29,07 | | | 23,34 | 11,200 |
| 24 | 56,88 | 26,54 | | | 53,34 | 0,700 |
| 26 | 45,50 | 27,81 | | | 38,88 | 0,580 |
| 45 | 26,54 | 48,03 | | | -80,97 | 6,600 |
| 46 | 48,03 | 49,3 | | | -2,64 | 0,780 |
| 47 | 29,07 | 26,54 | | | 8,70 | 0,360 |
| 48 | 48,03 | 20,22 | | | 57,90 | 0,430 |
| 49 | 48,03 | 45,5 | | | 5,27 | 0,440 |
| 50 | 29,07 | 26,54 | | | 8,70 | 0,370 |
| 51 | 27,81 | 20,22 | | | 27,29 | 0,365 |
| 70 | 17,70 | 36,66 | | | -107,12 | 5,054 |
| 73 | 18,92 | 16,43 | | | 13,16 | 0,577 |

Tabel L.5. Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm

| Waktu ke | Kontrol | | 7,5 cm | | Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|---------|-------|--------|------|----------------|------------|
| | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | | |
| 0 | 36,66 | | | | 0,00 | 0,000 |
| 1 | 79,63 | 37,92 | | | 52,38 | 0,750 |
| 2 | 45,50 | 24,07 | | | 47,10 | 0,900 |
| 3 | 74,57 | 54,35 | | | 27,12 | 0,490 |
| 4 | 44,24 | 45,50 | | | -2,85 | 0,450 |

| | | | | |
|----|-------|-------|--------|-------|
| 5 | 21,49 | 20,22 | 5,91 | 0,540 |
| 6 | 29,07 | 46,77 | -60,89 | 0,460 |
| 7 | 48,03 | 29,07 | 39,48 | 0,350 |
| 8 | 46,77 | 45,50 | 2,72 | 0,410 |
| 9 | 36,66 | 27,81 | 24,14 | 0,200 |
| 23 | 37,92 | 39,18 | -3,32 | 2,800 |
| 24 | 56,88 | 27,81 | 51,11 | 0,300 |
| 26 | 45,50 | 26,54 | 41,67 | 0,487 |
| 45 | 26,54 | 49,03 | -84,74 | 7,500 |
| 46 | 48,03 | 27,84 | 42,04 | 0,900 |
| 47 | 29,07 | 46,77 | -60,89 | 0,540 |
| 48 | 48,03 | 46,77 | 2,62 | 0,600 |
| 49 | 48,03 | 27,81 | 42,10 | 0,510 |
| 50 | 29,07 | 21,49 | 26,07 | 0,530 |
| 51 | 27,81 | 21,49 | 22,73 | 0,500 |
| 70 | 17,70 | 26,54 | -49,94 | 6,482 |
| 73 | 18,92 | 18,92 | 0,00 | 1,389 |

Tabel L.6. Hasil Parameter PV pada kolom adsorben setinggi 10 cm

| Waktu ke | Kontrol | | 10 cm | |
|----------|---------|-------|----------------|------------|
| | mg/L | mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
| 0 | 36,66 | | 0,00 | 0,000 |
| 1 | 79,63 | 18,96 | 76,19 | 1,000 |
| 2 | 45,50 | 46,77 | -2,79 | 1,190 |
| 3 | 74,57 | 35,39 | 52,54 | 1,300 |
| 4 | 44,24 | 20,22 | 54,29 | 1,300 |
| 5 | 21,49 | 18,96 | 11,77 | 1,480 |
| 6 | 29,07 | 26,54 | 8,70 | 1,200 |
| 7 | 48,03 | 20,22 | 57,90 | 1,350 |
| 8 | 46,77 | 45,50 | 2,72 | 1,212 |
| 9 | 36,66 | 26,54 | 27,61 | 0,905 |
| 23 | 37,92 | 54,35 | -43,33 | 12,670 |
| 24 | 56,88 | 63,20 | -11,11 | 1,244 |
| 26 | 45,50 | 37,92 | 16,66 | 1,190 |
| 45 | 26,54 | 26,54 | 0,00 | 11,720 |
| 46 | 48,03 | 27,81 | 42,10 | 0,679 |
| 47 | 29,07 | 26,54 | 8,70 | 0,750 |
| 48 | 48,03 | 26,54 | 44,74 | 0,740 |
| 49 | 48,03 | 15,17 | 68,42 | 0,760 |
| 50 | 29,07 | 27,81 | 4,33 | 0,750 |
| 51 | 27,81 | 18,92 | 31,97 | 0,700 |
| 70 | 17,70 | 35,39 | -99,94 | 9,072 |

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 10 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|-------|----------------------|------------|
| 73 | 18,92 | 13,90 | 26,53 | 1,944 |

Tabel L.7. Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 5 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|---------------------|------------|
| 0 | 16 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 36 | 20 | 44,44 | 3,200 |
| 2 | 20 | 28 | -40,00 | 2,120 |
| 3 | 32 | 20 | 37,50 | 1,200 |
| 4 | 20 | 24 | -20,00 | 1,130 |
| 5 | 12 | 16 | -33,33 | 1,560 |
| 6 | 16 | 20 | -25,00 | 1,480 |
| 7 | 20 | 12 | 40,00 | 1,400 |
| 8 | 20 | 16 | 20,00 | 1,248 |
| 9 | 16 | 16 | 0,00 | 0,800 |
| 23 | 16 | 12 | 25,00 | 11,200 |
| 24 | 24 | 16 | 33,33 | 0,700 |
| 26 | 20 | 12 | 40,00 | 0,580 |
| 45 | 16 | 32 | -100,00 | 6,600 |
| 46 | 20 | 20 | 0,00 | 0,780 |
| 47 | 16 | 16 | 0,00 | 0,360 |
| 48 | 20 | 12 | 40,00 | 0,430 |
| 49 | 20 | 20 | 0,00 | 0,440 |
| 50 | 16 | 16 | 0,00 | 0,370 |
| 51 | 16 | 12 | 25,00 | 0,365 |
| 70 | 12 | 20 | -66,67 | 5,054 |
| 73 | 12 | 12 | 0,00 | 0,577 |

Tabel L.8. Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 7,5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|-----------------------|------------|
| 0 | 16 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 36 | 16 | 55,56 | 0,750 |
| 2 | 20 | 12 | 40,00 | 0,900 |
| 3 | 32 | 24 | 25,00 | 0,490 |
| 4 | 20 | 20 | 0,00 | 0,450 |
| 5 | 12 | 12 | 0,00 | 0,540 |
| 6 | 16 | 20 | -25,00 | 0,460 |
| 7 | 20 | 12 | 40,00 | 0,350 |

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 7,5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|-----------------------|------------|
| 8 | 20 | 20 | 0,00 | 0,410 |
| 9 | 16 | 12 | 25,00 | 0,200 |
| 23 | 16 | 16 | 0,00 | 2,800 |
| 24 | 24 | 16 | 33,33 | 0,300 |
| 26 | 20 | 12 | 40,00 | 0,487 |
| 45 | 16 | 20 | -25,00 | 7,500 |
| 46 | 20 | 16 | 20,00 | 0,900 |
| 47 | 16 | 20 | -25,00 | 0,540 |
| 48 | 20 | 20 | 0,00 | 0,600 |
| 49 | 20 | 16 | 20,00 | 0,510 |
| 50 | 16 | 12 | 25,00 | 0,530 |
| 51 | 16 | 12 | 25,00 | 0,500 |
| 70 | 12 | 16 | -33,33 | 6,482 |
| 73 | 12 | 12 | 0,00 | 1,389 |

Tabel L.9. Hasil Parameter COD pada kolom adsorben setinggi 10 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 10 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|----------------------|------------|
| 0 | 16 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 36 | 8 | 77,78 | 1,000 |
| 2 | 20 | 20 | 0,00 | 1,190 |
| 3 | 32 | 16 | 50,00 | 1,300 |
| 4 | 20 | 12 | 40,00 | 1,300 |
| 5 | 12 | 12 | 0,00 | 1,480 |
| 6 | 16 | 12 | 25,00 | 1,200 |
| 7 | 20 | 8 | 60,00 | 1,350 |
| 8 | 20 | 20 | 0,00 | 1,212 |
| 9 | 16 | 12 | 25,00 | 0,905 |
| 23 | 16 | 24 | -50,00 | 12,670 |
| 24 | 24 | 28 | -16,67 | 1,244 |
| 26 | 20 | 16 | 20,00 | 1,190 |
| 45 | 16 | 16 | 0,00 | 11,720 |
| 46 | 20 | 16 | 20,00 | 0,679 |
| 47 | 16 | 16 | 0,00 | 0,750 |
| 48 | 20 | 16 | 20,00 | 0,740 |
| 49 | 20 | 8 | 60,00 | 0,760 |
| 50 | 16 | 16 | 0,00 | 0,750 |
| 51 | 16 | 12 | 25,00 | 0,700 |
| 70 | 12 | 20 | -66,67 | 9,072 |

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 10 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|----------------------|------------|
| 73 | 12 | 8 | 33,33 | 1,944 |

Tabel L.10. Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 5 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|---------------------|------------|
| 0 | 6,8 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 16,4 | 9,3 | 43,29 | 3,200 |
| 2 | 9 | 12,4 | -37,78 | 2,120 |
| 3 | 14 | 9 | 35,71 | 1,200 |
| 4 | 8,7 | 10,8 | -24,14 | 1,130 |
| 5 | 5,1 | 7 | -37,25 | 1,560 |
| 6 | 7 | 9 | -28,57 | 1,480 |
| 7 | 9 | 5,3 | 41,11 | 1,400 |
| 8 | 9 | 7 | 22,22 | 1,248 |
| 9 | 7,2 | 7,2 | 0,00 | 0,800 |
| 23 | 7 | 5,2 | 25,71 | 11,200 |
| 24 | 11,1 | 7,2 | 35,14 | 0,700 |
| 26 | 9 | 5,1 | 43,33 | 0,580 |
| 45 | 7 | 14,4 | -105,71 | 6,600 |
| 46 | 8,7 | 9 | -3,45 | 0,780 |
| 47 | 7 | 7,2 | -2,86 | 0,360 |
| 48 | 8,7 | 5,2 | 40,23 | 0,430 |
| 49 | 8,7 | 9,3 | -6,90 | 0,440 |
| 50 | 7 | 7 | 0,00 | 0,370 |
| 51 | 6,8 | 5,2 | 23,53 | 0,365 |
| 70 | 5 | 9 | -80,00 | 5,054 |
| 73 | 5,2 | 5,3 | -1,92 | 0,577 |

Tabel L.11. Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 7,5 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 7,5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|-----------------------|------------|
| 0 | 6,8 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 16,4 | 7,2 | 56,10 | 0,750 |
| 2 | 9 | 5,4 | 40,00 | 0,900 |
| 3 | 14 | 10,5 | 25,00 | 0,490 |
| 4 | 8,7 | 9 | -3,45 | 0,450 |
| 5 | 5,1 | 5 | 1,96 | 0,540 |
| 6 | 7 | 9 | -28,57 | 0,460 |
| 7 | 9 | 5,2 | 42,22 | 0,350 |

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 7,5 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|-----------------------|------------|
| 8 | 9 | 9 | 0,00 | 0,410 |
| 9 | 7,2 | 5,3 | 26,39 | 0,200 |
| 23 | 7 | 6,8 | 2,86 | 2,800 |
| 24 | 11,1 | 7 | 36,94 | 0,300 |
| 26 | 9 | 5,2 | 42,22 | 0,487 |
| 45 | 7 | 9 | -28,57 | 7,500 |
| 46 | 8,7 | 7,2 | 17,24 | 0,900 |
| 47 | 7 | 9,3 | -32,86 | 0,540 |
| 48 | 8,7 | 9 | -3,45 | 0,600 |
| 49 | 8,7 | 6,8 | 21,84 | 0,510 |
| 50 | 7 | 5,1 | 27,14 | 0,530 |
| 51 | 6,8 | 5,3 | 22,06 | 0,500 |
| 70 | 5 | 6,8 | -36,00 | 6,482 |
| 73 | 5,2 | 5,1 | 1,92 | 1,389 |

Tabel L.12. Hasil Parameter BOD pada kolom adsorben setinggi 10 cm

| Waktu ke | Kontrol mg/L | mg/L | 10 cm Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------|----------------------|------------|
| 0 | 6,8 | | 0 | 0,000 |
| 1 | 16,4 | 3,2 | 80,49 | 1,000 |
| 2 | 9 | 9 | 0,00 | 1,190 |
| 3 | 14 | 6,8 | 51,43 | 1,300 |
| 4 | 8,7 | 5 | 42,53 | 1,300 |
| 5 | 5,1 | 5,2 | -1,96 | 1,480 |
| 6 | 7 | 5,1 | 27,14 | 1,200 |
| 7 | 9 | 4,1 | 54,44 | 1,350 |
| 8 | 9 | 9 | 0,00 | 1,212 |
| 9 | 7,2 | 5,2 | 27,78 | 0,905 |
| 23 | 7 | 10,8 | -54,29 | 12,670 |
| 24 | 11,1 | 12,9 | -16,22 | 1,244 |
| 26 | 9 | 6,8 | 24,44 | 1,190 |
| 45 | 7 | 7 | 0,00 | 11,720 |
| 46 | 8,7 | 7 | 19,54 | 0,679 |
| 47 | 7 | 7 | 0,00 | 0,750 |
| 48 | 8,7 | 7 | 19,54 | 0,740 |
| 49 | 8,7 | 4,1 | 52,87 | 0,760 |
| 50 | 7 | 7 | 0,00 | 0,750 |
| 51 | 6,8 | 5,1 | 25,00 | 0,700 |
| 70 | 5 | 8,7 | -74,00 | 9,072 |

| Waktu ke | Kontrol mg/L | 10 cm mg/L | Efficiency (%) | Volume (L) |
|----------|--------------|------------|----------------|------------|
| 73 | 5,2 | 4 | 23,08 | 1,944 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

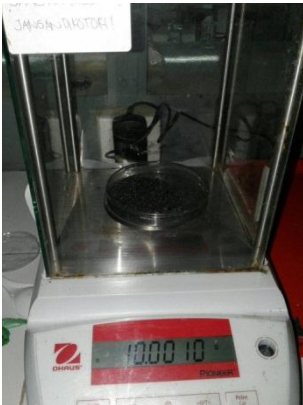
LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar L1.1. Arang Batok Kelapa Sebelum Ditumbuk dan Diayak



Gambar L1.2. Arang Batok Kelapa Setelah Ditumbuk dan Diayak



Gambar L1.3. Penimbangan Berat Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa



Gambar L1.4. Penambahan Larutan HCl 20% dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa



Gambar L1.5. Perendaman Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa



Gambar L1.6. Pengovenan Arang Batok Kelapa dalam Pengujian Ketahanan Fisik Arang Batok Kelapa



Gambar L1.7. Pengujian Densitas Arang Batok Kelapa Menggunakan Metode *True Bulk Density*



Gambar L1.8. Arang Batok Kelapa Setelah Diaktivasi Menggunakan Larutan HCl 20% dan dicuci menggunakan Larutan Aquades Serta Ditiriskan



Gambar L1.9. Pengeringan Arang Batok Kelapa Menggunakan Oven Setelah Diaktivasi dan Dicuci Serta Ditiriskan



Gambar L1.10. Penyimpanan Arang Batok Kelapa Setelah Pengeringan Menggunakan Oven



Gambar L1.11. Kondisi Eksisting Air Limbah di IPAL Industri Pertambangan Iodium



Gambar L1.12. Pengambilan Sampel Air *Effluent* pada IPAL Industri Pertambangan Iodium



Gambar L1.13. Penimbangan Adsorben 25 gram untuk Analisis Adsorpsi Sistem *Batch* Menggunakan *Jartest*



Gambar L1.14. Penimbangan Adsorben 50 gram untuk Analisis Adsorpsi Sistem *Batch* Menggunakan *Jartest*



Gambar L1.15. Analisis Adsorpsi Sistem *Batch* Menggunakan *Jartest*



Gambar L1.16. Analisis *Permanganat Value* pada Sampel Air Limbah



Gambar L1.17. Fixed Bed Adsorption Column Reactor

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putra Kota Mojokerto yang lahir 22 tahun yang lalu. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2000-2006 di SDN Gedongan III Kota Mojokerto. Kemudian, dilanjutkan di SMPN 1 Kota Mojokerto pada tahun 2006-2009. Sedangkan, pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 2 Kota Mojokerto pada tahun 2009-2012. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Lingkungan (JTL), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, Indonesia dan terdaftar dengan NRP 3312100021.

Selama perkuliahan selama 5 tahun, penulis aktif berorganisasi, baik di dalam kampus ITS maupun di luar kampus ITS. Prestasi yang pernah diraih adalah Juara 2 Lomba Fotografi tingkat Mahasiswa se-Jawa Timur pada acara "World Water Day 2013" yang diselenggarakan oleh KPPL HMTL FTSP ITS Surabaya, Provinsi Jawa Timur, Indonesia, Peserta Finalis Program Kreativitas Mahasiswa bidang Penelitian Eksakta (PKM-PE) pada acara Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) XXVIII tahun 2015 di Universitas Halu Oleo (UHO), Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia, dan Peserta Finalis Paper Competition pada acara The First Indonesia Youth Conference on Sustainable Development (IYCSD) 2015 di Universitas Gadjah Mada (UGM), Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Indonesia. Berbagai pelatihan, seminar, dan konferensi, tingkat kampus, regional, dan nasional di beberapa bidang telah diikuti dalam rangka untuk pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi melalui email faizal.shah.alam12@mhs.enviro.its.ac.id.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BERITA ACARA
SEMINAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR
Semester Gasal 2016/2017

Pada

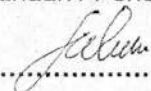
Hari, tanggal : Senin, 21 November 2016
Jam : 15.00 - 16.30
Tempat : R. Sidang S2

telah dilaksanakan Seminar Kemajuan Tugas Akhir :

Judul Tugas Akhir : Uji Kemampuan Adsorpsi pada Air Limbah Industri Pertambangan Iodium menggunakan Arang Batok Kelapa

Nama Mahasiswa : FAIZAL SHAH ALAM
NRP. : 3312100021
Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
Bidang Tugas Akhir : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka *

TOEFL = 483

Tanda Tangan : 

Berdasarkan hasil evaluasi pengujian, dinyatakan bahwa proposal tersebut :

- ① dapat mengikuti ujian Tugas Akhir
2. tidak dapat mengikuti ujian Tugas Akhir

Saran-saran perbaikan :

15/12/16 } 0 Periksa kadar P dan I
0 Perstim bangkan budidaya alga daripada mem-
runkan alga

14/12/16 } 0 lihat & buku

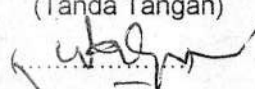
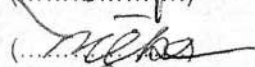
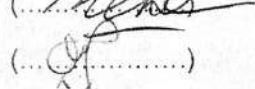
- 19/12/16 } 1. Bandingkan hasil running batch dengan hasil penlikan sebelumnya
2. Running batch w/ warna
3. Kita butuh lagi ds laporan progress yg lengkap

Pembimbing,



Dr. Ir. Mohammad Razif, MM


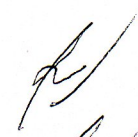
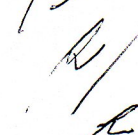


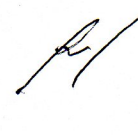
Tim Penguji :

- | | Nama | (Tanda Tangan) |
|----|--------------------|---|
| 1. | Prof. Wahyuno Hadi |  |
| 2. | Prof. Nick K |  |
| 3. | Dr. Arie Pipareza |  |

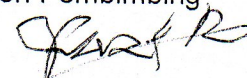
* : Coret yang tidak perlu

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : FAIZAL SHAH ALAM
 NRP : 3312100021
 Judul Tugas Akhir : Uji KEMAMPUAN ADSORPSI PADA AIR LIMBAH INDUSTRI PERTAMBANGAN IODIUM MENGGUNAKAN ARANG DATUM KELAPA

| No | Tanggal | Keterangan Kegiatan / Pembahasan | Paraf |
|----|------------|---|---|
| 1. | 6-1-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Tujuan, diganti - Pengulangan laboratorum berhasil - Anova variabel → ukuran, mesh, ketinggian - RPM jantest. - Massa bubuk ← - Bobot dan perbesar lagi. |  |
| 2. | 4-3-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Konsultasi TA - ACC Permohonan Izin Loh dan Survey |  |
| 3. | 15-3-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi Hasil Survey Lapangan |  |
| 4. | 30-8-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi Analisis Studi Terdahulu |  |
| 5. | 8-9-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi Uji Variasi Massa dan Analisis Adsorpsi Batch |  |
| 6. | 16-11-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi Konstanta Kinetika Adsorpsi Batch |  |
| 7. | 27-12-2016 | <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi Konstanta Kinetika Adsorpsi Continue | |

Surabaya, 27 Desember 2016
 Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Mohammad Rizki, M.M.

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : FAIZAL SHAH ALAM
 NRP : 3312100021
 Judul : Uji Kemampuan Adsorpsi Pada Air Limbah Industri
 Pertambangan Iodium Menggunakan Arang Batok Kelapa

| No | Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02) | Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman) |
|----|---|---|
| 1. | Periksa parameter Phosphorus dan Iodine | Tidak ada tanggapan. Ditanjutkan |
| 2. | Perbaiki halaman yang tidak tercetak dengan baik. | Periksa kembali sebelum diumpulkan |
| 3. | Bandingkan hasil running batch Aras dengan perelitan sebelumnya | Dilanjutkan. Periksa kembali setelah dilanjutkan cetakan laporan. |
| 4. | Perlu diulang kembali running batch pada parameter warna | Dua rencana IPAL-nya sedang maintenance cukup menggunakan data sebelumnya |

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa Ybs. 13 Desember 2016

Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

FAIZAL SHAH ALAM

FORM FTA-05

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : FAIZAL SHAH ALAM
 NRP : 3312100021
 Judul : Uji Kemampuan Adsorpsi Pada Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Pertambangan Iodium Menggunakan Arang Batok Kelapa

| No | Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02) | Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman) |
|-----|---|--|
| 1. | Saran penggunaan arang batok tanpa aktivasi | Telah ter tulis di halaman 132 |
| 2. | Perlu disebutkan dalam latar belakang tentang sifat air limbah | Telah disebutkan di halaman 1 |
| 3. | Ubah kecepatan pengaliran dari ml/menit menjadi ml/jam | Telah disebutkan di halaman 3 dan 96 |
| 4. | Efisiensi tertinggi pada warna, P_v , $C_{0.05}$, BOD digunakan untuk desain kolam adsorpsi | Telah tertulis pada halaman 104 |
| 5. | Gambar 2.5 dan seterusnya serta paragraf tersebut ditambahkan | Telah diperbaiki pada halaman 20-26 |
| 6. | Abstrak Dhs. Inggris | Telah dibuat pada halaman iii |
| 7. | Teori dan literatur tentang penggunaan batok arang batok kelapa setelah diaktivasi berkali-kali | Telah ditambahkan pada halaman 24-25 |
| 8. | Hasil penelitian yang kurang sesuai dengan teori disebutkan di pembahasan | Telah ditambahkan pada halaman 104 |
| 9. | Perbaikan daftar isi | Telah diperbaiki pada halaman vii |
| 10. | Penambahan ruang lingkup mengenai Iso term dan kinetika adsorpsi. | Telah ditambahkan pada halaman 3 |

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

Mahasiswa Ybs. 12 Januari 2017

FAIZAL SHAH ALAM



BORANG CEK FORMAT LAPORAN TA

| No | Kelengkapan TA | Cek Mahasiswa | Cek Pembimbing |
|----|--|---------------|----------------|
| 1 | Halaman judul | ✓ | ✓ |
| 2 | Abstrak dalam bahasa Indonesia | ✓ | ✓ |
| 3 | Abstrak dalam bahasa Inggris | ✓ | ✓ |
| 4 | Kata pengantar | ✓ | ✓ |
| | Format sesuai dengan pedoman penulisan TA 2016 | | ✓ |
| 5 | Daftar isi | ✓ | ✓ |
| 6 | Daftar gambar | ✓ | ✓ |
| 7 | Daftar tabel | ✓ | ✓ |
| 8 | Daftar lampiran | ✓ | ✓ |
| 9 | Bab I | ✓ | ✓ |
| 10 | Bab II | ✓ | ✓ |
| 11 | Bab III | ✓ | ✓ |
| 12 | Bab IV | ✓ | ✓ |
| 13 | Bab V | ✓ | ✓ |
| 14 | Daftar pustaka | ✓ | ✓ |
| 15 | Biodata | ✓ | ✓ |
| 16 | Lampiran (jika ada) | ✓ | ✓ |

Mahasiswa

FAIZAL SHAH ALAM

Menyetujui

Dr. Ir. Mohammad Razif, MM.

Mengetahui

Dr. Harmin Sulistiyaning Titah, ST, MT

FORM UTA-02

**BERITA ACARA
UJIAN/SIDANG TUGAS AKHIR/TESIS***

Pada

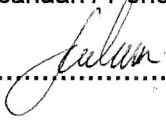
Hari, Tanggal : Rabu, 3 Januari 2017
Jam : 13.00-15.00
Tempat : TL 103

telah dilaksanakan Ujian Tugas Akhir :

Judul : Uji Kemampuan Adsorpsi pada Air Limbah Industri
Pertambangan Iodium menggunakan Arang Batok Kelapa

TOEFL = 483

Nama Mahasiswa : FAIZAL SHAH ALAM
Nrp. : 3312100021
Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan
Bidang Tugas Akhir : Perencanaan / Penelitian / Studi Pustaka *

Tanda Tangan : 

Berdasarkan hasil evaluasi penguji, mahasiswa tersebut dinyatakan:

LULUS / TIDAK LULUS

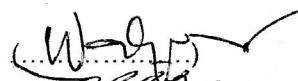
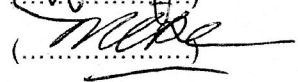
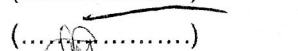
Saran-saran perbaikan:

- perlu saran menggunakan arang batok kelapa tanpa aktivasi
- perlu diselamatkan dan latar belakang tentang sifat air limbah yang beracun tdk bakteri (Cr and BOD-COD rendah)
- Rubah ke d. aliran ml/menit jadi m/jam
- Efisiensi tertinggi yg warna, COD, PV & paku yg design kolom


1. br 2.6 dst ditambahkan
 2. kontrol hrs insru
 3. Teori & literatur apakah H₂ walitu kapankah adsorben itu diganti ketika sdh aktivasi berulang kali
 4. kekurangan hasil pennebihan dicantumkan dng hasil Warna, BOD & COD hasil sesuai teori
- Lihat pd hipotesis buku

12/1/17
12/1/17
MK
12/01/17

Tim Penguji :

- | Nama | (Tanda Tangan) |
|-----------------------|---|
| 1. Prof. Wahyans Hadi |  |
| 2. Prof. Nieke |  |
| 3. Dr. Arie Dipareza |  |

Pembimbing,


Dr. Ir. Mohammad Razif, MM

