TESIS – SK185401

Adsorpsi NaCl Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) untuk Desalinasi Air Laut

Nur Izzati Machrita
01211750010005

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si

PROGRAM MAGISTER
KIMIA ANALITIK
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

THESIS – SK185201

NaCl Adsorption Using Activated Carbon from Nyamplung Seeds *(Calophyllum inophyllum)* for Seawater Desalination

Nur Izzati Machrita
01211750010005

SUPERVISOR
Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si

MAGISTER PROGRAM
ANALYTICAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCES AND ANALITYCAL DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan hidayah, inayah, dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah tesis yang berjudul **"Adsorpsi NaCl Menggunakan Karbon Aktif dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) untuk Desalinasi Air Laut"**.

Naskah tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si selaku Ketua Departemen Kimia sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian serta telah memberikan masukan dan meluangkan waktu untuk konsultasi selama penelitian berlangsung
2. Ibu Yatim Lailun Ni'mah, M.Si, Ph.D selaku dosen wali yang selalu memotivasi serta memberi masukan selama kegiatan belajar mengajar serta penelitian yang dilakukan
3. Ibu Dra. Ita Ulfin, M.Si selaku kepala laboratorium Instrumentasi Metode Analisis Kimia (IMAK) yang telah menyetujui dan memfasilitasi penggunaan laboratorium IMAK
4. Bapak Lukman Atmaja, Ph.D dan Meliana Wahyuningtyas yang senantiasa memotivasi selama proses penelitian
5. Para Bapak/Ibu Dosen yang mengajar di Departemen Kimia yang telah memberikan banyak ilmu dan membagi pengalaman selama Kegiatan Belajar Mengajar
6. Ibu Fataty, Bapak Erfan, Bapak Slamet, serta para staf laboratorium dan Tendik yang telah membantu selama penulis menyelesaikan studi S2
7. Sabeum Febrian, Sabeum Swandani, Sabeumnim Hidayat, Sabeumnim Bimbi, Sabeum Doni, Sabeum Fahmi, Sabeum Sarah, Sabeum Fizha, Sunbae Yenni, dan Sunbae Hayyu yang telah terus memotivasi dan mendukung penulis selama penelitian dan penyelesaian studi S2
8. Au, Ben, Cyntia, Olga, Nindya dan Tim Poomsae yang senantiasa mendukung serta mengiringi selama proses penelitian
9. Sucia, Faisal, Fahrizal, Hauly telah membantu, menemani, serta memberi

semangat setiap langkah penelitian hingga akhir

10. Keluarga UKM Tae Kwon Do Universitas Airlangga yang senantiasa memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan studi S2
11. Bu Qonita, Puput, Zakiyyah, Ardi, Nuril, Veto, Yudha, Pak Alvin, Pak Nuril, Fikri, Amel, Zaky, dan Mbak Kartika serta teman-teman S2 yang telah mendukung dan membantu selama proses penelitian
12. Teman-teman perjuangan Tim Riset dalam satu naungan bimbingan
13. Yamin, Riza, Herlina, Venicha, Krisna, Hawky, Anas, Dewi, Nadya, Erni, Mutiara, dan teman-teman S1 lainnya, serta Warga Lab IMAK yang saling mendukung selama proses penelitian
14. Semua pihak, yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis selama proses penelitian dan penulisan naskah tesis ini.

Penulis menyadari bahwa naskah tesis ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan naskah tesis ini.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

Nur Izzati Machrita

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NUR IZZATI MACHRITA
NRP: 01211750010005

Tanggal Ujian: 25 Agustus 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si
NIP. 19740428 199802 1 001 ……

Penguji:

1. Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D.
   NIP. 19840524 200812 2 006 ……

2. Prof. Dr. R.Y. Perry Burhan, M.Sc
   NIP. 19590215 198701 1 001 ……

3. Dr. Hendro Juwono, M.Si
   NIP. 19610606 198803 1 001 ……

Kepala Departemen Kimia,
Fakultas Sains dan Analitika Data

Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si
NIP. 19740428 199802 1 001

ADSORPSI NaCl MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum inophyllum*) UNTUK DESALINASI AIR LAUT

Nama mahasiswa : Nur Izzati Machrita
NRP : 01211750010005
Dosen pembimbing : Prof.Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si

ABSTRAK

Desalinasi air laut dengan metode adsorpsi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menghasilkan air tawar. Salah satu sumber nabati yang menjanjikan dan banyak ditemukan di negara Indonesia adalah biji nyamplung *(Calophyllum inophyllum)*. Kelimpahan biji nyamplung *(Calophyllum inophyllum)* dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk diolah menjadi karbon aktif (KA) yang selanjutnya digunakan untuk proses desalinasi air laut. Sintesis KA menggunakan variasi prekursor biji nyamplung dan arang hasil pembakaran biji nyamplung. Aktivasi karbon menggunakan HNO_3 25% dengan rasio b/b nyamplung : aktivator adalah 1:1 dengan karbonisasi pada suhu 900° C selama 60 menit. Hasil sintesis KA dikarakterisasi menggunakan SEM. Proses adsorpsi KA Biji dan KA Arang dioptimasi menggunakan larutan NaCl sebagai sampel air laut buatan dan hasilnya dibandingkan dengan KA komersil. Konduktivitas larutan NaCl sesudah proses adsorpsi dengan metode *batch* diuji dengan konduktometer. Hasil uji konduktivitas akan menentukan kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang (q_e) KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil. Kondisi optimum KA Biji antara lain, massa adsorben 5 mg/mL, waktu kontak 30 menit, dan suhu 25° C dengan masing-masing q_e 9,82; 10,11; dan 9,29 mg/mg. Kondisi optimum KA Arang antara lain, massa adsorben 0,5 mg, waktu kontak 20 menit, dan suhu 25° C dengan masing-masing q_e 128,30; 121,08; dan 121,48 mg/mg. Kondisi optimum KA komersil antara lain, massa adsorben 50 mg, waktu kontak 50 menit, dan suhu 30° C dengan masing-masing q_e 1,12; 1,07; dan 1,20 mg/mg. KA Biji dan KA Arang mengikuti model isoterm adsorpsi Temkin dengan R^2 masing-masing 0,9975 dan 0,9952. KA Komersil mengikuti model isoterm Langmuir dengan R^2 0,9845. Aplikasi semua material KA digunakan untuk adsorpsi sampel air laut dengan metode *batch*. Hasil adsorpsi sampel air laut dari eksperimen adalah q_e KA Biji 2,02 mg/mg, q_e KA Arang 42,54 mg/mg, dan dibandingkan dengan q_e KA Komersil 0,15 mg/mg.

*Kata kunci***:** *karbon aktif, nyamplung, adsorpsi, desalinasi*

NaCl ADSORPTION DESALINATION USING ACTIVATED CARBON FROM NYAMPLUNG SEEDS (*Calophyllum inophyllum*) FOR SEA WATER

Student name : Nur Izzati Machrita
NRP : 01211750010005
Supervisor : Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si.

ABSTRACT

Seawater desalination using adsorption is a technique that can be used to produce fresh water. One of the promising natural sources found in Indonesia is nyamplung seeds (*Calophyllum inophyllum*). The abundance of nyamplung seeds (*Calophyllum inophyllum*) can be used as a source of carbon to be processed into activated carbon (AC) which is then used for seawater desalination processes. AC synthesis using varieties of precursor are nyamplung seed and char from burning nyamplung seeds. Activation of carbon using 25% HNO_3 with nyamplung: activator ratio is 1: 1 w/w then carbonization at 900° C for 60 minutes. The results of AC were characterized using SEM. The process of adsorption of seed AC and char AC optimized using NaCl solution as sample of synthetic seawater and the results are compared with commercial AC. The conductivity of NaCl solution before and after adsorption process using batch method was measured conductometry. The conductivity results will determine the adsorption capacity equilibrium (q_e) condition of seed AC, char AC, and commercial AC. The optimum conditions for seed AC are 5 mg/mL of adsorbent mass, 30 minutes of contact time, and 25° C of temperature with each q_e 9.82, 10.11 and 9.29 mg/mg. The optimum conditions for char AC are 0.5 mg/mL of adsorbent mass, 20 minutes of contact time and 25° C of temperature with each q_e 128.30, 121.08 and 121.48 mg/mg. The optimum conditions for commercial AC are 50 mg/mL of adsorbent mass, 50 minutes of contact time, and 30° C of temperature with each q_e 1.12, 1.07 and 1.20 mg/mg. Seed AC and char AC fitting Temkin isotherm adsorption models with each R^2 0.9975 and 0.9952. Both of AC compared with commercial AC that fitting with Langmuir isotherm model R^2 0.9845. The application of AC materials is used for seawater sample using the adsorption process by the batch method. Seawater sample adsorption results from experiment are 2.02 mg/mg of q_e seed AC, 42.54 mg/mg of q_e char AC and 0.15 mg/mg of q_e commercial AC for comparison.

*keywords***:** *activated carbon, nyamplung, adsorption, desalination*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS v
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
BAB II KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) 5
2.2 Karbon Aktif (KA) 8
2.3 Karakterisasi Karbon Aktif dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 10
2.4 Air Laut 13
2.5 Desalinasi Air Laut 14
2.6 Adsorpsi 14
2.7 Konduktometri 22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 25
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian 25
3.2.1 Peralatan 25
3.2.2. Bahan 25
3.3 Prosedur Penelitian 25
3.3.1 Pembuatan Larutan HNO_3 25% untuk Aktivasi Karbon 25
3.3.2 Preparasi Rekristalisasi NaCl 26

3.3.3 Sintesis Karbon Aktif 26
3.3.2.1 Biji nyamplung 26
3.3.2.2 Arang biji nyamplung 27
3.3.4 Pembuatan Larutan Induk NaCl 100 mg/mL dan Larutan Kerja NaCl 30 mg/mL 27
3.3.5 Pembuatan Larutan Standar untuk Kurva Kalibrasi 27
3.3.6 Uji Konduktometri 28
3.3.7 Optimasi Parameter Adsorpsi dengan Metode *Batch* 28
3.3.7.1 Optimasi massa adsorben 28
3.3.7.2 Optimasi waktu kontak 29
3.3.7.3 Optimasi suhu 29
3.3.7.4 Variasi konsentrasi awal adsorpsi 30
3.3.8 Penentuan Kapasitas Adsorpsi 31
3.3.9 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin 31
3.3.10 Uji Adsorpsi untuk Sampel Air Laut 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1. Hasil Sintesis Karbon Aktif 33
4.2. Karakterisasi Karbon aktif dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 38
4.3. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan NaCl 41
4.4. Hasil Uji Adsorpsi dengan Metode *Batch* 42
4.4.1 Pengaruh massa adsorben terhadap uji adsorpsi larutan NaCl 42
4.4.2 Pengaruh waktu kontak terhadap uji adsorpsi larutan NaCl 44
4.4.3 Pengaruh suhu terhadap uji adsorpsi larutan NaCl 46
4.4.4 Pengaruh konsentrasi awal terhadap uji adsorpsi larutan NaCl 47
4.5. Penentuan Kapasitas Adsorpsi 48
4.6. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi 55
4.7. Uji Adsorpsi untuk Sampel Air Laut 64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN 79
BIODATA PENULIS 135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Morfologi tanaman nyamplung: pohon (a) bunga (b) daun (c) biji muda (d) biji tua (e)..... 6
Gambar 2.2 Perbandingan tiga dimensi kisi kristal heksagonal grafit (a) dan stuktur turbostratik karbon aktif (b) 8
Gambar 2. 3 Skema alat SEM..... 12
Gambar 2. 4 SEM karbon aktif biji kurma..... 12
Gambar 2. 5 Proses adsorpsi 15
Gambar 2. 6 Tipikal isoterm adsorpsi 18
Gambar 2. 7 Plot grafik isoterm Langmuir 19
Gambar 2. 8 Plot grafik isoterm Freundlich..... 20
Gambar 2. 9 Plot grafik isoterm Temkin 21
Gambar 2. 10 Intrumentasi konduktometer 23
Gambar 3. 1 Rangkaian konduktometer untuk uji konduktivitas 28
Gambar 4. 1 Grafik persentase rendemen KA Biji dan KA Arang pada suhu 500°, 700°, 900° C dengan aktivator HCl 37%, HNO_3 25%, dan H_3PO_4 85% 35
Gambar 4. 2 Mekanisme aktivasi karbon biji dan arang nyamplung dengan HNO_3 37
Gambar 4. 3 Morfologi SEM biji nyamplung (a) arang nyamplung (b) KA komersil (c) KA biji-HCl-500 (d) KA biji-HCl-700 (e) KA biji-HCl-900 (f) KA arang-HCl-500 (g) KA arang-HCl-700 (h) KA arang-HCl-900 (i) KA biji-H_3PO_4-500 (j) KA biji-H_3PO_4-700 (k) KA biji-H_3PO_4-900 (l) KA arang- H_3PO_4-500 (m) KA arang- H_3PO_4-700 (n) KA arang- H_3PO_4-900 (o) KA biji- HNO_3-500 (p) KA biji- HNO_3-700 (q) KA biji-HNO_3-900 (r) KA arang- HNO_3-500 (s) KA arang- HNO_3-700 (t) KA arang- HNO_3-900 (u) 40
Gambar 4. 4 Kurva kalibrasi larutan NaCl..... 42
Gambar 4. 5 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 44
Gambar 4. 6 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi waktu kontak hasil uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 45
Gambar 4. 7 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi suhu uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 47
Gambar 4. 8 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi konsentrasi awal dari hasil adsorpsi dengan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 48
Gambar 4. 9 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 50
Gambar 4. 10 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi waktu kontak hasil uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 52
Gambar 4. 11 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi suhu untuk uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 53

Gambar 4. 12 Kapasitas Adsorpsi pada variasi konsentrasi awal hasil uji adsorpsi dengan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 54
Gambar 4. 13 Interaksi sisi aktif KA dengan adsorbat 55
Gambar 4. 14 Grafik isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Biji 59
Gambar 4. 15 Grafik isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Arang 61
Gambar 4. 16 Grafik Isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Komersil 63
Gambar Lampiran 3. 1 Grafik konduktivitas larutan standar NaCl replikasi 1 (a) replikasi 2 (b) replikasi (3) replikasi (4) replikasi (5) 88
Gambar Lampiran 3. 2 Kurva kalibrasi larutan standar NaCl 89
Gambar Lampiran 5.A. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Biji 117
Gambar Lampiran 5.A. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Biji 119
Gambar Lampiran 5.A. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Biji 121
Gambar Lampiran 5.B. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Arang 124
Gambar Lampiran 5.B. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Arang 125
Gambar Lampiran 5.B. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Arang 126
Gambar Lampiran 5.C. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Komersil 128
Gambar Lampiran 5.C. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Komersil 129
Gambar Lampiran 5.C. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Komersil 130

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Proksimat Biji Nyamplung Kering 6
Tabel 2.2 Kandungan Mineral Biji Nyamplung Kering..... 7
Tabel 2.3 Komposisi Air Laut..... 13
Tabel 2.4 Salinitas Air Laut 13
Tabel 2.5 Kriteria Adsorpsi Fisika dan Kimia 16
Tabel 4. 1 Tabel Rendemen Hasil Sintesis Karbon Aktif 35
Tabel 4. 2 Karakteristik Fisik Karbon Aktif Hasil Sintesis 36
Tabel 4. 4 Data Konduktivitas Larutan Standar NaCl 41
Tabel 4. 5 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Massa adsorben Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 43
Tabel 4. 6 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Waktu Kontak Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 45
Tabel 4. 7 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Suhu untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 46
Tabel 4. 8 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Konsentrasi Awal Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 48
Tabel 4. 9 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 49
Tabel 4. 10 Kapasitas Adsorpsi dari Hasil Variasi Waku Kontak untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 51
Tabel 4. 11 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Suhu untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 53
Tabel 4. 12 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil 54
Tabel 4.13 Parameter Isoterm Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil. 58
Tabel 4. 14 Hasil Adsorpsi pada Sampel Air Laut Menggunakan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil..... 64
Tabel 4. 15 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Setimbang Material Lain pada Literatur untuk Desalinasi Air Laut..... 65
Tabel Lampiran 3. 1 Pengukuran Larutan Standar NaCl secara Konduktometri . 88
Tabel Lampiran 5 A. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Biji . 116
Tabel Lampiran 5A 2 Parameter Grafik Isoterm Langmuir KA Biji..... 116
Tabel Lampiran 5 A 3 Nilai R_L Isoterm Langmuir KA Biji 118
Tabel Lampiran 5.A. 4 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Biji 119
Tabel Lampiran 5A 5 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Biji 120
Tabel Lampiran 5.B. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Arang 123
Tabel Lampiran 5.B. 2 Parameter Grafik Isoterm Langmuir KA Arang 123
Tabel Lampiran 5.B. 3 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Arang 124
Tabel Lampiran 5.B. 4 Nilai R_L Isoterm Langmuir KA Arang 124
Tabel Lampiran 5.B. 5 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Arang 125

Tabel Lampiran 5.B. 6 Parameter Isoterm Adsorpsi Freundlich KA Arang 125
Tabel Lampiran 5.B. 7 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Arang 126
Tabel Lampiran 5.B. 8 Parameter Isoterm Adsorpsi Temkin KA Arang 126
Tabel Lampiran 5.B. 9 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Komersil ... 128
Tabel Lampiran 5.B. 10 Parameter Isoterm Adsorpsi Freundlich KA Komersil 129
Tabel Lampiran 5.C. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Komersil 127
Tabel Lampiran 5.C. 2 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Komersil ... 127
Tabel Lampiran 5.C. 3 Nilai R_L KA Komersil 128
Tabel Lampiran 5.C. 4 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Komersil 129
Tabel Lampiran 5.C. 5 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Komersil 130
Tabel Lampiran 5.C. 6 Parameter Isoterm Adsorpsi Temkin KA Komersil 130
Tabel Lampiran 6. 1 Konsentrasi Awal Sampel Air Laut 131
Tabel Lampiran 6. 2 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase *Removal* dengan KA Biji pada Sampel Air Laut 132
Tabel Lampiran 6. 3 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase *Removal* dengan KA Arang pada Sampel Air Laut 132
Tabel Lampiran 6. 4 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase Removal dengan KA Komersil pada Sampel Air Laut 132

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram Alir Penelitian 79
Lampiran 2 Perhitungan Pembuatan Larutan 86
Lampiran 3 Pembuatan Kurva Kalibrasi 88
Lampiran 4 A Perhitungan Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi 90
Lampiran 4 B Perhitungan Kapasitas Adsorpsi 103
Lampiran 5 A Penentuan Model Isoterm Adsorpsi KA Biji 116
Lampiran 5 B Identifikasi Model Isoterm Adsorpsi KA Arang 123
Lampiran 5 C Identifikasi Model Isoterm Adsorpsi KA Komersil 127
Lampiran 6 Aplikasi Adsorpsi KA pada Sampel Air Laut 133
Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian 135

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam penting untuk makhluk hidup. Air juga merupakan bahan baku penting dalam berbagai kebutuhan, seperti rumah tangga, pertanian, dan industri. Persediaan air tawar berkurang akibat pertumbuhan populasi yang cepat, perkembangan industrialisasi yang meningkat, kondisi geografi, dan kebutuhan pertanian yang besar (Qu dkk., 2013). Pertumbuhan penduduk Indonesia terus meningkat yaitu dari 238,5 juta pada tahun 2010 menjadi 305,6 juta pada tahun 2035 (Badan Pusat Statistik, 2013). Peningkatan populasi diiringi dengan peningkatan industrialisasi. Faktor ini juga menyebabkan peningkatan kebutuhan air tawar. Volume air tahunan yang digunakan oleh industri diperkirakan akan meningkat 50% pada tahun 2025 (Clough, 2008; Service, 2006).

Krisis air tawar yang disebabkan oleh kondisi geografi juga terjadi di Indonesia. Kondisi cuaca dan keadaan tanah yang tandus mengakibatkan ketidakstabilan keadaan sumber daya air yang tersedia. Kondisi geografis yang berpengaruh terhadap krisis pasokan air tawar dialami penduduk Indonesia terutama di Indonesia bagian timur, seperti NTT, NTB, SulSel, SulUt, dan Maluku (Laksono, 2019; Purwanto dan Susanto, 2017). Penduduk di pesisir pantai Puntondo, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, mengalami kesulitan mendapat air tawar untuk digunakan dalam kebutuhan sehari-hari karena kondisi tanah yang tandus (Irnaningsih, 2015).

Krisis air tawar di bidang pertanian dilaporkan oleh Hoekstra (2012) bahwa kebutuhan air untuk pertanian mencapai 92% di negara agraris (Hoekstra dkk., 2012). Pertanian adalah pengguna utama sumber daya air tawar di semua negara agraris (Bastiaanssen dan Steduto, 2017; le Roux dkk., 2017). Indonesia sebagai negara agraris memiliki lahan sawah beririgasi seluas 7,49 juta ha. Pemberian irigasi secara terus-menerus akan membutuhkan jumlah air irigasi hampir 3% dari jumlah ketersediaan air di Indonesia tiap tahunnya (Rejekiningrum, 2013).

Air laut sebagai salah satu sumber air yang melimpah yang memiliki rasa asin disebabkan oleh adanya NaCl. Kadar NaCl di air laut berada pada kisaran 3,5 %. Air laut yang berasa asin tidak dapat digunakan secara langsung oleh manusia, sehingga diperlukan teknologi pengolahan untuk mengurangi kadar NaCl (Januardi dkk., 2016). Pengembangan teknologi untuk memperoleh air tawar seperti desalinasi air laut memainkan peran penting dalam menyelesaikan pasokan air masa depan. Desalinasi air laut merupakan proses penghilangan garam berlebih dari air laut untuk menghasilkan air tawar yang dapat digunakan oleh makhluk hidup serta dapat memenuhi kebutuhan rumah tangga, industri, maupun pertanian. Desalinasi air laut diharapkan dapat menurunkan kadar NaCl serta menawarkan pasokan air berkualitas tinggi dan stabil serta tanpa merusak ekosistem air tawar alami (Murray, 2004; Venkatesan dan Wankat, 2017; Yaqiong Zhu dkk., 2016; Wajima, 2018).

Beberapa teknologi desalinasi telah digunakan untuk menghasilkan air tawar dari air laut, seperti *Reverse osmosis* (RO) berbasis membran (Baig dan Al Kutbi, 1999), elektrodialisis (Hiua dkk., 1977), *Multi Stage Flash Distillation* (MSF) (A. D Khawaji dkk., 1997) dan *Multiple Effect Distillation* (MED) (Al-Sammiri dan Safar, 1991) yang berbasis termal, *Vapor Compression Distillation* (VCD) (Buros, 1990), dan *Capacitive Deionisation* (CDI) (Zhang dkk., 2019). Teknologi tersebut dapat menghasilkan air tawar dalam jumlah besar, tetapi biaya konstruksi, pemeliharaan dan operasi masih mahal. Selain itu, teknologi tersebut dianggap kurang ramah lingkungan dan kurang praktis. Oleh karena itu, perkembangan teknologi desalinasi dengan nilai ekonomis terjangkau dan dapat diterima oleh lingkungan sangat diperlukan (Alaei Shahmirzadi dkk., 2018; Wibowo dkk., 2017; Zhang dkk., 2019).

Desalinasi dengan metode adsorpsi merupakan teknologi ekodesalinasi dengan biaya operasional yang rendah, praktis, serta ramah lingkungan (Spahis dkk., 2008). Dalam proses ini, zat yang tidak diinginkan diadsorpsi oleh adsorben. Apabila konsentrasi analit yang tidak diinginkan sedikit berkurang, maka dapat dilakukan pengulangan proses sehingga reduksi analit yang tidak diinginkan dapat diperoleh sesuai target yang diinginkan. Material seperti zeolit alam, abu terbang, dan karbon aktif (KA) dapat digunakan sebagai bahan adsorben. Karbon aktif (KA)

dapat menjadi adsorben yang menjanjikan karena memiliki porositas tinggi (8–100 Å), luas permukaan (500 hingga 1500 m^2/g), dan volume pori yang besar (0,2 cm^3/gram) apabila dibandingkan dengan zeolit alam dan abu terbang. Selain itu, karbon aktif mudah didapatkan dan berbiaya rendah (Rodriguez-Reinoso dan Silvestre-Albero, 2016a). Sumber karbon dapat berasal dari bahan alam atau limbah pertanian seperti tempurung kelapa (Mistar dkk., 2017), biji sorgum (Diao dkk., 2002), sekam biji kopi (Baquero dkk., 2003), serbuk kayu karet (Srinivasakannan dan Abu Bakar, 2004), biji anggur (Al Bahri dkk., 2012), biji aprikot (Fadhil, 2017), dan biji alpukat (Yiying Zhu dkk., 2016), tempurung nyamplung (Al Indis dan Ulfin, 2013) dan lain-lain.

Biji nyamplung *(Calophyllum inophyllum)* merupakan salah satu sumber bahan alam yang mengandung karbon. Biji nyamplung termasuk bahan alam yang menjanjikan dan banyak ditemukan di beberapa wilayah Indonesia. Pohon nyamplung mencapai 480.000 ha dengan produktivitas biji sebanyak 480.000 ton/tahun (Syakir dan Karmawati, 2009; Leksono, Windyarini, dkk., 2014). Biji nyamplung mengandung minyak, air, dan karbon (Abbas, 2016). Oleh karena itu, biji nyamplung juga berpotensi sebagai sumber karbon aktif (KA) terbarukan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengurangi kadar NaCl dari air laut. Wibowo dkk (2017) menggunakan zeolit alam *clinoptilolite* dari Buah Batu, Bandung, untuk mengadsorpsi NaCl dari sampel air laut. Kapasitas adsorpsi didapatkan sebesar 51,43 x 10^{-3} mg/mg. Zeolit alam ini kurang dapat mengadsorpsi NaCl pada konsentrasi yang sangat rendah (Wibowo dkk., 2017). Karbon aktif granular juga telah digunakan untuk mengadsorpsi sampel air laut dengan kondisi optimum ketika 4 g adsorben dalam 100 mL sampel air laut dengan waktu kontak selama 120 menit. Kapasitas adsorpsi yang didapat sebesar 3,05 x 10^{-3} mg/mg (Kulkarni dkk., 2016). Namun, massa adsorben yang dibutuhkan dalam jumlah banyak dan lamanya waktu kontak dalam suatu kondisi optimum operasi proses adsorpsi.

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan karbon aktif (KA) dengan prekursor biji nyamplung dan arang biji nyamplung. Aktivator yang digunakan adalah HCl 37%, HNO_3 25 %, H_3PO_4 85% dengan rasio nyamplung: aktivator 1:1 b/b pada suhu 900 °C selama 60 menit. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan

metode *Batch* dengan variasi waktu kontak 10-240 menit, massa adsorben 0,5–70 mg, suhu 25°-45° C, dan konsentrasi awal 10-40 mg/mL. Penurunan kadar NaCl diukur berdasarkan daya konduktivitasnya dengan konduktometer sehingga dapat ditentukan kapasitas adsorpsi biji dan arang nyamplung sebagai adsorben. Sistem adsorpsi (interaksi adsorben-adsorbat) antara KA Biji dan KA Arang dengan NaCl juga belum pernah diteliti sebelumnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan diamati juga karakteristik isoterm adsorpsi yang terjadi. Proses adsorpsi KA Biji dan KA Arang selanjutnya diaplikasikan pada sampel air laut.

1.2 Perumusan Masalah

Kebutuhan air tawar terus meningkat seiring dengan ketersediaannya yang semakin langka. Air laut menjadi salah satu sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk menutup kelangkaan tersebut. Air laut yang memiliki kadar garam tinggi dapat diubah menjadi air tawar melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan penggunaan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif banyak diproduksi dari sumber bahan alam, salah satunya biji nyamplung. Kemampuan biji nyamplung sebagai adsorben dianalisis melalui kapasitas adsorpsi yang diperoleh dari uji adsorpsi dengan metode *Batch.* Karakteristik karbon aktif juga dianalisis model isoterm adsorpsinya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dan karakteristik model isoterm adsorpsi karbon aktif (KA) dari bahan baku biji nyamplung terhadap aplikasinya pada sampel air laut alami maupun buatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penggunaan karbon aktif (KA) biji nyamplung sebagai adsorben diharapkan dapat menjadi alternatif teknologi desalinasi yang menghasilkan air tawar dari sumber air laut. Proses ini diharapkan dapat mengatasi kelangkaan sumber air tawar dengan biaya operasional rendah dan ramah lingkungan. Selain itu, dapat meningkatkan pemanfaatan biji nyamplung sebagai sumber daya alam yang melimpah di Indonesia.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

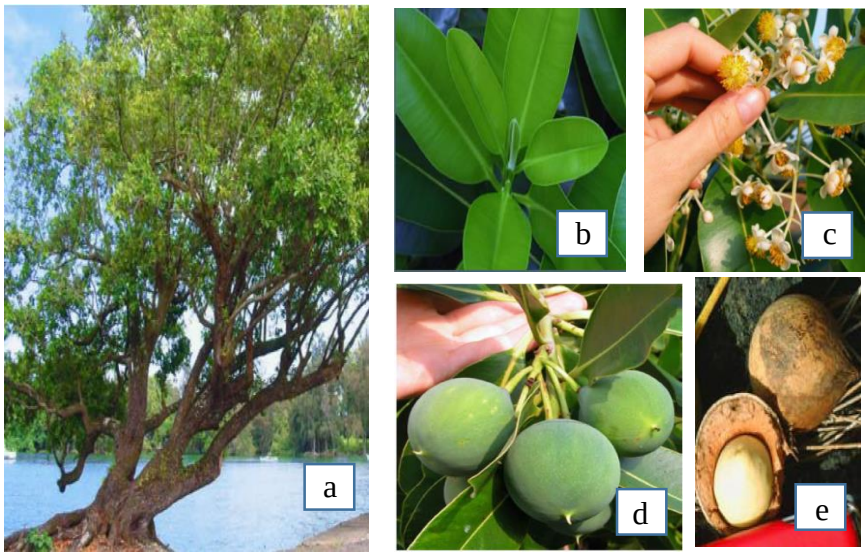
2.1 Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)

Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) merupakan tanaman yang. tersebar luas di dunia yaitu Afrika Timur, Asia Selatan dan Tenggara, dan Amerika Selatan. Tanaman nyamplung dapat ditemukan di Indonesia mulai dari Sumatera hingga Papua. Tanaman ini disebut juga *Alexandrian laurel* (English), *kamanu* (Hawai'i), *tamanu* (Cook Islands, Society Islands, Marquesas), nyamplung (Jawa, Sunda, Makassar), camplong (Madura), punaga (Bali), dan masih banyak nama lain di berbagai daerah (Friday dan Okano, 2006).

Tanaman nyamplung mempunyai klasifikasi sebagai berikut (Thalib, 2011):

Divisi : *Spermatophyta*
Subdivisi : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledone*
Bangsa : *Guttiferales*
Suku : *Guttiferae*
Marga : *Calophyllum*
Jenis : *Calophyllum inophyllum*

Pohon nyamplung (Gambar 2.1a) tumbuh paling dekat pada posisi 50-1000 m dari bibir pantai. Pohon nyamplung pada umumnya tumbuh di hutan campuran (Leksono, Windyarini, dkk., 2014). Tanaman ini memiliki pohon yang tingginya dapat mencapai 25 m dengan diameter 150 m. Batang tidak lurus tetapi bercabang rendah dekat permukaan tanah. (Leksono, Windyarini, dkk., 2014; Min Oo, 2018). Daun tanaman nyamplung merupakan daun tunggal, berbentuk oval dengan pangkal membulat, berwarna hijau tua, tebal, mengkilap, dan daging daun seperti kulit atau belulang. Daun tanaman nyamplung dapat dilihat pada Gambar 2.1b (Leksono, Windyarini, dkk., 2014; Friday dan Okano, 2006).



Gambar 2. 1 Morfologi tanaman nyamplung: pohon (a) bunga (b) daun (c) biji muda (d) biji tua (e) (Friday dan Okano, 2006)

Bunga nyamplung (Gambar 2.1c) umumnya tidak bercabang. Bunga berupa bunga majemuk, diameter 2-3 cm, dan berwarna putih (Leksono, Windyarini, dkk., 2014; Friday dan Okano, 2006). Biji nyamplung (Gambar 2.1d) berukuran cukup besar dengan diameter 2-4 cm. Biji berbentuk bulat tebal dan keras. Biji yang telah kering dapat tahan disimpan kisaran selama 1 bulan. Inti biji mengandung minyak berwarna kuning kecoklatan (Leksono, Windyarini, dkk., 2014). Komposisi proksimat biji kering (Gambar 2.1e) dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan kandungan mineral biji nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Proksimat Biji Nyamplung Kering

Konstituen	**Komposisi**
moisture	4,15 (wt%)
lipid	63,10 (wt%)
fiber	16,64 (wt%)
abu	3,22 (wt%)
protein	3,42 (wt%)
Nitrogen free extract	13,62 wt%)
Nilai kalori	6092 (kal/g)

Sumber: Chandra dkk., 2013

Tabel 2.2 Kandungan Mineral Biji Nyamplung Kering

Mineral	Komposisi (wt%)
Si	$3{,}84 \times 10^{-3}$
Al	$0{,}54 \times 10^{-3}$
Fe	$0{,}56 \times 10^{-3}$
Ca	$5{,}16 \times 10^{-2}$
Mg	$1{,}54 \times 10^{-2}$
Na	$13{,}86 \times 10^{-3}$
K	$19{,}08 \times 10^{-3}$
S	$0{,}88 \times 10^{-4}$
P	$1{,}71 \times 10^{-2}$

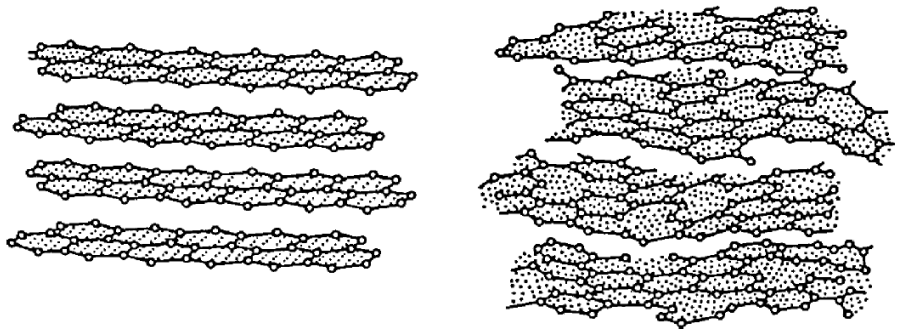
Sumber: Chandra dkk., 2013

Pohon nyamplung mencapai luas 480.000 ha di Indonesia. Potensi produksi biji dari tegakan alam berbeda-beda sesuai lokasi seperti Ciamis 60-110 kg/pohon/tahun, Banyuwangi 220 kg/pohon/tahun, Purworejo 70-150 kg/pohon/tahun, dan Papua 130 kg/pohon/tahun. Hasil penelitian terhadap beberapa ras tanaman nyamplung, produksi biji yang diperoleh rata-rata 50 kg/pohon. Apabila 10% dari luas hutan alam yang bertegakan nyamplung menghasilkan 10 ton/ha, maka dapat dihasilkan biji sebanyak 480.000 ton/tahun. (Leksono, Hendrati, dkk., 2014; Syakir dan Karmawati, 2009).

Produktivitas biji nyamplung lebih tinggi dibandingkan jenis tanaman lain seperti jarak pagar (5 ton/ha/tahun) dan sawit (6 ton/ha/tahun) (Leksono, Windyarini, dkk., 2014). Biji yang dijemur kering mengandung air sebanyak 3,3% (Abbas, 2016). Variasi ukuran biji dan pertumbuhan tanaman dari populasi nyamplung di seluruh Indonesia menunjukkan peluang untuk meningkatkan budidaya dan produktivitas tanaman (Leksono, Windyarini, dkk., 2014). Biji nyamplung dapat diekstraksi minyaknya untuk diolah menjadi biodiesel, bahan pembuatan sabun, dan obat kulit (Bustomi, 2012). Biji nyamplung selain menghasilkan minyak juga berpotensi menghasilkan produk lain dari pemanfaatan limbahnya seperti briket arang, asap cair untuk pengawet kayu, bungkil untuk pakan ternak, resin atau getah untuk obat-obatan dan pewarna tekstil (Fadhlullah dkk., 2015). Tempurungnya dapat dijadikan sebagai prekursor karbon aktif (Al Indis dan Ulfin, 2013; Almu dkk., 2014; Fayanto dkk., 2018).

2.2 Karbon Aktif (KA)

Karbon aktif (KA) merupakan material yang mengandung karbon dengan porositas tinggi, kapasitas adsorpsi tinggi, kekuatan mekanik tinggi, tingkat reaktivitas permukaan yang tinggi, dengan luas permukaan yang besar (Al Bahri dkk., 2012; Yiying Zhu dkk., 2016; Al-Qodah dan Shawabkah, 2009; Ho dkk., 2009; Bansal dan Goyal, 2005). Karbon aktif berbentuk amorf dan memiliki struktur yang tersusun dari lapisan heksagonal atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar. Jarak antara lapisan heksagonal berkisar 0,34-0,35 nm. Orientasi lapisan heksagonal ini tidak tertata rapi seperti halnya grafit. Struktur tersebut merupakan struktur turbostratik (Biscoe dan Warren, 1942; Bansal dan Goyal, 2005; Hartanto dan Ratnawati, 2010).



(a) (b)

Gambar 2.2 Perbandingan tiga dimensi kisi kristal heksagonal grafit (a) dan stuktur turbostratik karbon aktif (b) (Bokros, 1969)

Karbon aktif dihasilkan melalui proses karbonasi dan aktivasi. Proses karbonasi untuk karbon aktif dapat dilakukan pada suhu 400°-1000° C. Suhu 400°-600° C terjadi proses karbonisasi, sedangkan suhu 600°-1000° C terjadi proses kalsinasi struktur karbon. Selama proses karbonisasi, sebagian besar unsur non-karbon seperti oksigen, hidrogen, nitrogen, dan belerang dihilangkan sebagai produk gas yang mudah menguap, seperti CO_2, oleh proses dekomposisi termal prekursor karbon. Residu atom karbon berkumpul dalam tumpukan lembaran aromatis yang dihubungkan secara acak. Susunan lembaran aromatis ini tak beraturan dan menimbulkan celah antar lembaran. Celah ini dapat meningkatkan porositas karbon. Porositasnya meningkat dengan adanya proses aktivasi karbon. (Yahya dkk., 2015; Bokros, 1969; Menéndez dkk., 1997; Bansal dan Goyal, 2005).

Aktivasi karbon dapat terjadi melalui dua cara yaitu aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan untuk memperluas pori dengan menggunakan aktivator gas seperti uap dan CO_2. Aktivasi kimia dilakukan dengan penggunaan bahan kimia seperti ZnO, $ZnCl_2$, HCl, HNO_3, H_3PO_4, KOH, dan lain-lain. Bahan baku dan rute aktivasi yang berbeda akan menghasilkan karbon aktif dengan sifat yang berbeda. Proses aktivasi mengarah pada produksi karbon aktif dengan porositas tinggi, luas permukaan besar, dan volume pori yang tinggi. Selama proses tersebut terjadi penghilangan kadar air dan senyawa volatil organik. Karbon aktif memiliki luas permukaan berkisar 500 hingga 1500 m^2/g, volume pori karbon aktif lebih besar dari 0,2 $cm^3/gram$, dan diameter pori sekitar 8–100 Å. (Rodriguez-Reinoso dan Silvestre-Albero, 2016a; Rivera-Utrilla dkk., 2011; Mohamad Nor dkk., 2013).

Pemilihan material bahan baku sumber karbon dan rute aktivasi tergantung pada penggunaan akhir atau desain spesifikasi karbon aktif yang diperlukan. Karbon aktif diproduksi secara komersil dalam berbagai bentuk, antara lain serbuk, granular, dan batang (ukuran dimensi berkisar diameter 0,8 hingga 6 mm dan panjang 3-10 mm). Semua bahan yang mengandung karbon dapat dikonversi menjadi karbon aktif, meskipun sifat-sifat produk akhirnya akan berbeda. Sumber karbon dapat berasal dari bahan alam atau limbah pertanian seperti tempurung kelapa (Mistar dkk., 2017), biji sorgum (Diao dkk., 2002), sekam biji kopi (Baquero dkk., 2003), serbuk kayu karet (Srinivasakannan dan Abu Bakar, 2004), tempurung nyamplung (Al Indis dan Ulfin, 2013), biji anggur (Al Bahri dkk., 2012), biji aprikot (Fadhil, 2017a), dan biji alpukat (Yiying Zhu dkk., 2016).

Karbon aktif seringkali digunakan sebagai adsorben (Aji, 2012), katalis (Supriya dkk., 2018), dan elektroda (F. Kurniawan dkk., 2018; Rofiansyah dkk., 2019; F. Kurniawan dkk., 2017). Karbon aktif telah diaplikasikan dalam proses *removal* gas polutan (R. Y. Kurniawan dkk., 2019), *removal* pewarna (Baytar dkk., 2018), penyimpan energi (Awasthi dkk., 2019), superkapasitor (Rawal dkk., 2018), dan desalinasi (Kulkarni dkk., 2016). Karbon aktif sebagai adsorben digunakan untuk menghilangkan berbagai bahan kimia organik dan anorganik dari media cair atau gas. Partikel-partikel ini dengan cepat menghilangkan polutan bahkan pada konsentrasi rendah, di bawah kondisi pH dan suhu yang berbeda (El Gamal dkk.,

2018). Pengembangan karbon aktif sebagai adsorben telah diaplikasikan untuk menghilangkan ion logam, anion, dan spesies organik dari air dengan teknologi adsorpsi baik dengan metode *Batch* ataupun kolom. Karbon aktif juga efektif digunakan untuk aplikasi fase gas, seperti untuk pemisahan, deodorisasi, pemurnian, dan lain sebagainya.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Al Indis dan Ulfin (2013) yaitu mensintesis karbon aktif dari tempurung nyamplung sebagai adsorben ion Cr (VI) dari air. Tempurung nyamplung direndam dengan H_2SO_4 50% lalu dikeringkan dalam oven pada 120° C dan dikarbonisasi pada suhu 300° C selama 45 menit dalam *muffle furnace*. Karbon aktif tersebut digunakan adsorpsi ion Cr (VI) pada variasi pH 1-10, waktu kontak 10-210 menit, dan konsentrasi awal ion Cr (VI) 10-150 mg/L, dengan kondisi optimum antara lain massa adsorben 2 g, suhu 30,01°C, serta kecepatan pengadukan 500 rpm (Al Indis dan Ulfin, 2013).

2.3 Karakterisasi Karbon Aktif dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis (Webb dan Holgate, 2003). Prinsip kerja SEM adalah permukaan benda atau material digambarkan dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. *Electron gun* menghasilkan *beam* elektron dari filamen dengan lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Katoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. SEM memiliki perbesaran 10–3.000.000 kali dan resolusi sebesar 1–10 nm. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan

yang bagus serta fleksibel (Pereira-da-Silva dan Ferri, 2017; Webb dan Holgate, 2003; Yurdakal dkk., 2019).

Instrumentasi SEM terdiri dari (Yurdakal dkk., 2019):

a. *Electron gun*

   Filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.

b. Lensa magnetik

   Lensa yang digunakan berupa dua buah *condenser lens*. *condenser lens* kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan elektron dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm.

c. Detektor

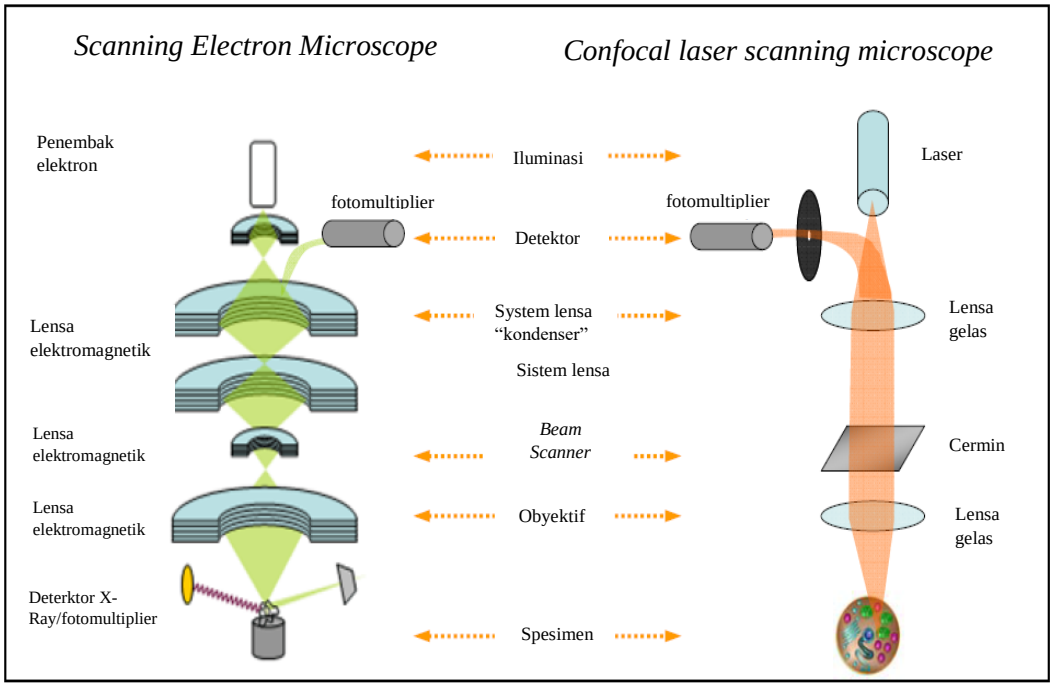
   SEM memiliki beberapa detektor yang berfungsi untuk menangkap hamburan elektron dan memberikan informasi yang berbeda-beda. Detektor-detektor tersebut antara lain: *backscatter detector* (berfungsi untuk menangkap informasi mengenai nomor atom dan topografi), *secondary detector* (berfungsi untuk menangkap informasi mengenai topografi).

d. Tempat sampel

   Tempat yang digunakan untuk meletakkan sampel yang akan dianalisis dengan SEM.

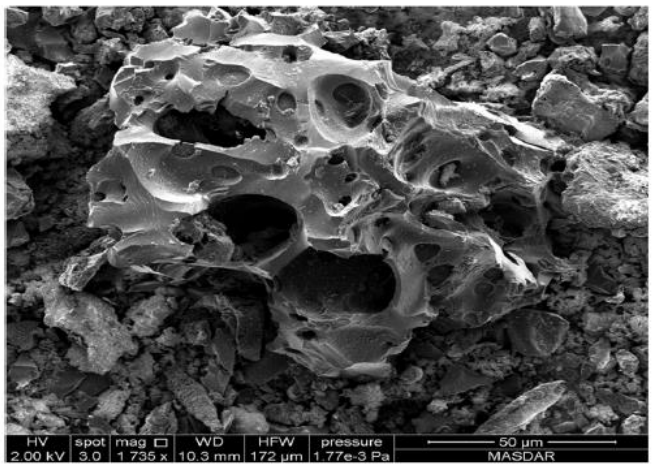
e. Monitor CRT (*Cathode Ray Tube*)

   Layar CRT merupakan tempat struktur obyek tergambarkan dengan perbesaran yang diinginkan.



Gambar 2. 3 Skema alat SEM (Kaech, 2013)

Ogungbenro (2018) telah mensintesis karbon aktif dari biji kurma menggunakan gas CO_2 sebagai agen pengaktivasi dengan laju alir 150 mL/menit Karbonisasi dilakukan pada suhu 600°-900° C selama 1 jam. Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan SEM terlihat memiliki pori yang heterogen (Ogungbenro dkk., 2018).



Gambar 2. 4 SEM karbon aktif biji kurma (Ogungbenro dkk., 2018)

2.4 Air Laut

Air laut adalah air yang berasal dari laut atau samudra. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5% yang artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram NaCl. Kadar garam air laut berasal dari batuan-batuan dari dasar laut yang dipenuhi dengan garam mineral misalnya natrium, kalium, dan kalsium. (Senner dkk., 2018).

Tabel 2.3 Komposisi Air Laut

No.	Rata-Rata Konsentrasi Ion pada Air Laut	
	Ion	**Persen (%) berat**
1.	Klorida (CI^-)	18,98
2.	Natrium (Na^+)	10,56
3.	Sulfat (SO_4^{2-})	2,65
4.	Magnesium (Mg^{2+})	1,27
5.	Kalsium (Ca^{2+})	0,40
6.	Kalium (K^+)	0,38
7.	Bikorbonat (HCO^{3-})	0,14
8.	Bromin (Br^-)	0,06
9.	Borat (H_2BO_3)	0,03
10.	Stronsium (Sr^{2+})	0,03

Sumber: (Hu dan Lindo-Atichati, 2019)

Tabel 2.3 menunjukkan bahwa terdapat 10 jenis ion pada air laut. Jumlah konsentrasi klor dan natrium berada dalam jumlah yang sangat tinggi. Hal ini yang menyebabkan tingginya salinitas air laut. Kadar sulfat, magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan kalium (K) juga terdapat dalam konsentrasi yang cukup tinggi dibandingkan unsur lainnya. Kadar tersebut mengindikasikan kandungan garam yang terdapat dalam air laut cukup tinggi. Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Persentase garam terlarut air laut dapat dilihat pada Tabel 2.4 (Hu dan Lindo-Atichati, 2019; Wibowo dkk., 2017)

Tabel 2. 4 Salinitas Air Laut

Salinitas Air Laut Berdasarkan Persentase Garam Terlarut			
Air tawar	Air payau	Air asin	Air garam
$<$ 0,5 mg/mL	0,5-30 mg/mL	30-50 mg/mL	$>$ 50 mg/mL

Sumber: Hu dan Lindo-Atichati, 2019

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya salinitas air laut yaitu (Wibowo dkk., 2017):

1) Penguapan yang besar menyebabkan salinitas tinggi dan sebaliknya semakin kecil penguapan maka salinitas semakin rendah.
2) Curah hujan yang besar menyebabkan salinitas semakin rendah dan sebaliknya semakin kecil curah hujan maka salinitas semakin tinggi.
3) Jika semakin banyak air sungai yang bermuara ke laut maka salinitas air laut tersebut akan semakin rendah.
4) Arus laut yang dipengaruhi arus panas maka salinitas akan naik dan sebaliknya laut yang dipengaruhi arus dingin maka salinitas akan semakin rendah.

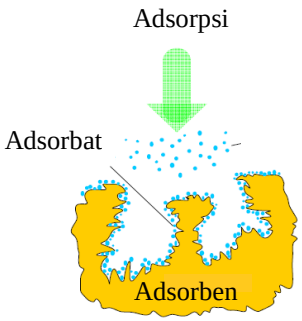
2.5 Desalinasi Air Laut

Desalinasi air laut merupakan proses menghilangkan kadar garam berlebih dalam air laut untuk mendapatkan air tawar yang dapat digunakan oleh hewan, tumbuhan, dan manusia. Jika kadar garam dalam air laut semakin tinggi, maka akan semakin tinggi pula biaya yang dibutuhkan untuk pengolahan air laut menjadi air tawar. Produk proses desalinasi umumnya merupakan air dengan kandungan garam terlarut kurang dari 0,005 %, yang dapat digunakan untuk keperluan domestik, industri, dan pertanian. Hasil sampingan dari proses desalinasi adalah *brine*. *Brine* adalah larutan garam berkonsentrasi tinggi (lebih dari 3,5 % garam terlarut) (Committee on Advancing Desalination Technology, 2008). Proses yang sering digunakan dalam desalinasi yaitu *multistage flash distillation, reverse osmosis,* adsorpsi, dan lain-lain (Khawaji dkk., 2008).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses pemisahan adsorbat dari larutan ke permukaan zat padat yang menyerap. Adsorbat adalah zat yang diserap. Zat yang menyerap disebut adsorben. Adsorben berupa padatan berpori yang memiliki luas permukaan yang tinggi, 100-1000 m^2/g, dan permukaan adsorben mengandung gugus fungsional yang memungkinkan interaksi fisik dan kimia dengan adsorbat yang ada dalam larutan. Gugus fungsional ini memainkan peran mendasar dalam tahap pemisahan dan bertanggung jawab atas pengikatan dan akumulasi adsorbat pada permukaan padat. Adsorben mengandung struktur pori yang meliputi makropori (lebar>50 nm), mesopori (lebar 2-50 nm) dan mikropori (lebar<2 nm) (Bansal dan

Goyal, 2005; Dabrowski, 2001). Pori-pori ini memungkinkan perpindahan massa adsorbat selama proses adsorpsi. Pemisahan melalui adsorpsi menunjukkan adanya perpindahan massa adsorbat dari larutan ke permukaan bahan berpori, difusi eksternal dan intrapartikel dari adsorbat, dan pengikatan senyawa kimia ke sisi aktif adsorben (Bonilla-Petriciolet dkk., 2019).



Gambar 2. 5 Proses adsorpsi (Wu, 2012)

Adsorpsi berdasarkan kekuatan interaksi dapat dibedakan menjadi dua di antaranya adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya van der Waals sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolekular adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri. (Bansal dan Goyal, 2005; Dabrowski, 2001; Tóth, 2002; Piccin dkk., 2017). Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben pada dasarnya adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat daripada adsorpsi fisika. Adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dibedakan berdasarkan kriteria antara lain, dapat dilihat pada Tabel 2.5 (Bansal dan Goyal, 2005). Efisiensi karbon aktif akan tergantung pada luas permukaan tempat terjadinya adsorpsi fisik atau kimia yang terjadi. (Rodriguez-Reinoso dan Silvestre-Albero, 2016).

Tabel 2. 5 Kriteria Adsorpsi Fisika dan Kimia

Adsorpsi fisika	Adsorpsi kimia
Terjadi adsorpsi multilayer	Terjadi adsopsi monolayer
Terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada suhu tinggi
Tidak melibatkan energi aktivasi	Proses adsorpsi melibatkan energi aktivasi

Sumber: Rodriguez-Reinoso dan Silvestre-Albero, 2016

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

a. Cara *batch*

   Larutan dimasukkan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben dan diaduk dalam waktu tertentu. Adsorben dan larutan dipisahkan dengan cara penyaringan atau dekantasi. Komponen yang telah terikat pada adsorben dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu.

b. Cara kolom

   Larutan dimasukkan dengan komponen yang diinginkan melalui kolom berisi adsorben pada laju alir tertentu. Komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut sesuai yang volumenya lebih kecil

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi sebagai berikut (Benefield dkk., 1982):

a. Agitasi

   Agitasi berpengaruh terhadap difusi lapisan adsorbat pada permukaan adsorben. Jika agitasi kecil maka lapisan adsorbat pada permukaan adsorben menjadi tebal sehingga difusi lapisan menjadi terbatas.

b. Karakteristik adsorben

   Karakteristik adsorben yang berpengaruh adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Jika ukuran adsorben semakin kecil maka tingkat adsorpsi akan semakin meningkat. Jika luas permukaan adsorben semakin besar maka jumlah adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

c. Kelarutan adsorbat

   Proses adsorpsi terjadi saat adsorbat terpisah dari larutan dan menempel di permukaan adsorben. Partikel adsorbat yang terlarut memiliki afinitas yang kuat.

Beberapa senyawa yang sedikit larut akan sulit untuk diserap, tetapi beberapa senyawa lain yang sangat larut dapat mudah untuk diserap.

d. Ukuran pori adsorben

Ukuran pori merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena senyawa adsorbat akan tertangkap dalam pori adsorben. Jika pori adsorben semakin besar maka tingkat adsorpsi akan semakin meningkat.

e. pH

pH berpengaruh terhadap tingkat ionisasi larutan selama proses adsorpsi. Jumlah ion H^+ akan lebih besar pada pH rendah. Ion H^+ tersebut akan menetralisasi permukaan adsorben yang bermuatan negatif sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH tinggi (Culp dkk., 1986).

f. Suhu

Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu, begitu pula sebaliknya. Apabila proses adsorpsi yang terjadi berupa reaksi eksotermik, maka tingkat adsorpsi akan meningkat seiring dengan menurunnya suhu.

g. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap. Perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat menyebabkan waktu kontak optimum tiap adsorbat berbeda pula.

h. Laju alir pompa

Laju alir pompa berpengaruh terhadap cepat lambatnya adsorbat mengalami kontak dengan permukaan adsorben. Apabila laju alir semakin lambat maka kapasitas adsorpsinya akan semakin meningkat (Mistar dkk., 2017).

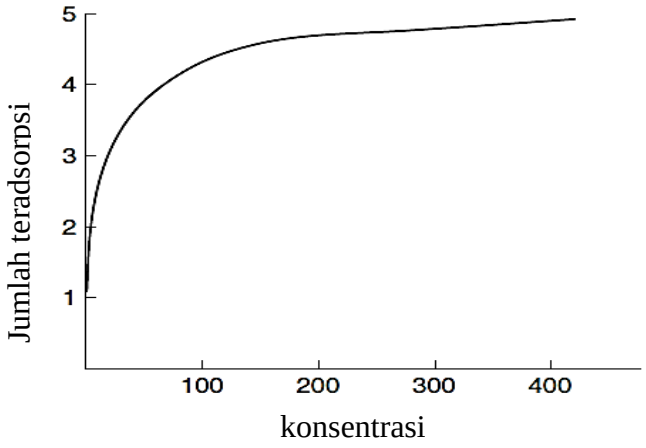
Kesetimbangan kapasitas adsorpsi q_e (mg/g) dihitung dengan persamaan (1) (Khadhri dkk., 2019) dan persentase *removal* adsorbat dapat dihitung dengan persamaan (2) (Li dkk., 2019) berikut:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)\,V}{m} \quad (1)$$

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

dengan C_0 dan C_e (mg/mL) masing-masing adalah konsentrasi awal dan konsentrasi larutan setimbang, V (mL) adalah volume larutan, dan m (mg) adalah berat adsorben (Khadhri dkk., 2019).

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada zat padat terhadap konsentrasi larutan pada suhu konstan. Isoterm adsorpsi digunakan untuk menetapkan kapasitas adsorpsi maksimum pada kesetimbangan dan untuk menghitung variabel termodinamika. Isoterm adsorpsi membantu dalam penentuan luas permukaan adsorben, volume pori-pori, dan distribusi ukurannya, panas adsorpsi, dan daya serap relatif dari gas atau uap pada adsorben yang diberikan (Bansal dan Goyal, 2005). Analisis kesetimbangan adsorpsi penting untuk mengidentifikasi berkurangnya analit layak dilakukan pada kondisi operasi yang diuji (Bonilla-Petriciolet dkk., 2019).



Gambar 2. 6 Tipikal isoterm adsorpsi (Bansal dan Goyal, 2005)

Persamaan yang dapat digunakan untuk menjelaskan data percobaan isoterm dikaji dengan persamaan isoterm Langmuir, Freundlich, dan Temkin. (Bansal dan Goyal, 2005; Bonilla-Petriciolet dkk., 2019). Validitas model isoterm dapat ditentukan oleh plot liniernya. Koefisien korelasi linieritas (R^2) digunakan sebagai kriteria untuk membandingkan kesesuaian setiap model (Li dkk., 2019).

Isoterm adsorpsi Langmuir berdasarkan pada asumsi, antara lain:

a. adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya. Tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap.

b. semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama.

c. hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

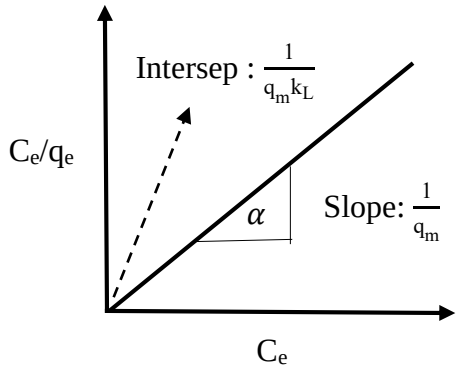
Persamaan Langmuir adalah sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} \tag{3}$$

dengan q_e(mg/mg) adalah jumlah yang teradsorpsi pada kondisi setimbang, q_m (mg/mg) adalah kapasitas monolayer maksimum, C_e (mg/mL) adalah konsentrasi larutan setimbang, dan K_L (mL/mg) adalah konstanta Langmuir. Dari kurva linier hubungan antara C_e/q_e versus C_e maka dapat ditentukan nilai q_m dari kemiringan (slope) dan K_L dari intersep kurva (Khadhri dkk., 2019; Ayawei dkk., 2017). Parameter penting lainnya adalah faktor separasi (*undimentional constant*) yang digunakan untuk menentukan tingkat adsorpsi model isoterm adsorpsi Langmuir. R_L dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \tag{4}$$

Nilai R_L diinterpretasikan dengan ketentuan $R_L < 1$ (*unfavorable*), $R_L = 1$ (linear), $0 < R_L < 1$ (*favourable*) atau $R_L = 0$ (irreversibel) (Mekatel dkk., 2015; Yao dkk., 2016; A.O, 2012; Mittal dkk., 2007).



Gambar 2. 7 Plot grafik isoterm Langmuir

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa proses adsorpsi pada bagian permukaan adalah heterogen yang artinya tidak semua permukaan adsorben mempunyai daya adsorpsi. Model isoterm Freundlich menunjukkan bahwa permukaan adsorben dapat terlapisi multilayer adsorbat. Hal tersebut berkaitan

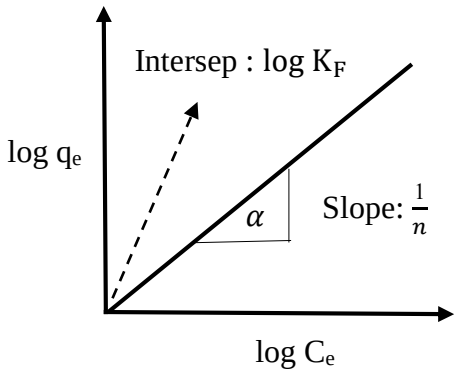
dengan ciri-ciri adsorpsi secara fisika yaitu adsorpsi multilayer. Persamaan Freundlich (5) adalah sebagai berikut.

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

dengan q_e (mg/mg) adalah jumlah yang teradsorpsi pada kondisi setimbang, K_F ($mg^{(1-1/n)}mL^{(1/n)}/mg$) adalah konstanta Freundlich, C_e (mg/mL) adalah konsentrasi larutan setimbang, dan (1/n) adalah koefisien Freundlich. Penentuan konstanta K_F dan n dapat dilakukan dengan linierisasi persamaan (6) berikut (Khadhri dkk., 2019):

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

K_F dan n dapat dicari dengan membuat kurva log q_e berbanding log C_e. K_F didapat intersept dan n didapat dari slope. Koefisisen K_F dikaitkan dengan kapasitas adsorpsi adsorben (Singh dan Alloway, 2006). Sementara nilai n menunjukkan intensitas adsorpsi dan heterogenitas dengan interpretasi 0<n<1 (*unfavorable*), n=1 (linier), dan n>1 (*favourable*) (Halsey, 1950; Shahryari dkk., 2010; A.O, 2012; Xin-jiang Hu dkk., 2011).



Gambar 2. 8 Plot grafik isoterm Freundlich

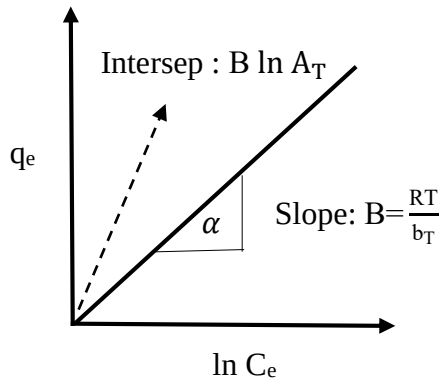
Model isoterm Temkin memperhitungkan efek interaksi adsorben dengan adsorbat tidak langsung pada proses adsorpsi. Entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) dari semua molekul di lapisan diasumsikan berkurang secara linier sebagai akibat dari peningkatan *surface coverage*. Bentuk persamaan linear isoterm Temkin (7) adalah sebagai berikut.

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad (7)$$

dengan q_e (mg/mg) adalah jumlah yang teradsorpsi setimbang, R (J/mol K) adalah konstanta gas universal, T (K) adalah suhu, b_T (J/mol) adalah konstanta Temkin yang berhubungan dengan entalpi adsorpsi, dan A_T (mL/mg) adalah Konstanta Temkin yang berhubungan dengan energi ikat saat kondisi setimbang (Ayawei dkk., 2017). Jika $\frac{RT}{b_T}$ diasumsikan sebagai B (J/mol) , maka persamaan dapat ditulis sebagai berikut.

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (8)$$

Dari persamaan (8) didapatkan nilai B sebagai slope dan B ln A_T sebagai intersep. Hubungan B dengan entalpi adsorpsi adalah B = - ΔH_{ads} (Johnson dan Arnold, 1995; A.O, 2012). Jika nilai B positif maka nilai ΔH negatif yang menandakan reaksi berlangsung eksotermis dan sebaliknya reaksi berlangsung endotermis apabila nilai ΔH positif sehingga B bernilai negatif. Besar nilai ΔH dapat digunakan untuk menjelaskan interaksi antara adsorben dan adsorbat. Fisisorpsi yang disebabkan oleh gaya van der Waals mempunyai energi yang sangat lemah ΔH< 20 kJ/mol. Fisisorpsi yang disebabkan oleh gaya elektrostatik mempunyai kisaran energi 20<ΔH<80 kJ/mol. Interaksi adosrben dengan adsorbat yang disebabkan oleh ikatan kimia (kemisorpsi) mempunyai energi yang besar 80<ΔH<450 kJ/mol (Piccin dkk., 2017; Yao dkk., 2016; Mekatel dkk., 2015).



Gambar 2. 9 Plot grafik isoterm Temkin

2.7 Konduktometri

Konduktometri merupakan salah satu cara elektroanalisis yang mengukur daya hantar listrik suatu larutan berdasarkan kemampuan ion dalam mengantarkan muatan listrik di antara dua elektroda. Besarnya arus yang mengalir ditentukan oleh parameter-parameter sebagai berikut, beda tegangan antara kedua elektroda, konsentrasi ion-ion, sifat ion (seperti besarnya muatan, besarnya ion, kompleksasi dengan molekul lain, dan sebagainya), suhu larutan, luas permukaan masing-masing elektroda, dan jarak antara katoda dan anoda. Daya hantar listrik berhubungan dengan pergerakan ion di dalam larutan. Ion yang mudah bergerak mempunyai daya hantar listrik yang besar (Ernö Pungor, 1962; A. Shah dkk., 2018).

Analisis konduktometri ditekankan pada pengukuran secara kuantitatif menggunakan alat yang disebut konduktometer. Prinsip kerja konduktometer adalah sel hantaran di celupkan ke dalam larutan yang mengandung ion positif dan negatif. Ion bergerak menuju sel hantaran sehingga menghasilkan sinyal listrik berupa hambatan listrik larutan. Hambatan listrik dikonversikan oleh alat menjadi hantaran listrik larutan. Jika konsentrasi analit semakin banyak dalam larutan, maka semakin besar nilai daya hantarnya karena semakin banyak ion-ion dari larutan yang menyentuh konduktor. Suhu juga berpegaruh terhadap konduktivitas larutan, apabila suhu larutan semakin tinggi maka semakin besar nilai daya hantarnya. Hal ini disebabkan oleh kondisi partikel saat berada di lingkungan suhu tinggi maka secara tidak langsung partikel tersebut mendapat tambahan energi dari luar. Oleh karena itu, energi kinetik yang dimiliki suatu partikel semakin tinggi (gerakan molekul semakin cepat) sehingga ion semakin banyak berinteraksi dengan elektroda (E. Pungor, 1965; A. Shah dkk., 2018; Lubert dan Kalcher, 2010).

Instrumentasi konduktometer adalah sebagai berikut (E. Pungor, 1965).

1. Sumber listrik

   Hantaran arus listrik DC melalui larutan merupakan proses faraday, yaitu oksidasi dan reduksi terjadi pada kedua elektroda.

2. Tahanan Jembatan

   Tahanan jembatan digunakan untuk mengukur tahanan larutan.

3. Sel

   Sel terdiri dari sepasang elektroda yang terbuat dari bahan yang sama. Pada umumnya elektroda terbuat dari logam platina untuk menambah efektivitas permukaan elektroda.

Aplikasi konduktometri antara lain digunakan untuk mengukur daya hantar larutan elektrolit (Kamcev dkk., 2018), penentuan kadar zat dalam sampel makanan atau minuman atau obat-obatan atau limbah (Carmona dkk., 2015), dan untuk menentukan kelarutan dan hasil kali kelarutan suatu elektrolit yang sulit larut (van Nispen dkk., 2010).

Gambar 2. 10 Intrumentasi konduktometer

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi Metode Analisis Kimia dan Laboratorium Fundamental, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data serta Laboratorium Pusat Kajian Halal, Gedung Research Center, Institut Teknologi Sepuluh Nopember mulai bulan Juni 2018-Juni 2020.

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas laboratorium, blender, ayakan mesh 180 µm, *furnace*, oven, neraca analitik, *waterbath*, kertas saring kasar, kertas saring halus, pH meter, *magnetic stirrer*, *hot plate stirrer*, dan botol semprot. Instrumen yang digunakan adalah SEM (Laboratorium Material dan Metalurgi, Teknik Metalurgi, FTI, ITS) dan Chart v 5.5.24 Edaq.

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah biji nyamplung dari desa Tamanan, Bondowoso, Jawa Timur; air laut dari Pantai Tugulufa, Tidore, Maluku Utara; HCl 37% (Smartlab); HNO_3 65% (Merck); H_3PO_4 85% (SAP); Etanol teknis 96%; karbon aktif komersil (SIP); akua demineralisasi (Bratachem); dan NaCl (SAP).

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Larutan HNO_3 25% untuk Aktivasi Karbon

HNO_3 65% sebanyak 384,60 mL diambil kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Selanjutnya diencerkan dengan akua demineralisasi hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen.

3.3.2 Preparasi Rekristalisasi NaCl

Akua demineralisasi dipanaskan hingga mendidih. Kemudian NaCl dimasukkan sedikit demi sedikit hingga larutan menjadi superjenuh. Larutan NaCl superjenuh didekantasi. Filtrat dibiarkan hingga tumbuh kristal pada suhu ruang dan disimpan di dalam kulkas selama 2 hari. Kristal NaCl yang telah terbentuk didekantasi dari filtratnya. Kristal dioven hingga kering, sedangkan filtrat diuapkan pada suhu 99,9° C hingga setengah volume filtrat dengan menggunakan *waterbath*. Kristal NaCl yang terbentuk dari proses penguapan didekantasi lalu dioven hingga kering. Rekristalisasi dilakukan dua kali pengulangan. Kristal NaCl hasil dua kali rekristalisasi dioven pada suhu 110° C hingga berat konstan (Geertman, 2000).

3.3.3 Sintesis Karbon Aktif

Buah nyamplung dikupas dan diambil bijinya. Biji nyamplung dicuci dengan akua demineralisasi, kemudian ditumbuk hingga berukuran 3-5 mm. Biji nyamplung dioven selama 6 jam pada suhu 100° C untuk menghilangkan kadar air. Prekursor KA divariasi menjadi dua yaitu:

3.3.2.1 Biji nyamplung

Biji nyamplung yang telah kering dipress menggunakan dongkrak manual. Proses ini diulangi hingga minyak dalam biji terekstrak sepenuhnya. Biji yang telah dipress kemudian dicuci menggunakan etanol. Selanjutnya biji diimpregnasi dengan variasi aktivator HCl 37%, H_3PO_4 85%, dan HNO_3 25% dengan perbandingan b/b 1:1 selama 24 jam. Setelah itu dikeringkan dengan oven selama 3-4 jam. Proses karbonisasi dilakukan selama 60 menit pada variasi suhu 500°, 700°, 900° C dalam furnace. KA biji-HCl-500, KA biji-HCl-700, KA biji-HCl-900, KA biji- H_3PO_4-500, KA biji- H_3PO_4-700, KA biji- H_3PO_4-900, KA biji-HNO_3-500, KA biji-HNO_3-700, dan KA biji-HNO_3-900 yang didapatkan dihilangkan abunya lalu dicuci dengan akua demineralisasi hingga pH netral. KA dihaluskan dengan blender kemudian diayak pada mesh 180 µm. KA kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110° C hingga berat konstan dan disimpan dalam desikator (Rattanapan dkk., 2017).

3.3.2.2 Arang biji nyamplung

Arang biji nyamplung didapatkan dengan membakar biji nyamplung. Arang biji diblender hingga menjadi serbuk sebelum dicuci dengan etanol. Kemudian diimpregnasi dengan variasi aktivator HNO_3 25%, HCl 37%, dan H_3PO_4 85% dengan perbandingan b/b 1:1 selama 24 jam dan dikeringkan dengan oven selama 3-4 jam. Proses karbonisasi dilakukan selama 60 menit pada variasi suhu 500°, 700°, 900° C dalam furnace. KA arang-HCl-500, KA arang-HCl-700, KA arang-HCl-900, KA arang-H_3PO_4-500, KA arang-H_3PO_4-700, KA arang-H_3PO_4-900, KA arang-HNO_3-500, KA arang -HNO_3-700, dan KA arang -HNO_3-900 yang didapatkan dihilangkan abunya lalu dicuci dengan akua demineralisasi hingga pH netral. KA kemudian diayak pada mesh 180 µm. KA kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110° C hingga berat konstan dan disimpan dalam desikator (Rattanapan dkk., 2017)

Seluruh karbon aktif (KA) hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mendapatkan data morfologi permukaan karbon aktif.

3.3.4 Pembuatan Larutan Induk NaCl 100 mg/mL dan Larutan Kerja NaCl 30 mg/mL

Larutan induk NaCl 100 mg/mL dibuat dengan cara menimbang NaCl sebanyak 10^5 mg, dilarutkan dengan akua demineralisasi dalam gelas beaker, kemudian dipindahkan dalam labu ukur 1000 mL, diencerkan sampai tanda batas, dan dihomogenkan. Larutan kerja NaCl 30 mg/mL dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk NaCl 100 mg/mL. Larutan induk diambil 300 mL dan diencerkan dengan akua demineralisasi dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas. Larutan dikocok hingga homogen.

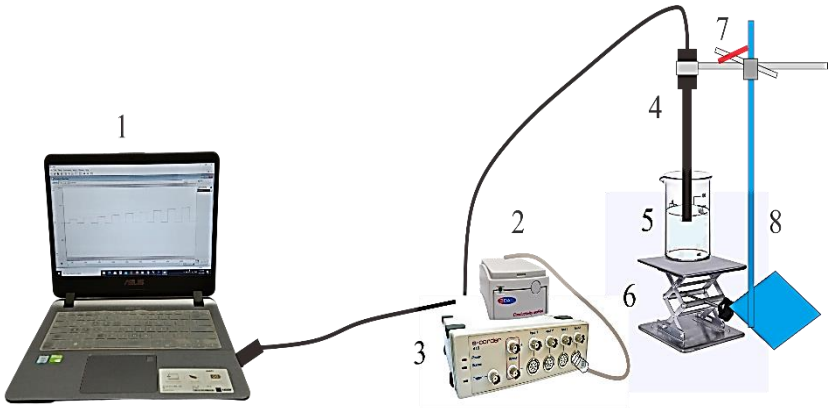
3.3.5 Pembuatan Larutan Standar untuk Kurva Kalibrasi

Larutan standar dipreparasi pada konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mg/mL. Larutan NaCl 5 mg/mL dibuat dengan cara mengambil 5 mL larutan induk NaCl 100 mg/mL dengan buret dan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL kemudian diencerkan dengan akua demineralisasi hingga

tanda batas dan dikocok sampai homogen. Langkah yang sama diulangi untuk larutan NaCl 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mg/mL dengan pengambilan larutan NaCl 100 mg/mL berturut-turut sebanyak 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mL (Wibowo dkk., 2017).

3.3.6 Uji Konduktometri

Larutan standar dimasukkan ke dalam sel konduktometer, kemudian dicelupkan elektroda dan diukur menggunakan Chart v 5.5.24 Edaq dengan pengaturan *scan sampling* 1000 mS/s sehingga didapat nilai konduktivitas (mS/cm) masing-masing larutan standar terhadap waktu. Kemudian kurva kalibrasi dikonversi menjadi kurva konduktivitas (mS/cm) terhadap konsentrasi. Pengukuran konduktivitas diamati selama satu menit setiap sampel. Perlakuan yang sama dilakukan pada sampel larutan NaCl setelah proses adsorpsi dalam optimasi parameter adsorpsi dan pengukuran hasil adsorpsi sampel air laut.



Keterangan:
1. Laptop
2. *Conductivity Isopod*
3. E-corder
4. Elektroda
5. Larutan sampel
6. *Scissor table*
7. Klem penjepit
8. Statif

Gambar 3. 1 Rangkaian konduktometer untuk uji konduktivitas

3.3.7 Optimasi Parameter Adsorpsi dengan Metode *Batch*

3.3.7.1 Optimasi massa adsorben

Larutan kerja NaCl 30 mg/mL sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL yang telah berisi KA Biji dengan variasi massa 0,5; 5; 10; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70 mg, diaduk menggunakan *stirrer magnetic* pada kecepatan 300 rpm selama 60 menit. Kemudian

larutan disaring dengan kertas saring halus. Filtrat diuji konduktivitas menggunakan konduktometer dengan tiga kali pengulangan dan dihitung konsentrasi setimbang (C_e) menggunakan persamaan regresi linier kurva standar kemudian ditentukan persentase *removal* dengan persamaan 2, sehingga didapatkan grafik persentase *removal* terhadap massa adsorben. Prosedur di atas diulangi untuk dibandingkan dengan hasil adsorpsi menggunakan KA Arang dan KA Komersil (Rattanapan dkk., 2017).

3.3.7.2 Optimasi waktu kontak

Larutan kerja NaCl 30 mg/mL sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL. Kemudian ditambahkan sebanyak 5 mg KA Biji sesuai massa adsorben optimum, diaduk menggunakan *stirrer magnetic* pada kecepatan 300 rpm dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, dan 240 menit. Kemudian larutan disaring dengan kertas saring halus. Filtrat diuji konduktivitas menggunakan konduktometer dengan tiga kali pengulangan dan dihitung konsentrasi setimbang (C_e) menggunakan persamaan regresi linier kurva standar serta ditentukan persentase *removal* dengan persamaan 2, sehingga didapatkan grafik persentase *removal* terhadap waktu kontak. Prosedur di atas diulangi untuk dibandingkan dengan hasil adsorpsi menggunakan KA Arang dan KA Komersil dengan massa adsorben optimum masing-masing adalah 0,5 mg dan 50 mg (Rattanapan dkk., 2017).

3.3.7.3 Optimasi suhu

Larutan kerja NaCl 30 mg/mL sebanyak 25 mL ditambahkan ke dalam gelas beaker 50 mL yang telah berisi 5 mg KA Biji sebanyak massa adsorben optimum, diaduk menggunakan *stirrer magnetic* pada kecepatan 300 rpm selama waktu kontak optimum 30 menit dengan variasi suhu 25°, 30°, 35°, 40°, dan 45° C. Kemudian larutan disaring dengan kertas saring halus. Filtrat diuji konduktivitas menggunakan konduktometer dengan tiga kali pengulangan dan dihitung konsentrasi setimbang (C_e) menggunakan persamaan regresi linier kurva standar serta ditentukan persentase *removal* persamaan 2, sehingga didapatkan grafik persentase

removal terhadap suhu. Prosedur di atas diulangi untuk dibandingkan dengan hasil adsorpsi menggunakan KA Arang dengan massa adsorben optimum 0,5 mg dan waktu kontak optimum 20 menit, serta KA Komersil dengan massa adsorben optimum 50 mg dan waktu kontak optimum 50 menit (Mekatel dkk., 2015).

3.3.7.4 Variasi konsentrasi awal adsorpsi

KA Biji ditimbang sebanyak massa adsorben optimum 5 mg dan dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL. Kemudian ditambahkan sebanyak 25 mL larutan NaCl 10 mg/mL, diaduk menggunakan *stirrer magnetic* pada kecepatan 300 rpm selama waktu kontak optimum 30 menit pada suhu 25° C, dan disaring dengan kertas saring halus. Filtrat diuji konduktivitas menggunakan konduktometer dengan tiga kali pengulangan. Perlakuan di atas diulangi untuk variasi konsentrasi awal adsorpsi 15, 20, 25, 30, 35, dan 40 mg/mL. Hasil pengukuran konduktivitas yang didapat dimasukkan dalam persamaan regresi linier kurva standar untuk mendapatkan nilai C_e dan persamaan 2 untuk menentukan persentase *removal*. Kemudian dibuat grafik persentase *removal* terhadap konsentrasi awal. Prosedur yang sama dilakukan untuk dibandingkan dengan hasil adsorpsi menggunakan KA Arang dan KA Komersil. Kondisi optimum KA Arang antara lain massa adsorben 0,5 mg, waktu kontak 20 menit, dan suhu 25° C. Sedangkan kondisi optimum KA Komersil antara lain massa adsorben 50 mg, waktu kontak 50 menit, dan suhu 30° C (Wibowo dkk., 2017).

3.3.8 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi (q_e) KA Biji dan KA Arang ditentukan dari hasil pengukuran konduktivitas menggunakan persamaan 1 sehingga dapat dibuat grafik q_e terhadap kondisi optimum masing-masing adsorben. Kemudian keduanya dibandingkan dengan q_e KA Komersil (Khadhri dkk., 2019).

3.3.9 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin

Isoterm adsorpsi menggambarkan hubungan antara jumlah zat terlarut (adsorbat) yang diadsorpsi pada adsorben (q_e) dengan konsentrasi adsorbat pada kondisi kesetimbangan (C_e) pada suhu konstan. Hasil penentuan variasi konsentrasi awal adsorpsi digunakan untuk membuat grafik isoterm. Pada model isoterm Langmuir, dibuat grafik konsentrasi setimbang per kapasitas adsorpsi (C_e/q_e) pada sumbu y terhadap konsentrasi setimbang (C_e) pada sumbu x, sehinga didapat nilai $\frac{1}{q_m k_L}$ sebagai intersep dan $\frac{1}{q_m}$ sebagai slope. Kemudian nilai R_L isoterm Langmuir ditenukan dengan rumus persamaan 4 (Khadhri dkk., 2019).

Model isoterm adsorpsi Freundlich ditentukan dengan mensubstitusi nilai kapasitas adsorpsi dari perhitungan persamaan 1 ke dalam persamaan 6 sehingga didapat grafik log q_e sebagai sumbu y terhadap log C_e sebagai sumbu x dengan $\frac{1}{n}$ sebagai nilai slope dan log K_f sebagai intersep. Model isoterm adsorpsi Temkin ditentukan menggunakan persamaan 7 didapat grafik q_e sebagai sumbu y terhadap ln C_e sebagai sumbu x dengan nilai slope $\frac{RT}{b_T}$ dan $\frac{RT}{b_T}$ ln A_T sebagai intersep (Khadhri dkk., 2019).

Ketiga hasil perhitungan model isoterm adsorpsi di atas dapat dilihat nilai R^2 yang mendekati nilai 1 maka menjadi penentu karakteristik model isoterm adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil (Khadhri dkk., 2019).

3.3.10 Uji Adsorpsi untuk Sampel Air Laut

KA Biji dimasukkan sebanyak massa adsorben optimum 5 mg dalam gelas beaker 50 mL dan ditambahkan sampel air laut sebanyak 25 mL. Kemudian diaduk menggunakan *stirrer magnetic* dengan kecepatan 300 rpm selama waktu kontak optimum 30 menit pada suhu 25° C. Filtrat diuji konduktivitas menggunakan konduktometer dengan tiga kali pengulangan dan dihitung konsentrasi setimbang (C_e) menggunakan persamaan regresi linier kurva standar untuk menentukan persentase *removal* dan kapasitas adsorpsi (q_e) dengan persamaan 1 dan 2. Prosedur di atas diulangi untuk dibandingkan dengan hasil adsorpsi menggunakan KA Arang dan KA Komersil (Wibowo dkk., 2017).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis karbon aktif dari biji dan arang nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). KA yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan SEM. KA Biji dan KA Arang digunakan untuk adsorpsi NaCl dengan metode *Batch* untuk analisis nilai kapasitas adsorpsi serta karakteristik model isoterm adsorpsinya dan dibandingkan dengan KA Komersil. Adsorpsi dengan kondisi optimum KA Biji dan KA Arang diaplikasikan dengan sampel air laut dan dibandingkan dengan KA Komersil.

4.1. Hasil Sintesis Karbon Aktif

Biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) sebagai bahan baku awal dipreparasi dengan tahap yang berbeda untuk menjadi prekursor karbon aktif. Prekursor ini diantaranya biji nyamplung dan arang biji nyamplung. Tahap preparasi awal dibedakan berdasarkan metode penghilangan minyak. Minyak perlu dihilangkan terlebih dahulu karena merupakan kandungan terbesar (63,1 % b/b) dari biji nyamplung yang menutup pori selain hidrogen, getah, mineral, dan senyawa organik lainnya. Keberadaan minyak juga dapat menyebabkan dekomposisi senyawa organik dalam jumlah besar selama proses karbonasi menggunakan furnace sehingga berpengaruh terhadap rendemen karbon aktif yang dihasilkan (Chandra dkk., 2013). Jika kandungan minyak semakin banyak maka rendemen akan semakin kecil dan sampel dapat meluap dari wadahnya. Oleh karena itu, minyak harus dihilangkan terlebih dahulu sebelum prekursor karbon diaktivasi.

Preparasi KA dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), minyak dihilangkan secara mekanik dan kimiawi. Minyak dihilangkan dengan ekstraksi secara mekanik dari biji yang telah kering menggunakan mesin press manual sehingga didapat hasil samping *crude oil* yang bercampur dengan getah dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). *Crude oil* berwarna hijau kekuningan dan getah berwarna coklat. Proses selanjutnya dilakukan pencucian residu biji dengan menggunakan etanol (ekstraksi kimiawi) untuk menghilangkan sisa minyak dan

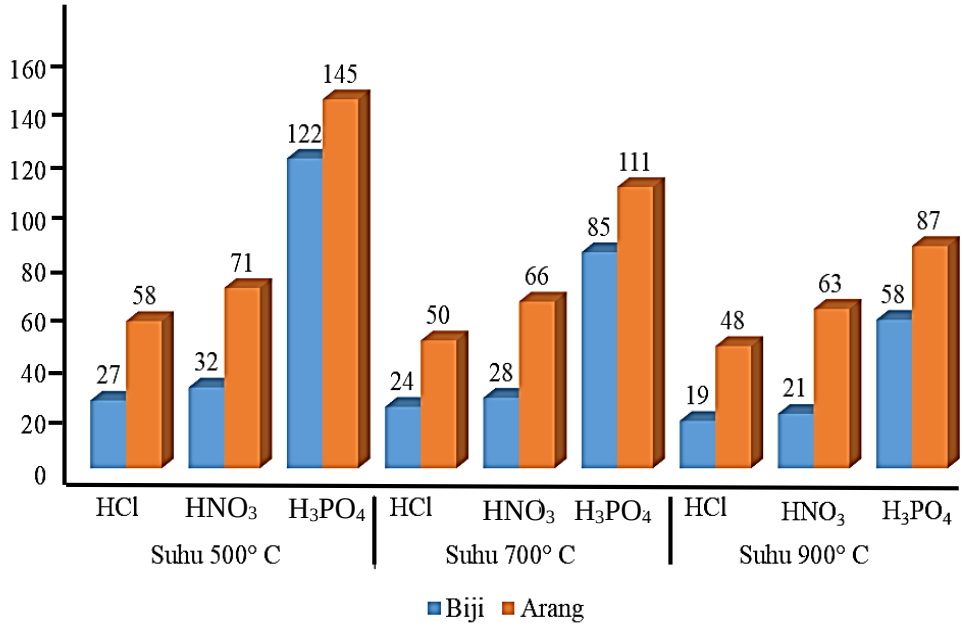
pengotor yang ada. Pencucian dilakukan hingga filtrat pada fasa etanol menjadi tidak berwarna. Filtrat dan residu dipisahkan secara dekantasi. Residu dikeringkan dengan oven pada suhu 100° C. Selanjutnya, residu biji diimpregnasi dengan variasi aktivator HNO_3 25% (Rattanapan dkk., 2017), HCl 37% (Chiu dan Lin, 2019), dan H_3PO_4 85% (García-Mateos dkk., 2015) dengan rasio prekursor:aktivator adalah 1:1 b/b selama 24 jam, dikeringkan dengan oven, dan dikarbonasi menggunakan furnace selama 60 menit pada variasi suhu 500°, 700°, 900° C. Karbon aktif yang didapatkan kemudian dipisahkan dengan abunya agar tidak menghalangi pori. Karbon aktif dinetralkan menggunakan akua demineralisasi. Proses dilanjutkan dengan menggiling karbon aktif dan diayak pada mesh ukuran 180 µm. Karbon aktif dioven pada suhu 110° C hingga berat konstan dan disimpan dalam desikator.

Preparasi KA dari prekursor yang kedua yakni arang biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). Arang biji nyamplung disintesis dari pembakaran biji nyamplung yang sudah kering. Tahap ini dapat juga disebut tahap karbonasi pertama dengan tujuan untuk mendegradasi minyak dan senyawa volatil yang terkandung dalam biji. Pada tahap ini terjadi proses dehidrasi dan perubahan bahan organik menjadi karbon dan dekomposisi tar sehingga pori-pori karbon menjadi lebih besar. Arang atau karbon yang didapat kemudian diblender dan dilanjutkan ekstraksi minyak secara kimiawi dengan etanol untuk mencuci sisa minyak dan pengotor yang terdapat pada arang. Kemudian arang dikeringkan dengan oven untuk penguapan etanol. Arang yang sudah kering diimpregnasi HNO_3 25% (Rattanapan dkk., 2017) dengan perbandingan prekursor: aktivator 1:1 b/b selama 24 jam. Selanjutnya arang dioven hingga kering sebelum dikarbonasi dengan furnace pada suhu 500 °C selama 60 menit. Perlakuan tersebut diulangi menggunakan aktivator HCl 37% (Chiu dan Lin, 2019) dan H_3PO_4 85% (García-Mateos dkk., 2015) dan variasi suhu karbonasi 700° dan 900° C. KA yang dihasilkan dinetralkan dengan akua demineralisasi. KA Arang kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110° C hingga berat konstan dan disimpan dalam desikator.

Karbon aktif dengan beberapa aktivator dan suhu karbonasi dapat dilihat persentase rendemen pada tabel berikut.

Tabel 4. 1 Tabel Rendemen Hasil Sintesis Karbon Aktif

Material	Aktivator	Suhu (°C)	Rendemen (%)
Biji	HCl 37%	500	27
		700	21
		900	19
	HNO_3 25%	500	32
		700	28
		900	21
	H_3PO_4 85%	500	122
		700	85
		900	58
Arang	HCl 37%	500	58
		700	50
		900	48
	HNO_3 25%	500	71
		700	66
		900	63
	H_3PO_4 85%	500	145
		700	111
		900	87



Gambar 4. 1 Grafik persentase rendemen KA Biji dan KA Arang pada suhu 500°, 700°, 900° C dengan aktivator HCl 37%, HNO_3 25%, dan H_3PO_4 85%

Tabel 4. 2 Karakteristik Fisik Karbon Aktif Hasil Sintesis

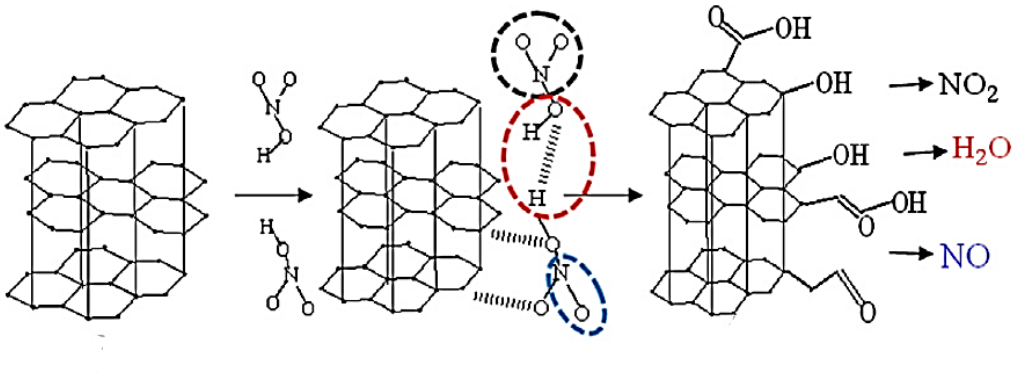
Bahan baku	Aktivator	Karakteristik	
		Intensitas warna	Bentuk fisik
Biji	HCl	Hitam +	Butiran
	HNO_3	Hitam ++	Bongkahan memadat dengan adanya kilau biru dan kuning seperti logam
	H_3PO_4	Hitam ++	Mengembang seperti kue muffin dan berminyak
Arang	HCl	Hitam +	Serbuk
	HNO_3	Hitam ++	Serbuk yang beragregasi dan kompak
	H_3PO_4	Hitam ++	Serbuk yang mengembang seperti muffin dan berminyak

Keterangan:
+ : hitam
++: hitam pekat

Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 menunjukkan semakin tingginya suhu karbonasi maka persentase rendemen akan semakin kecil akibat semakin banyaknya senyawa volatil yang hilang teroksidasi (Paputungan dan Iyabu, 2018). Hal ini menunjukkan suhu berpengaruh terhadap proses oksidasi permukaan karbon aktif, sehingga dapat menambah porositas karbon. Penggunaan asam sebagai agen aktivasi bertujuan untuk mencegah terjadinya *degumming* pada residu biji. *Degumming* akan membuat prekursor karbon menggumpal dan terjadi kemungkinan penyumbatan pori oleh getah biji nyamplung pada karbon aktif yang dihasilkan. Tahap aktivasi dilakukan dengan impregnasi prekursor KA dengan asam untuk menarik gugus-gugus air yang terjebak dalam rongga-rongga biji atau arang dan menyisipkan gugus-gugus aktif dalam struktur prekursor karbon, sehingga prekursor mengalami *swelling*. Prekursor karbon didekomposisi menggunakan furnace yang merupakan tahap karbonisasi sekaligus terjadi aktivasi agar porositas karbon meningkat. Aktivator menembus celah atau pori-pori di antara pelat-pelat datar karbon yang

berbentuk heksagonal dan menyebar di dalam celah atau pori-pori tersebut, sehingga terjadi pengikisan pada permukaan lembaran pelat karbon dan terbentuk pori baru. Aktivator juga berperan untuk membantu dekomposisi senyawa organik, membatasi pembentukan tar, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi (Paputungan dan Iyabu, 2018).

Tabel 4.1 menunjukkan rendemen KA dengan aktivator HCl 37%< HNO_3 25% < H_3PO_4 85% dan Tabel 4.2 menunjukkan karakteristik KA secara fisik dengan aktivator HNO_3 berwarna hitam yang lebih pekat dibandingkan dengan KA-HCl. KA-H_3PO_4 masih mengandung minyak sehingga belum dapat dijadikan adsorben. Warna hitam pada karbon menunjukkan kualitas karbon. Jika semakin pekat warnanya secara fisik maka kualitasnya akan semakin baik. Ciri fisik dan banyaknya rendemen menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan KA. KA Biji dan KA Arang yang dihasilkan dengan HNO_3 25% sebagai agen aktivasi dipilih berdasarkan rendemen yang cukup baik dan ciri fisik dengan warna hitam pekat dan tidak berminyak. Data hasil karakterisasi juga akan menjadi data pendukung dalam pemilihan HNO_3 sebagai aktivator dan suhu 900° C sebagai suhu karbonasi. Mekanisme aktivasi HNO_3 pada karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Mekanisme aktivasi karbon biji dan arang nyamplung dengan HNO_3 (Yao dkk., 2016)

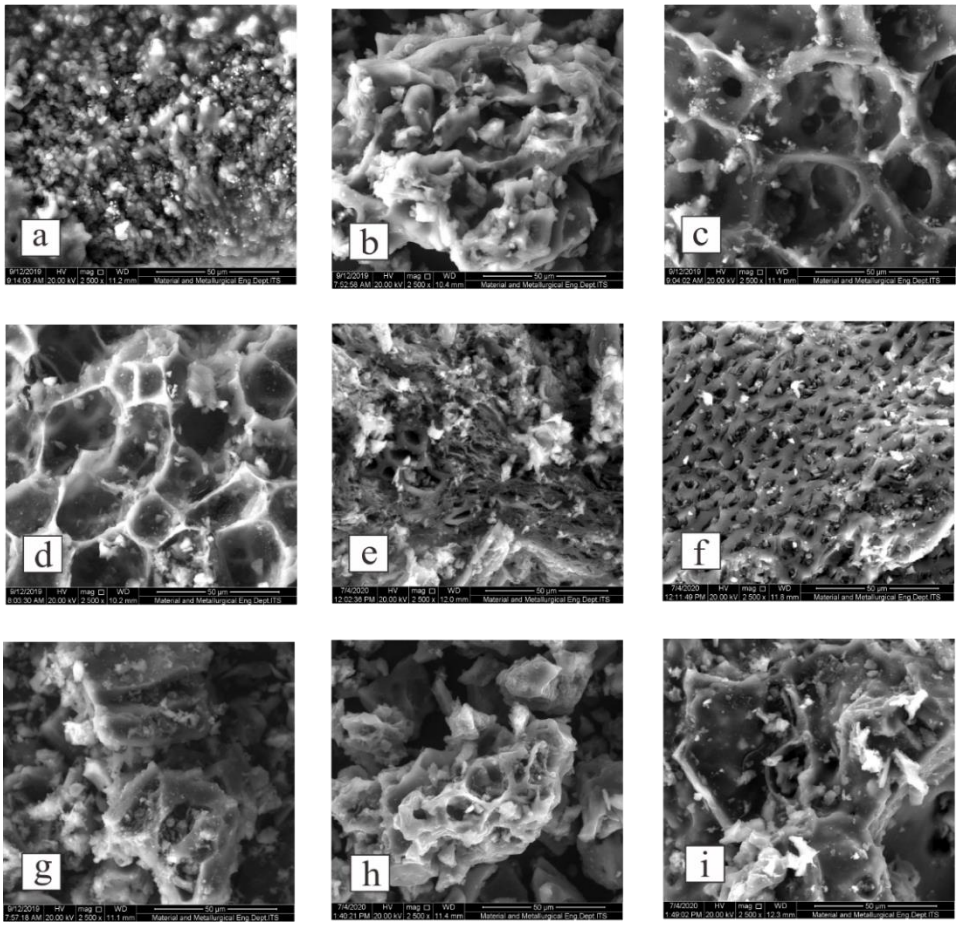
4.2. Karakterisasi Karbon aktif dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

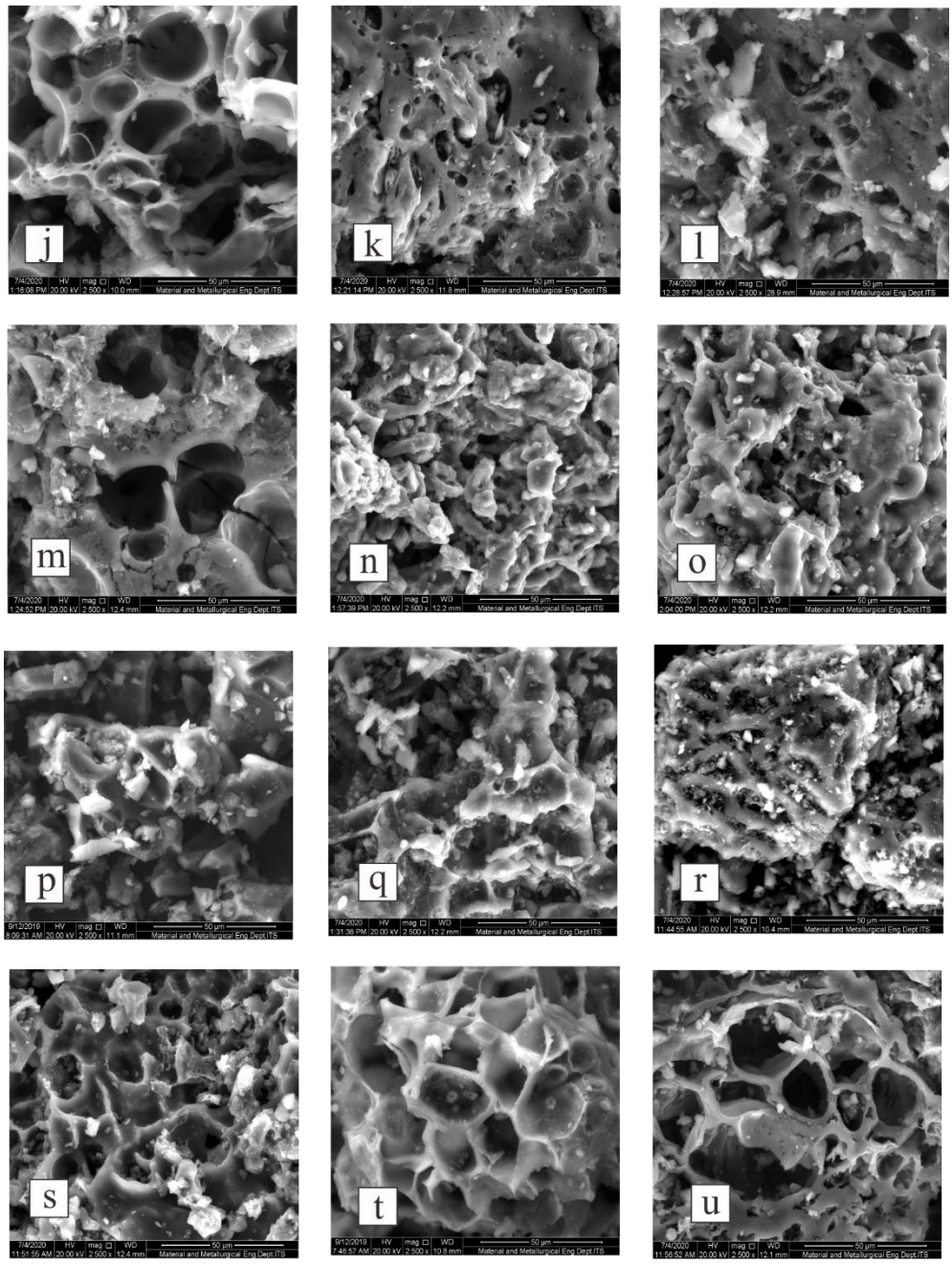
Morfologi permukaan dan bentuk pori karbon aktif dapat dianalisis menggunakan SEM. Pada Gambar 4.3 menunjukkan bentuk permukaan struktur berpori dari material. Biji nyamplung sebagai prekursor KA memiliki permukaan yang halus dan sedikit pori alami (Gambar 4.3a). Morfologi permukaan arang nyamplung sebagai prekursor KA kedua, Gambar 4.3b, tampak berbeda dengan biji nyamplung sebagai bahan baku awalnya akibat adanya karbonasi melalui proses pembakaran. Morfologi permukaannya menjadi lebih kasar karena terjadi pembentukan pori dan retakan baru (Fadhil, 2017).

Hasil proses aktivasi biji dengan HCl pada beberapa suhu karbonasi, KA biji-HCl-500, KA biji-HCl-700, dan KA biji-HCl-900, tampak memiliki bentuk pori yang berbeda. KA biji-HCl-500 memiliki dinding pori yang rapuh seperti pada Gambar 4.3d. Permukaan KA biji-HCl tampak memiliki pori yang semakin homogen seiring dengan tingginya suhu seperti pada Gambar 4.3e dan 4.3f. Hasil aktivasi arang dengan HCl pada suhu 500° C, KA arang-HCl-500, tampak pori yang tidak sepenuhnya terbentuk pada permukaan akibat adanya aglomerasi selama proses karbonasi dan aktivasi seperti pada Gambar 4.3g. KA arang-HCl-700 dan KA arang-HCl-900 (Gambar 4.3h dan 4.3i) tampak agregat material karbon menutupi pori seiring dengan semakin tingginya suhu (Okman dkk., 2014; Andas dan Asmidar Ab. Satar, 2018).

Morfologi KA biji-H_3PO_4-500 (Gambar 4.3j) memiliki jaringan pori heterogen yang lebih rapi dengan dinding pori yang tidak rapuh apabila dibandingkan dengan biji yang diaktivas dengan HCl. Karbonasi dan aktivasi pada suhu yang lebih tinggi, KA biji-H_3PO_4-700 dan KA biji-H_3PO_4-900 tidak memiliki perbedaan penampakan secara signifikan. *Inner* pori tampak memiliki cekungan rongga yang lebih besar dan dalam seiring dengan tingginya suhu (Gambar 4.3k dan 4.3l). Gambar 4.4m menunjukkan permukaan KA arang-H_3PO_4-500 tampak memiliki pori bertingkat dalam setiap hirarki permukaan KA. Pori KA arang-H_3PO_4-700 dan KA arang-H_3PO_4-900 tampak terblokir oleh tar dan material karbon yang tak beraturan (*disorganized carbon*) yang bereaksi dalam lembaran pelat KA, sehingga pori yang terlihat pada morfologinya tampak sedikit (Gambar 4.3n dan 4.3o) (Andas dan Asmidar Ab. Satar, 2018; Ogungbenro dkk., 2018).

Aktivasi biji menggunakan HNO_3 pada Gambar 4.3p, 4.3q, dan 4.3r, KA biji-HNO_3-500, KA biji-HNO_3-700, dan KA biji-HNO_3-900 memiliki perubahan morfologi yang tidak jauh berbeda dari prekursornya. Permukaannya tampak memiliki pori baru. Gambar 4.3q dan 4.3r tampak adanya perubahan besar pori tetapi tertutup oleh karbon bebas dalam proses interkalasi seiring dengan meningkatnya suhu karbonasi. Gambar 4.3s, 4.3t, dan 4.3u menunjukkan KA arang-HNO_3-500, KA arang-HNO_3-700, dan KA arang-HNO_3-900. Peningkatan suhu karbonasi tampak meningkatkan besar pori pada permukaan karbon (Andas dan Asmidar Ab. Satar, 2018; Ogungbenro dkk., 2018; Fadhil, 2017). Adanya perubahan pori yang semakin besar dengan seiring kenaikan suhu dengan aktivator HNO_3 menjadikan material ini diuji adsorpsi pada tahap selanjutnya.





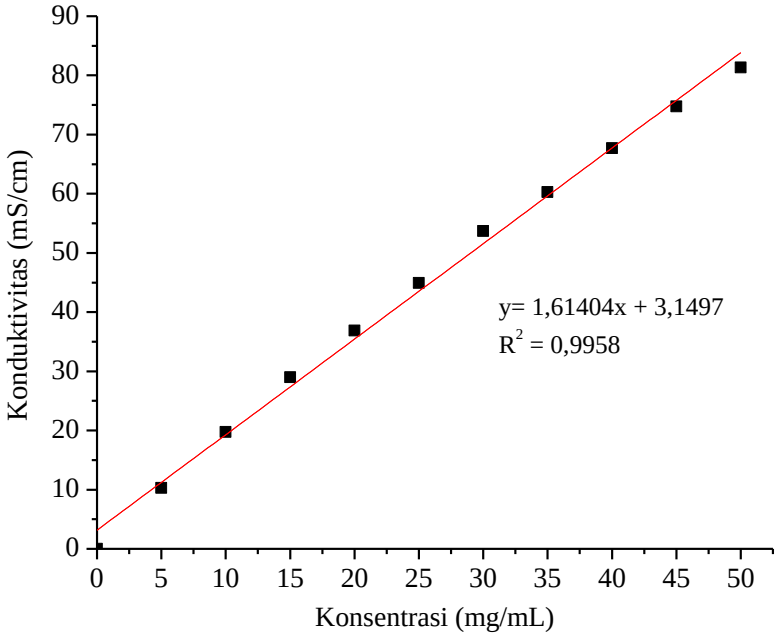
Gambar 4. 3 Morfologi SEM biji nyamplung (a) arang nyamplung (b) KA komersil (c) KA biji-HCl-500 (d) KA biji-HCl-700 (e) KA biji-HCl-900 (f) KA arang-HCl-500 (g) KA arang-HCl-700 (h) KA arang-HCl-900 (i) KA biji-H_3PO_4-500 (j) KA biji-H_3PO_4-700 (k) KA biji-H_3PO_4-900 (l) KA arang- H_3PO_4-500 (m) KA arang- H_3PO_4-700 (n) KA arang- H_3PO_4-900 (o) KA biji- HNO_3-500 (p) KA biji- HNO_3-700 (q) KA biji-HNO_3-900 (r) KA arang- HNO_3-500 (s) KA arang- HNO_3-700 (t) KA arang- HNO_3-900 (u)

4.3. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan NaCl

Kurva kalibrasi dibuat menggunakan hasil pengukuran konduktivitas larutan standar dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mg/mL. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan lima kali pengulangan dengan akua demineralisasi sebagai blanko. Nilai konduktivitas semakin tinggi seiring dengan semakin naiknya konsentrasi. Hal ini disebabkan semakin banyaknya ion Na^+ dan Cl^- pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan daya hantar listrik larutan seperti pada Tabel 4.3. Konduktivitas yang didapat dari hasil pengukuran berupa grafik konduktivitas terhadap waktu dengan *scan sampling* 1000 mS/s seperti pada Gambar Lampiran 3.1 dan dikonversi menjadi grafik konduktivitas terhadap konsentrasi larutan standar seperti pada Gambar 4.4. Persamaan regresi linier dari grafik tersebut digunakan untuk menentukan konsentrasi akhir larutan pada kondisi setimbang (C_e) setelah proses adsorpsi dengan mensubstitusi nilai y sebagai konduktivitas, sehingga didapat nilai C_e sebagai nilai x.

Tabel 4. 3 Data Konduktivitas Larutan Standar NaCl

Konsentrasi (mg/mL)	**Konduktivitas (mS/cm)**
0	0,00
5	10,29
10	19,72
15	28,99
20	36,87
25	44,92
30	53,68
35	60,27
40	67,70
45	74,73
50	81,34



Gambar 4. 4 Kurva kalibrasi larutan NaCl

4.4. Hasil Uji Adsorpsi dengan Metode *Batch*

4.4.1 Pengaruh massa adsorben terhadap uji adsorpsi larutan NaCl

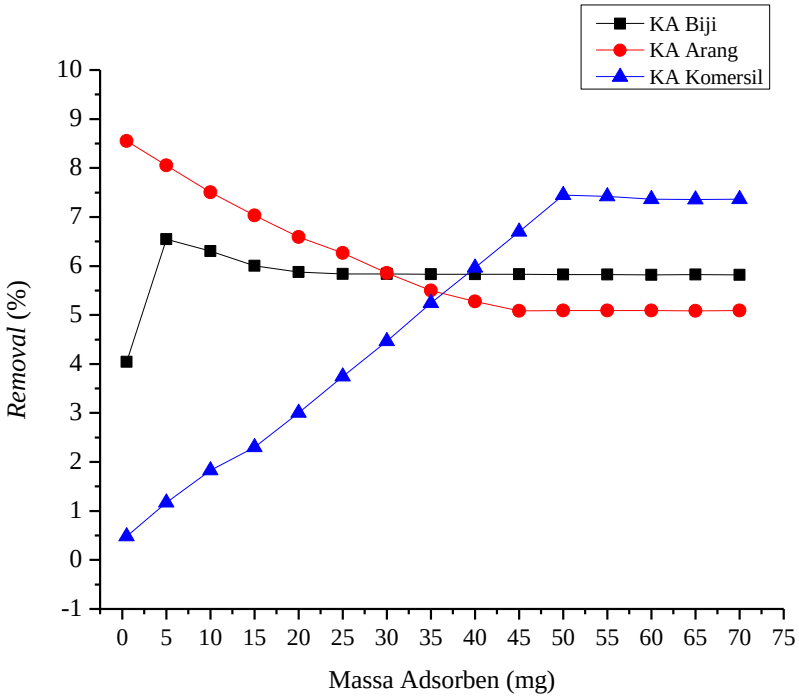
Massa adsorben merupakan parameter yang penting pada proses adsorpsi. Massa adsorben diamati dari Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa KA Biji dan KA Arang lebih baik untuk persentase *removal* NaCl dari pada KA Komersil. Massa adsorben masing-masing diuji pada rentang 0,5–70 mg dalam 25,0 mL larutan NaCl 30 mg/mL. Pada KA Biji terjadi peningkatan persentase *removal* NaCl dalam rentang massa adsorben 0,5-5 mg/mL dari 4,04 % ke 6,55 %. Kemudian menurun hingga konstan mulai massa adsorben 10 mg. Massa adsorben optimum didapat pada 5 mg dengan persentase *removal* tertinggi 6,55%.

Massa adsorben KA Arang mengalami penurunan persentase *removal* NaCl dalam rentang 0,5-40 mg dari 8,55 % ke 5,28 % dan konstan pada massa adsorben di atas 40 mg. Massa adsorben optimum KA Arang sebesar 0,5 mg dengan persentase *removal* NaCl 8,55 %. KA Biji dan KA Arang dibandingkan dengan KA Komersil yang mengalami peningkatan *removal* NaCl dari kisaran rentang 0,5-50 mg. Massa adsorben lebih dari 50 mg terjadi penurunan *removal*

NaCl, sehingga massa adsorben optimum pada 50 mg dengan persentase *removal* NaCl sebesar 7,45 %. Peningkatan *removal* NaCl terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara NaCl dengan sisi aktif KA. Apabila sisi aktif tersebut jenuh oleh NaCl maka akan terjadi penurunan *removal* adsorbat (Roy dkk., 2017; Mekatel dkk., 2015). Persentase *removal* NaCl oleh KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil menunjukkan nilai persentase *removal* yang kecil. Persentase *removal* idealnya apabila diperoleh jumlah ion Na^+ yang diserap oleh adsorben mendekati nilai 100% dalam penelitian ini.

Tabel 4. 4 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Massa adsorben Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Massa adsorben (mg)	***Removal* (%)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
0,5	4,04	8,55	0,48
5	6,55	8,05	1,17
10	6,30	7,50	1,83
15	6,01	7,03	2,30
20	5,87	6,59	3,00
25	5,84	6,27	3,75
30	5,84	5,86	4,47
35	5,83	5,50	5,24
40	5,83	5,28	5,97
45	5,83	5,09	6,70
50	5,82	5,09	7,45
55	5,82	5,09	7,42
60	5,82	5,09	7,36
65	5,82	5,09	7,36
70	5,82	5,09	7,36



Gambar 4. 5 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

4.4.2 Pengaruh waktu kontak terhadap uji adsorpsi larutan NaCl

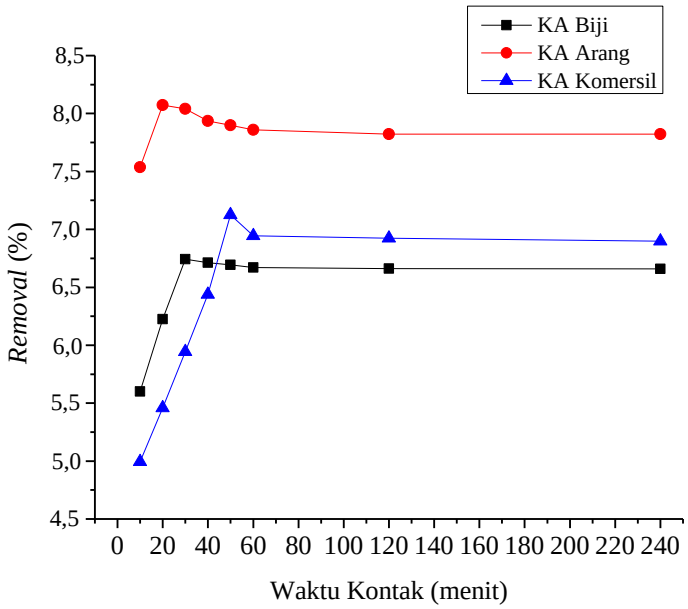
Waktu kontak juga merupakan salah satu parameter yang penting dalam adsorpsi. Waktu kontak optimum digunakan untuk mengetahui lamanya waktu yang optimum dibutuhkan KA untuk kontak dengan adsorbat hingga sisi aktifnya jenuh. Optimasi waktu kontak dilakukan pada rentang waktu 10-240 menit dalam 25,0 mL larutan NaCl 30 mg/mL dengan massa adsorben optimum yang telah didapat sebelumnya masing-masing untuk KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil adalah 5; 0,5; 50 mg.

Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan kenaikan *removal* NaCl terjadi pada rentang waktu kontak 10-30 menit oleh KA Biji dan konstan hingga waktu kontak 240 menit. Waktu kontak optimum didapat pada 30 menit dengan persentase *removal* NaCl sebesar 6,74 %. Waktu kontak KA Arang menunjukkan kenaikan persentase *removal* NaCl pada 10-20 menit, lalu menurun seiring dengan kenaikan waktu kontak. Waktu kontak optimum KA Arang yaitu 20 menit dengan persentase *removal* NaCl sebesar 8,07 %. Waktu kontak mengalami kenaikan *removal* NaCl dari rentang 10-50 menit dan mulai

dari 60 menit mengalami penurunan. Tabel 4.5 menunjukkan waktu kontak optimum KA Komersil pada 50 menit dengan persentase *removal* NaCl sebesar 7,13 %. Adanya kenaikan *removal* NaCl menunjukkan adanya NaCl yang menempel pada KA. Jika waktu kontak antara KA dan NaCl semakin lama, maka akan terjadi penurunan laju transfer massa dan permukaan KA jenuh oleh NaCl, sehingga terjadi penurunan *removal* NaCl (Yao dkk., 2016; Mekatel dkk., 2015; Kumar dkk., 2019). KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil menunjukkan persentase *removal* yang kecil pada variasi waktu kontak Persentase *removal* idealnya apabila diperoleh jumlah ion Na^+ yang diserap oleh adsorben mendekati nilai 100% dalam penelitian ini.

Tabel 4. 5 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Waktu Kontak Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Waktu Kontak (menit)	***Removal* (%)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
10	5,60	7,54	4,99
20	6,22	8,07	5,46
30	6,74	8,04	5,94
40	6,71	7,94	6,44
50	6,69	7,90	7,13
60	6,67	7,86	6,94
120	6,66	7,82	6,92
240	6,66	7,82	6,90



Gambar 4. 6 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi waktu kontak hasil uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

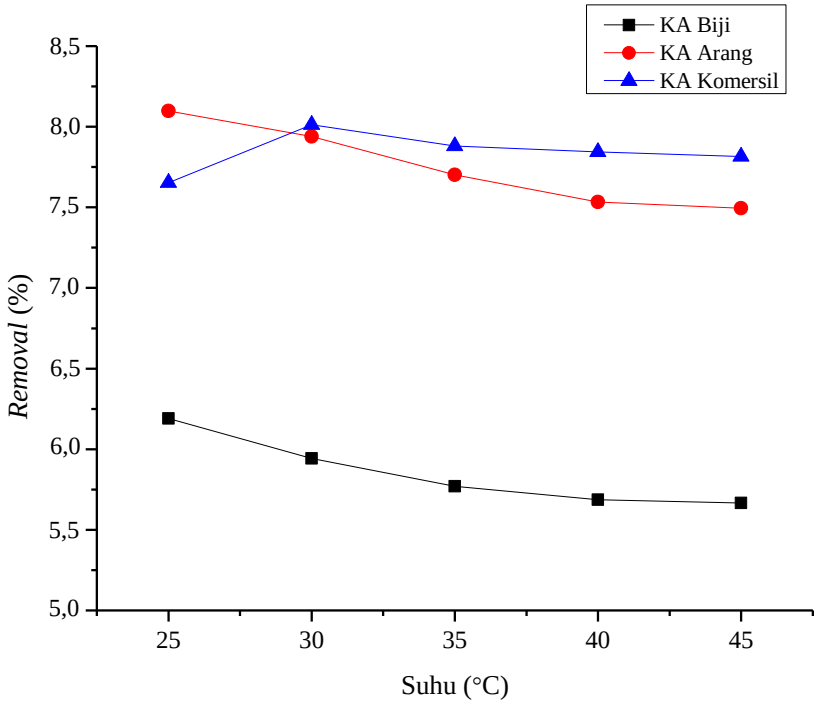
4.4.3 Pengaruh suhu terhadap uji adsorpsi larutan NaCl

Pengaruh suhu terhadap proses adsorpsi dilakukan pada variasi suhu 25°, 30°, 35°, 40°, dan 45° C dengan kondisi operasi massa adsorben dan waktu kontak optimum dalam 25,0 mL larutan NaCl 30 mg/mL. Tabel 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan adanya penurunan persentase *removal* NaCl oleh KA Biji dan KA Arang seiring dengan naiknya suhu. Proses adsorpsi KA Biji dan KA Arang optimum pada suhu 25°C dengan persentase *removal* masing-masing 6,19 dan 8,10 %. KA Komersil sebagai pembanding menunjukkan kenaikan persentase *removal* dari suhu 25° C hingga 30° C, kemudian mengalami penurunan seiring dengan naiknya suhu (35°-45° C). Suhu optimum dengan adsorben KA Komersil adalah 30° C dengan persentase *removal* 8,01 %.

Kenaikan suhu membuat laju difusi NaCl menjadi semakin tinggi sebagai akibat penurunan viskositas larutan. Hal ini menyebabkan semakin banyak NaCl yang terakumulasi pada permukaan KA Komersil pada suhu 25°-30° C. Sisi aktif KA mulai jenuh pada suhu di atas 30° C dan laju difusi NaCl semakin tinggi sehingga menyebabkan penurunan jumlah NaCl yang terserap pada sisi aktif KA yang ditunjukkan dengan penurunan persentase *removal*. Sama halnya dengan yang terjadi pada KA Biji dan KA Arang. Penurunan persentase *removal* terjadi seiring dengan kenaikan suhu karena laju difusi NaCl yang semakin tinggi menyebabkan gaya tarik menarik NaCl dengan sisi aktif KA Biji dan KA Arang lebih kecil dibandingkan dengan larutan (Mekatel dkk., 2015; Yao dkk., 2016; Roy dkk., 2017; Lin, 1985). Persentase *removal* NaCl oleh KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil menunjukkan nilai persentase *removal* yang kecil. Persentase *removal* idealnya apabila diperoleh jumlah ion Na^+ yang diserap oleh adsorben mendekati nilai 100% dalam penelitian ini.

Tabel 4. 6 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Suhu untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Suhu (°C)	**Removal (%)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
25	6,19	8,10	7,65
30	5,94	7,94	8,01
35	5,77	7,70	7,88
40	5,69	7,53	7,84
45	5,67	7,49	7,82



Gambar 4. 7 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi suhu uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

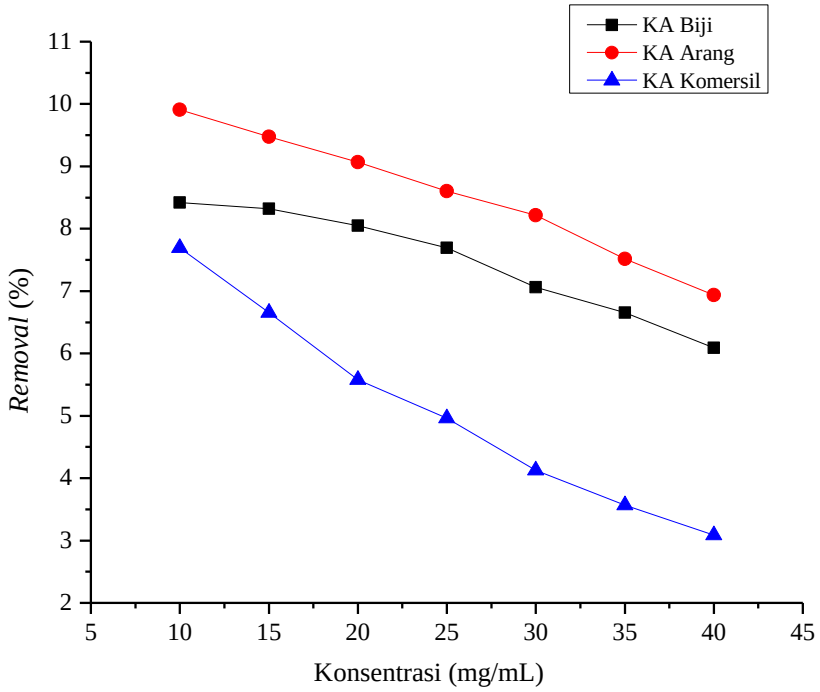
4.4.4 Pengaruh konsentrasi awal terhadap uji adsorpsi larutan NaCl

Adsorpsi dengan adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil diamati pada variasi konsentrasi awal 10, 15, 20, 25, 30, 35, dan 40 mg/mL seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.8. Hasilnya menunjukkan bahwa persentase *removal* NaCl mengalami penurunan dari 8,42 % hingga 6,09 % seiring dengan kenaikan konsentrasi awal 1–4 % Begitu juga dengan persentase *removal* NaCl pada KA Arang yang mengalami penurunan dari 9,91 % hingga 6,94 % seiring dengan kenaikan konsentrasi awal. KA Komersil mengalami penurunan persentase *removal* NaCl 7,69 % hingga 3,09 %. Penurunan persentase *removal* seiring dengan peningkatan konsentrasi awal disebabkan oleh ketersediaan sisi aktif KA lebih banyak daripada kadar zat terlarut (NaCl) dalam larutan pada konsentrasi awal yang rendah dibandingkan dengan konsentrasi awal yang tinggi. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan adanya peningkatan migrasi NaCl ke permukaan KA seiring dengan peningkatan konsentrasi (Jain dan Gogate, 2018b; Mekatel dkk., 2015; Yao dkk., 2016).

Persentase *removal* NaCl oleh KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil menunjukkan nilai persentase *removal* yang kecil. Persentase *removal* idealnya apabila diperoleh jumlah ion Na^+ yang diserap oleh adsorben mendekati nilai 100% dalam penelitian ini.

Tabel 4. 7 Persentase *Removal* NaCl pada Variasi Konsentrasi Awal Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Konsentrasi Awal (mg/mL)	***Removal* (%)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
10	8,42	9,91	7,69
15	8,32	9,47	6,66
20	8,05	9,07	5,58
25	7,69	8,60	4,96
30	7,06	8,22	4,12
35	6,65	7,51	3,57
40	6,09	6,94	3,09



Gambar 4. 8 Grafik persentase *removal* NaCl pada variasi konsentrasi awal dari hasil adsorpsi dengan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

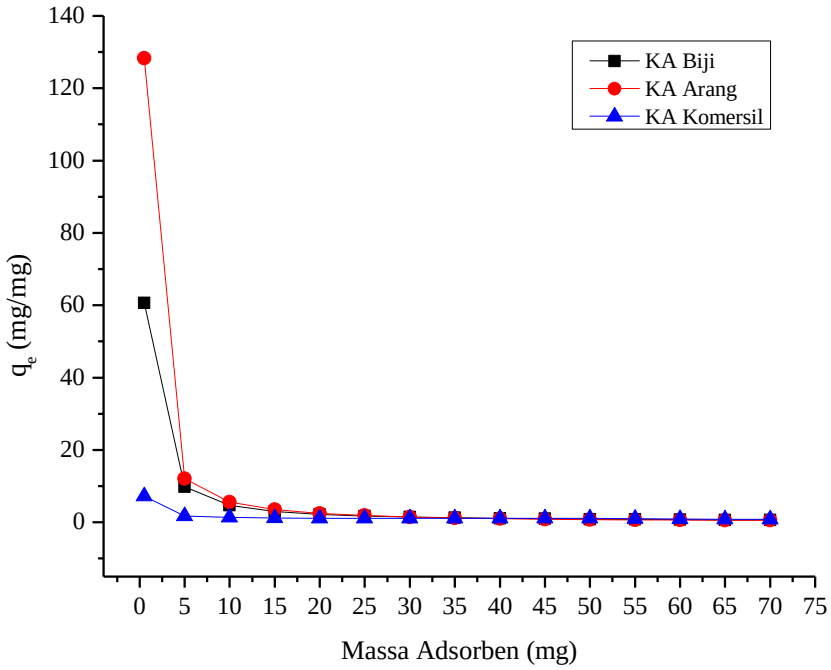
4.5. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang (q_e) yang menunjukkan jumlah NaCl yang teradsorpi pada permukaan KA dapat ditentukan dari persamaan 1

melalui data hasil pengukuran konduktometri. Kapasitas adsorpsi optimum KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil dilihat dari operasi kondisi optimum parameter adsorpsi yang telah dilakukan, antara lain massa adsorben, waktu kontak, suhu, dan konsentrasi awal. Kapasitas adsorpsi dari variasi massa adsorben mengalami penurunan seiring dengan naiknya massa adsorben, baik KA Biji, KA Arang, maupun KA Komersil. Tren ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Mekatel dkk. (2015), Gebrekidan dkk. (2015), dan Wendimu dkk. (2017) yang menunjukkan penurunan kapasitas adsorpsi seiring dengan naiknya massa adsorben (Mekatel dkk., 2015; Gebrekidan dkk., 2015; Wendimu dkk., 2017). Pola tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah sisi aktif dengan adanya peningkatan besarnya massa adsorben saat jumlah NaCl tetap dalam larutan. Interferensi ikatan dari sisi aktif KA juga berpengaruh terhadap banyaknya adsorbat yang teradsorpsi (Mekatel dkk., 2015; Gebrekidan dkk., 2015). Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 q_e dari massa adsorben optimum KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil masing-masing antara lain, 9,82; 128,30; dan 1,12 mg/mg.

Tabel 4. 8 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben Hasil Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Massa adsorben (mg)	**q_e (mg/mg)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
0,5	60,63	128,30	7,24
5	9,82	12,08	1,75
10	4,73	5,63	1,37
15	3,00	3,52	1,15
20	2,20	2,47	1,13
25	1,75	1,88	1,12
30	1,46	1,46	1,12
35	1,25	1,18	1,12
40	1,09	0,99	1,12
45	0,97	0,85	1,12
50	0,87	0,76	1,12
55	0,79	0,66	1,01
60	0,73	0,64	0,92
65	0,67	0,59	0,85
70	0,62	0,55	0,79



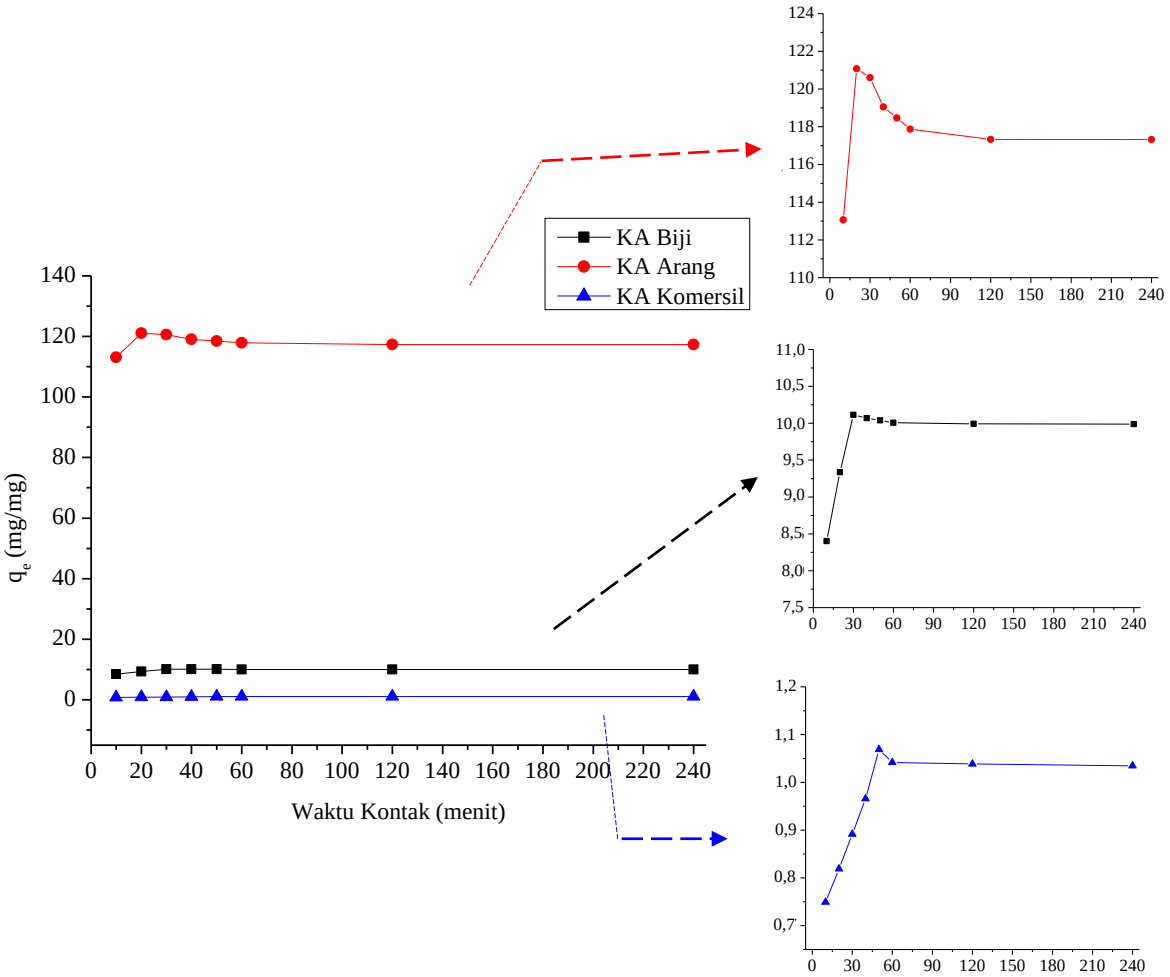
Gambar 4. 9 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan q_e KA Biji pada variasi waktu kontak mengalami kenaikan pada waktu kontak 10-30 menit sebesar 8,40 hingga 10,11 mg/mg, kemudian menurun hingga konstan pada 9,99 mg/mg seiring dengan kenaikan waktu kontak. Sementara q_e KA Arang pada variasi waktu kontak 10-20 menit mengalami kenaikan dari 113,06 hingga 121,08 mg/mg, lalu dari waktu kontak 30-240 menit mengalami penurunan. q_e KA Komersil memiliki nilai q_e lebih kecil dibandingkan KA Biji dan KA Arang, mengalami kenaikan q_e dari waktu kontak 10-50 menit, kemudian menurun hingga hampir konstan. Tabel 4.10 dan Gambar 4.10 menunjukkan kapasitas adsorpsi kesetimbangan pada waktu kontak optimum KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil adalah 10,11; 121,08; dan 1,07 mg/mg. Pola kenaikan nilai kapasitas adsorpsi seiring dengan semakin lamanya waktu kontak hingga pada waktu tertentu kemudian menurun seiring bertambahnya waktu kontak. Pola yang serupa juga terjadi pada penelitian Roy dkk. (2017), Mekatel dkk. (2015), dan Yao dkk. (2016). Pola tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi kesetimbangan sehingga permukaan KA telah jenuh dan tidak dapat mengadsorpsi NaCl. Jika sisi aktif KA telah jenuh maka lambat laun NaCl akan

terdesorpsi kembali ke dalam larutan (Mekatel dkk., 2015; Yao dkk., 2016; Roy dkk., 2017; Gebrekidan dkk., 2015)

Tabel 4. 9 Kapasitas Adsorpsi dari Hasil Variasi Waku Kontak untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Waktu Kontak (menit)	**q_e (mg/mg)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
10	8,40	113,06	0,75
20	9,34	121,08	0,82
30	10,11	120,60	0,89
40	10,07	119,05	0,97
50	10,04	118,46	1,07
60	10,01	117,87	1,04
120	9,99	117,33	1,04
240	9,99	117,32	1,03

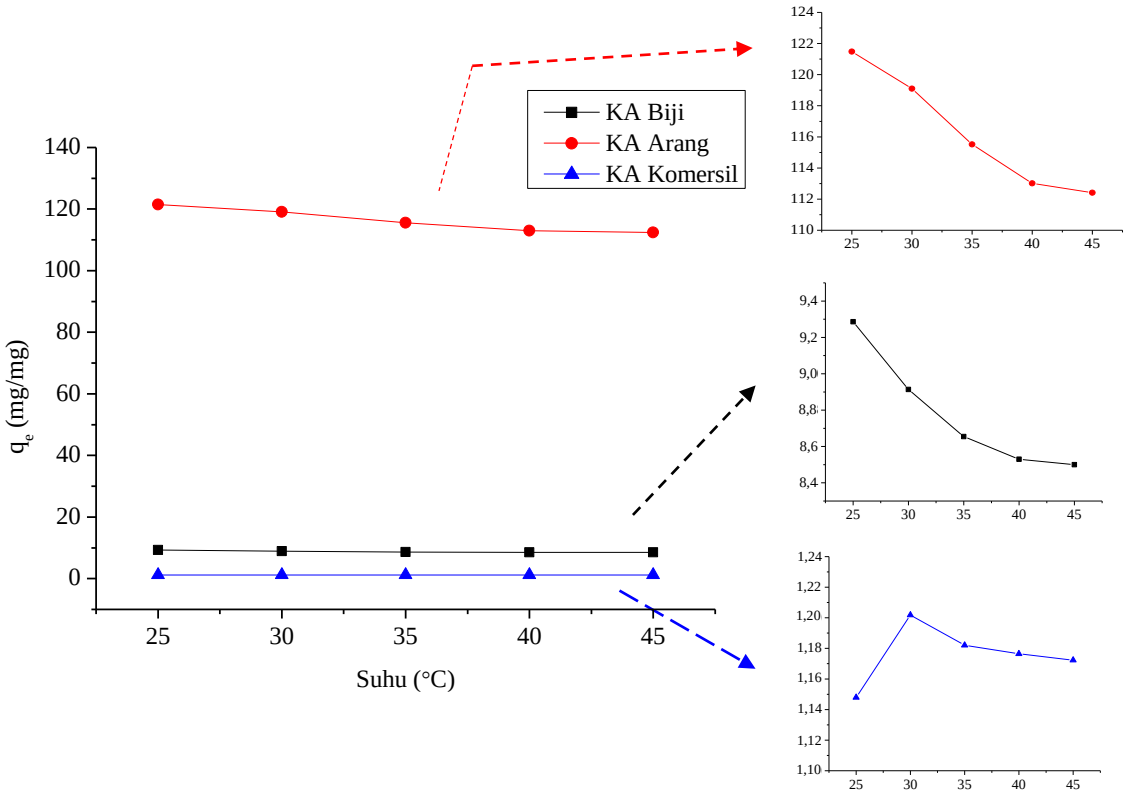


Gambar 4. 10 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi waktu kontak hasil uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Kapasitas adsorpsi dengan variasi suhu dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.11. q_e KA Biji mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu dari 9,29 mg/mg pada suhu 25° C hingga 8,50 mg/mg pada suhu 45° C. Pola ini sama halnya dengan KA Arang yang menunjukkan penurunan q_e 121,48-112,41 mg/mg seiring dengan naiknya suhu dari 25°-45° C. q_e KA Komersil mengalami kenaikan q_e dari suhu 25° C sebesar 1,15 mg/mg hingga suhu 30° C sebesar 1,20 mg/mg lalu menurun hingga konstan seiring dengan naiknya suhu. Yao dkk. (2016) dan Roy dkk. (2017) juga mendapatkan pola yang sama dengan penelitian ini (Yao dkk., 2016; Roy dkk., 2017)

Tabel 4. 10 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Suhu untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Suhu (°C)	q_e (mg/mg)		
	KA Biji	KA Arang	KA Komersil
25	9,29	121,48	1,15
30	8,91	119,10	1,20
35	8,65	115,52	1,18
40	8,53	113,01	1,18
45	8,50	112,41	1,17



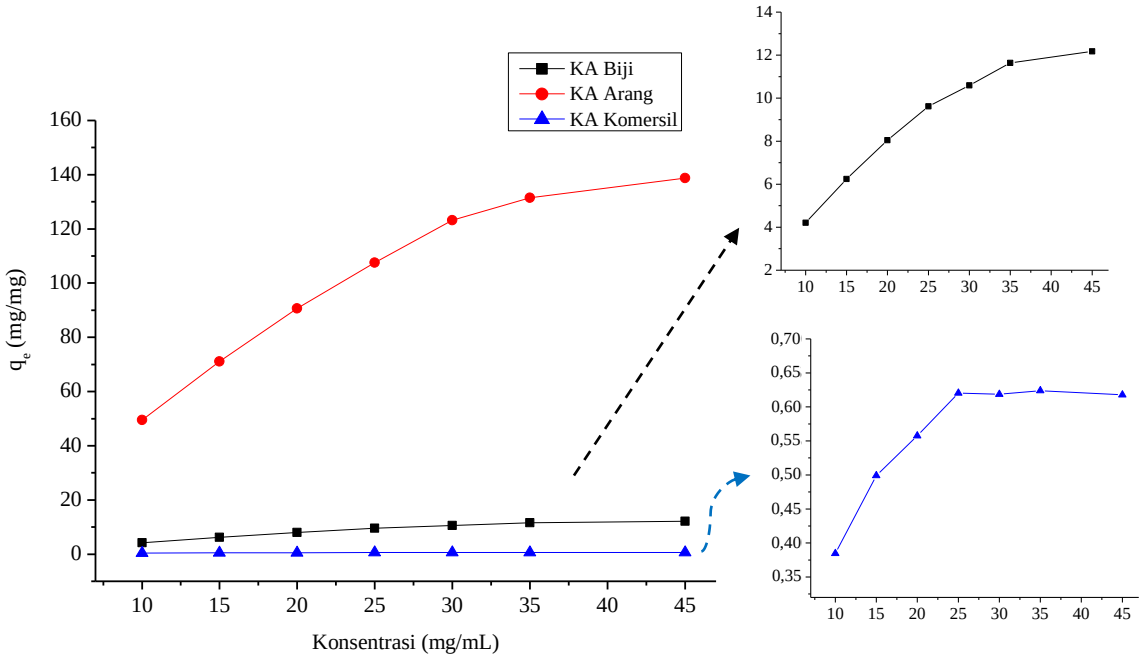
Gambar 4. 11 Grafik kapasitas adsorpsi pada variasi suhu untuk uji adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Variasi konsentrasi awal yang ditampilkan pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa KA Biji mengalami kenaikan q_e seiring dengan semakin tingginya konsentrasi awal dari 4,21 mg/mg pada konsentrasi awal 10 mg/mL dan meningkat hingga 12,18 mg/mg pada konsentrasi awal 40 mg/mL. q_e KA Arang meningkat dari 49,54-138,75 mg/mg dan q_e KA Komersil meningkat 0,38-0,62 mg/mg. Tren yang serupa terjadi pada penelitian Yao dkk. (2016), Gebrekidan dkk. (2015) dan Wendimu dkk. (2017). Hal ini disebabkan seiring dengan meningkatnya konsentrasi maka migrasi ion dalam larutan akan semakin tinggi dan sisi aktif KA

yang tersedia terbatas disertai dengan adanya gaya tolak elektrostatik dari larutan (Gebrekidan dkk., 2015; Yao dkk., 2016; Wendimu dkk., 2017).

Tabel 4. 11 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal untuk Uji Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Konsentrasi (mg/mL)	**q_e (mg/mg)**		
	KA Biji	**KA Arang**	**KA Komersil**
10	4,21	49,54	0,38
15	6,24	71,06	0,50
20	8,05	90,66	0,56
25	9,62	107,54	0,62
30	10,59	123,23	0,62
35	11,64	131,50	0,62
40	12,18	138,75	0,62

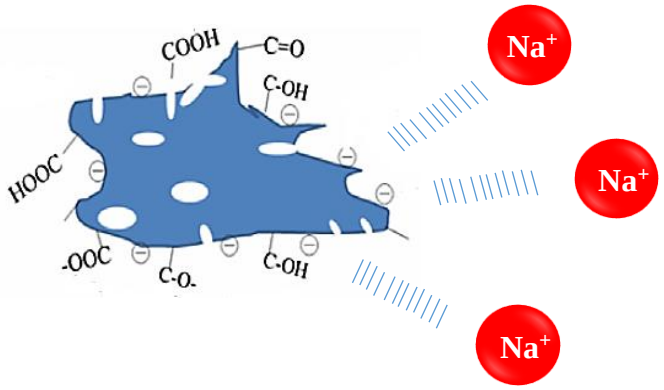


Gambar 4. 12 Kapasitas Adsorpsi pada variasi konsentrasi awal hasil uji adsorpsi dengan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Data hasil adsorpsi pada keempat parameter di atas menunjukkan bahwa KA Arang memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar dibandingkan dengan KA Biji dan KA Komersil. Hal ini mengindikasikan interaksi antara sisi aktif KA Arang dengan ion Na^+ lebih kuat dibandingkan dengan KA Biji dan KA Komersil yang disebabkan adanya perbedaan dalam rute karbonasi dan aktivasi pada proses sintesis KA Arang dan KA Biji walaupun dari bahan baku yang sama. KA Arang mengalami proses karbonasi tahap pertama (pembakaran) saat sebelum diaktivasi

dengan impregnasi HNO_3 25%. Setelah proses aktivasi, arang nyamplung dikarbonasi tahap kedua menggunakan furnace pada suhu 900 °C.

Hasil karbonasi KA Arang dengan furnace memiliki rendemen lebih besar dibandingkan KA Biji. Fenomena ini menunjukkan adanya proses dekomposisi termal yang lebih kecil pada KA Arang saat karbonasi dengan furnace. Hasil fisik KA Arang yang didapat tidak lengket akibat getah ketika dirasakan dengan tangan sehingga permukaan KA Arang lebih mudah menyerap adsorbat dibandingkan KA Biji. Hasil fisik KA Biji memiliki rasa lengket getah saat dirasakan dengan tangan. Keberadaan sisa getah pada KA Biji dapat menghalangi interaksi ion Na^+ dengan sisi aktif KA Biji. KA hasil aktivasi dengan asam akan memiliki sisi aktif yang bermuatan negatif sehingga dapat menarik ion adsorbat yang bermuatan positif yaitu Na^+. Mekanisme interaksi ion Na^+ dengan sisi aktif KA dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Interaksi sisi aktif KA dengan adsorbat

4.6. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Profil yang didapat dari variasi konsentrasi awal digunakan untuk mengetahui karakteristik model isoterm adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil. Isoterm adsorpsi menyatakan hubungan antara kapasitas adsorpsi (q_e, mg/mg) dan konsentrasi adsorbat (C_e, mg/mL) pada suhu tertentu di bawah kondisi kesetimbangan (Ruan dkk., 2016). Isoterm adsorpsi penting untuk mendeskripsikan interaksi adsorben dengan adsorbat dan optimasi penggunaan adsorben. Korelasi data kesetimbangan menggunakan persamaan empiris sangat penting untuk

interpretasi dan prediksi data adsorpsi. Beberapa model matematika dapat digunakan untuk menggambarkan data eksperimental isoterm adsorpsi (Shahryari dkk., 2010). Model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin digunakan untuk interpretasi lebih lanjut dari data adsorpsi yang diperoleh. Parameter adsorpsi melalui persamaan isoterm dihitung dengan analisis regresi linier dan koefisien korelasi linier (R^2) untuk KA Biji dan Arang yang kemudian dibandingkan dengan KA Komersil.

Hasil pengolahan data eksperimen ketiga material KA terhadap model isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Temkin ditampilkan pada Tabel 4.12. Data tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi KA Biji dan Arang sesuai dengan model isoterm Temkin yang ditunjukkan nilai R^2 masing-masing adalah 0,9975 dan 0,9952 (Gambar 4.14c dan 4.15c). Hal ini mengindikasikan terjadinya interaksi antara ion Na^+, sebagai adsorbat, dengan sisi aktif KA Biji dan KA Arang, sebagai adsorben yang bermuatan dipol negatif, diasumsikan bahwa energi panas adsorpsi (ΔH) sebagai fungsi suhu dari semua molekul yang ada di lapisan menurun secara linier akibat peningkatan *surface coverage*. Efek ini terjadi karena adanya gaya tolak dari permukaan KA Biji dan Arang yang heterogen (Bansal dan Goyal, 2005; Johnson dan Arnold, 1995; A.O, 2012; Mekatel dkk., 2015; Al-Ghouti dan Da'ana, 2020).

Slope dan intersep isoterm Temkin menjelaskan nilai B dan A_T yang mengindikasikan konstanta energi panas adsorpsi dan energi ikat kesetimbangan. Dari nilai slope didapatkan B untuk adsorpsi KA Biji dan KA Arang berturut-turut sebesar 5,83 dan 65,40 J/mol. B yang bernilai positif menunjukkan proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis. Kisaran nilai B berada di bawah 20 kJ/mol yang menunjukkan terjadinya proses fisisorpsi. Proses ini disebabkan adanya gaya van der Waals antara ion Na^+ dengan dipol negatif pada sisi aktif KA Biji dan KA Arang (Piccin dkk., 2017; A.O, 2012; Al-Ghouti dan Da'ana, 2020; Mekatel dkk., 2015). Gaya van der Waals KA Arang lebih besar dibandingkan KA Biji yang menyebabkan persentase *removal* dan kapasitas adsorpsi KA Arang lebih besar dibandingkan dengan KA Biji. Proses fisisorpsi juga dapat terjadi karena gaya intermolekular NaCl lebih besar dari gaya intramolekular sehingga menyebabkan interaksi yang lebih besar antara zat terlarut NaCl dengan sisi aktif KA. Namun,

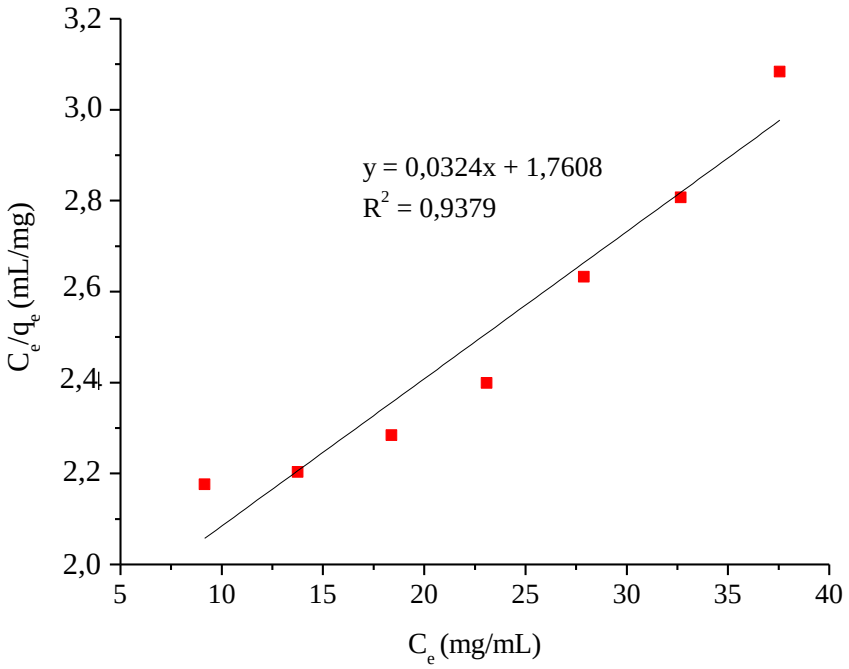
proses fisisorpsi menyebabkan ion Na^+ tidak terikat kuat pada permukaan KA sehingga ion Na^+ dapat bergerak dari satu sisi aktif ke sisi aktif lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh ion Na^+ yang satu dapat digantikan oleh ion Na^+ lainnya hingga membentuk lapisan multilayer (Alberty, 1990).

Fenomena yang terjadi pada KA Biji dan KA Arang dengan model isoterm Temkin, didukung dengan asumsi isoterm Freundlich. Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi linier KA Biji dan KA Arang juga menunjukkan nilai yang tinggi berturut-turut adalah 0,9808 dan 0,9864. Nilai R^2 keduanya mengindikasikan adanya keseuaian dengan isoterm adsorpsi Freundlich (Gambar 4.14b dan 4.15b). Model isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa terjadi perbedaan distribusi dari energi panas adsorpsi pada permukaan KA menyebabkan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda dan tempat untuk berikatan antara adsorben dan adsorbat bebas atau tidak ekivalen sehingga terjadi adsorpsi multilayer (Bansal dan Goyal, 2005; Shahryari dkk., 2010; Xin-jiang Hu dkk., 2011; Hamdaoui dan Naffrechoux, 2007).

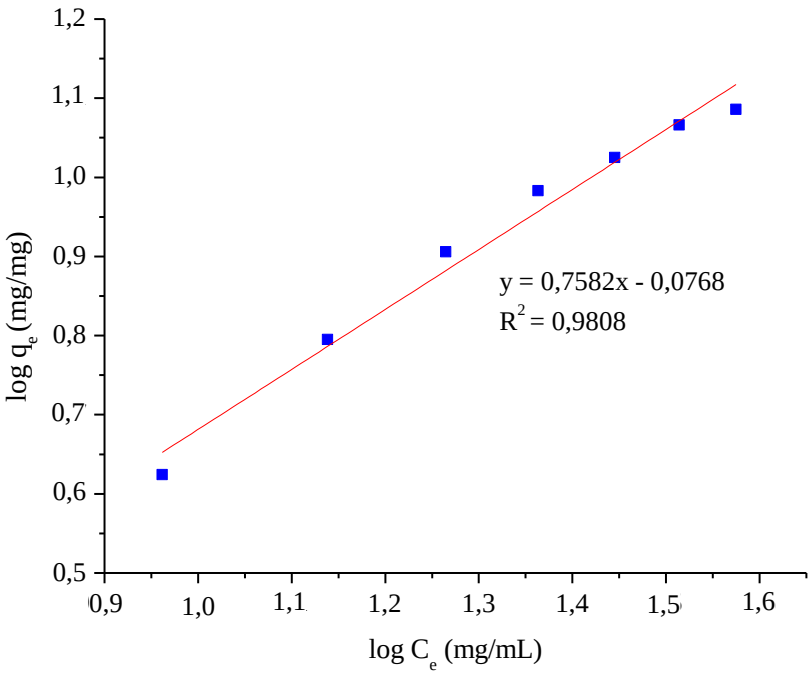
Grafik linier isoterm Freundlich dijelaskan melalui persamaan 6 sehingga didapat nilai konstanta Freundlich (K_F) sebagai indikator parameter kapasitas adsorpsi dan n sebagai intensitas adsorpsi dan heterogenitas permukaan KA. Nilai n KA Biji dan Arang berada pada kisaran $n>1$ yaitu 1,31 dan 1,35 yang menunjukkan afinitas ion Na^+ dan sisi aktif KA cukup baik sehingga proses adsorpsinya *favorable*. Heterogenitas permukaan KA Biji dan KA Arang dikonfirmasi dengan morfologi pori hasil uji SEM Gambar 4.3r dan 4.3u. (A.O, 2012; Halsey, 1950; Xiang Hu dkk., 2019; Hamdaoui dan Naffrechoux, 2007; Shahryari dkk., 2010; Bansal dan Goyal, 2005; Ayawei dkk., 2017).

Tabel 4.12 Parameter Isoterm Adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

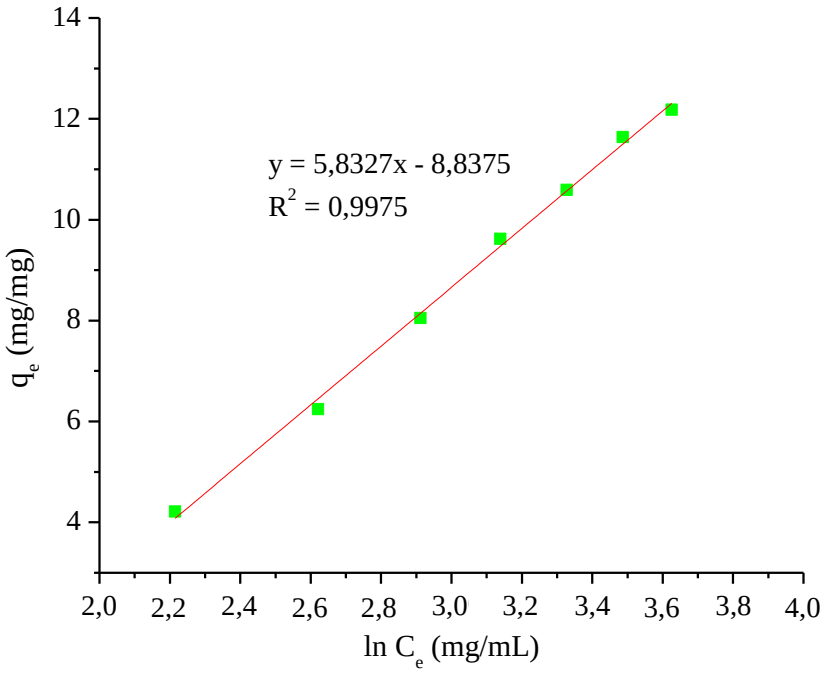
Model Isoterm	KA Biji	KA Arang	KA Komersil
Langmuir			
q_m (mg/mg)	30,86	333,33	0,76
K_L (mL/mg)	0,018	0,020	0,132
R^2	0,9379	0,9660	0,9845
Freundlich			
K_F ($mg^{(1-1/n)}mL^{(1/n)}/mg$)	0,84	10,24	0,20
n	1,32	1,35	2,99
R^2	0,9808	0,9864	0,8599
Temkin			
A_T (mL/mg)	0,22	0,23	1,27
B (J/mol)	5,83	65,40	0,17
b_T (J/mol)	424,79	37,89	14906,88
R^2	0,9975	0,9952	0,8846



(a)

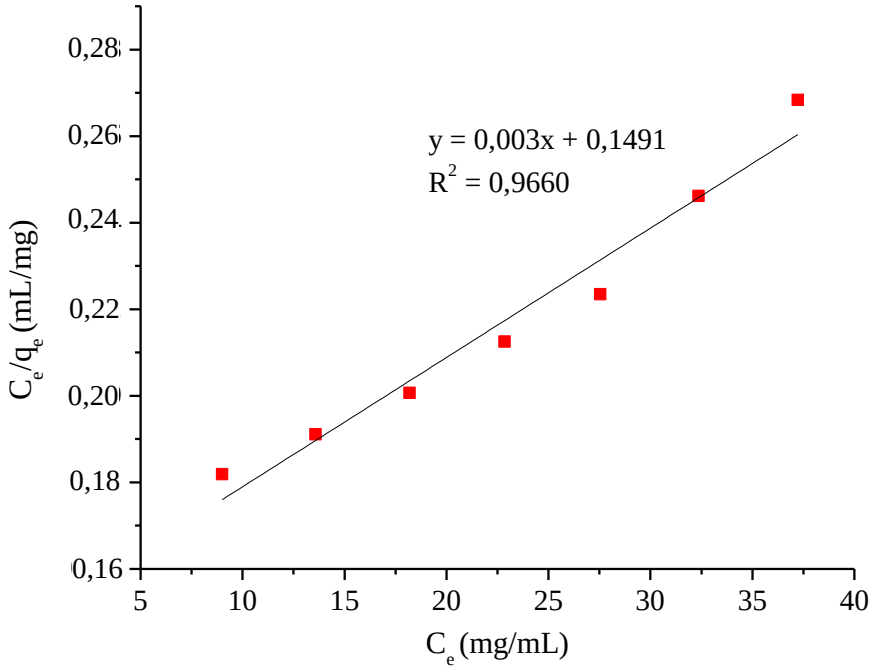


(b)

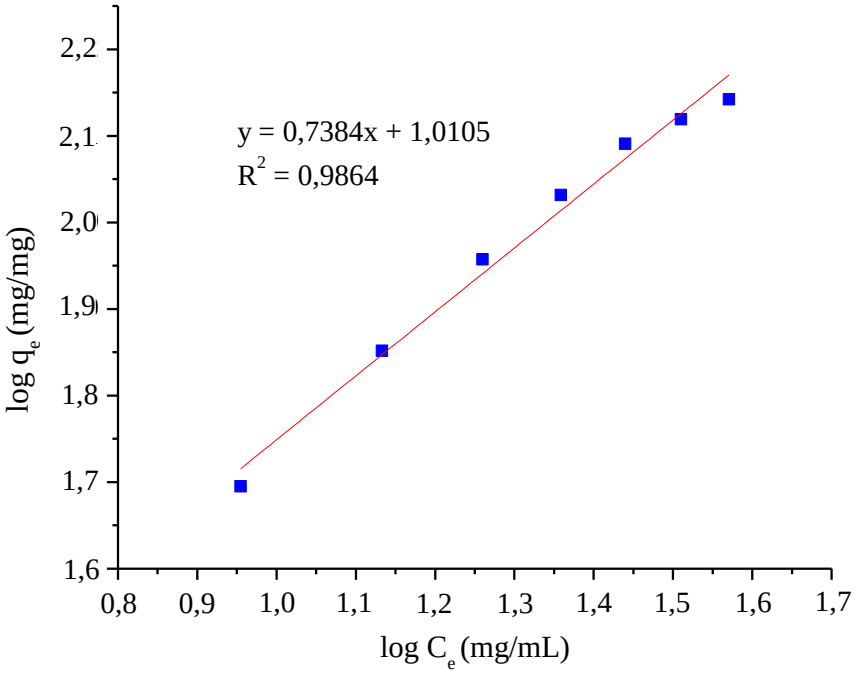


(c)

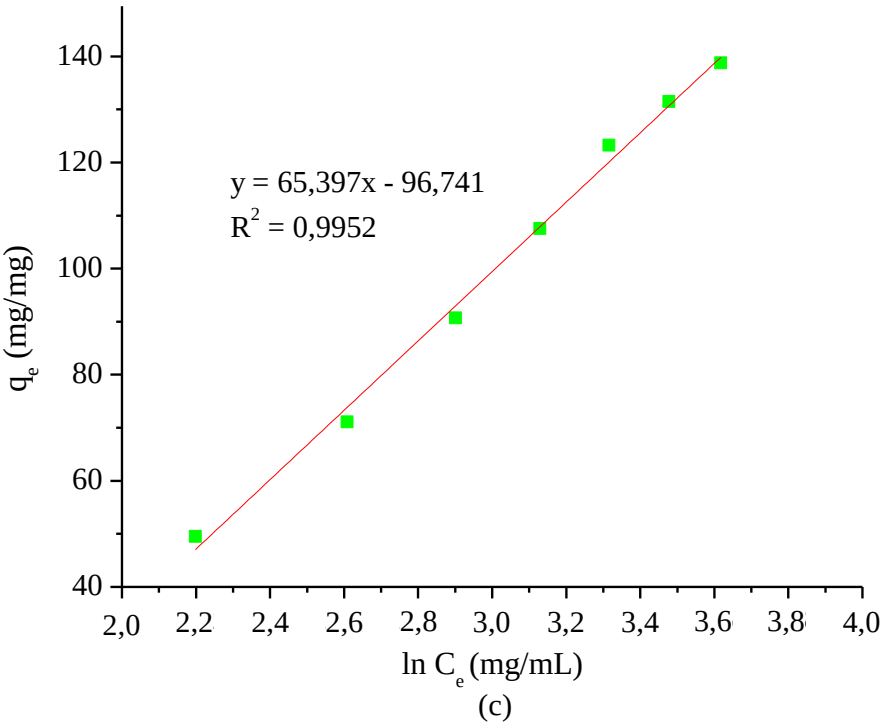
Gambar 4. 14 Grafik isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Biji


y = 0,003x + 0,1491
R2 = 0,9660
Ce/qe (mL/mg)
Ce (mg/mL)
0,28
0,26
0,24
0,22
0,20
0,18
0,16
5
10
15
20
25
30
35
40

(a)


y = 0,7384x + 1,0105
R2 = 0,9864
log qe (mg/mg)
log Ce (mg/mL)
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
0,8
0,9
1,0
1,1
1,2
1,3
1,4
1,5
1,6
1,7

(b)



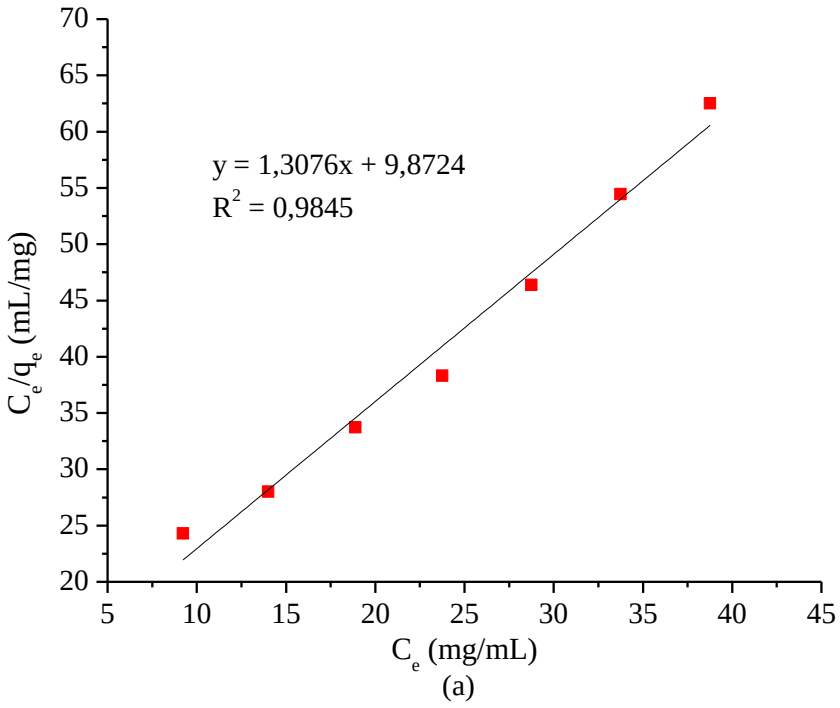
(c)

Gambar 4. 15 Grafik isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Arang

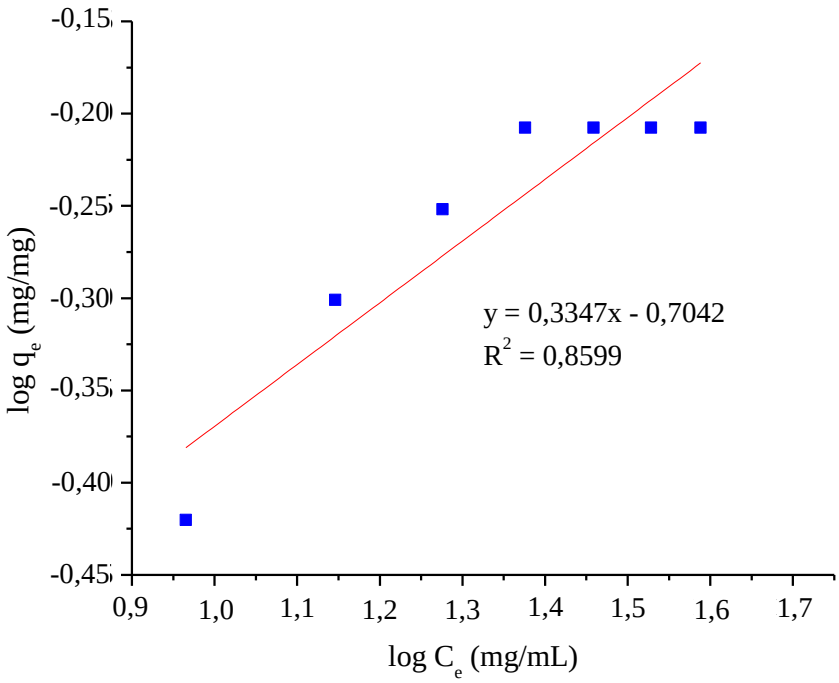
Gambar 4.16 menunjukkan bahwa KA Komersil mengikuti model isoterm Langmuir yang ditunjukkan dengan nilai R^2 0,9845. Bentuk linier dari isoterm ini ditunjukkan oleh persamaan 3. Perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan nilai q_{max} dan K_L dari slope dan intersep yang disajikan pada Tabel 4.12. K_L merupakan ukuran afinitas NaCl terhadap sisi aktif KA. Sedangkan q_m merupakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi dalam satu monolayer tunggal. Konstanta Langmuir (K_L) dan q_m berturut-turut adalah 0,13 mL/mg dan 0,76 mg/mg. Model isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa saat sisi aktif KA belum jenuh oleh adsorbat maka peningkatan konsentrasi adsorbat yang dipaparkan akan meningkat secara linier dengan jumlah adsorbat yang teradsorpsi. Akan tetapi, jika sisi aktif KA telah jenuh dengan adsorbat, maka peningkatan konsentrasi adsorbat yang dipaparkan tidak akan meningkatkan jumlah adsorbat yang teradsorpsi (Bansal dan Goyal, 2005; A.O, 2012; Piccin dkk., 2017).

Reaksi berlangsung secara eksotermis ditandai dengan B, slope isoterm Temkin, yang bernilai positif yaitu 0,17 J/mol sehingga proses adsorpsinya berjalan secara fisisorpsi. Ion Na^+ yang teradsorpsi melekat pada permukaan KA di sisi aktif

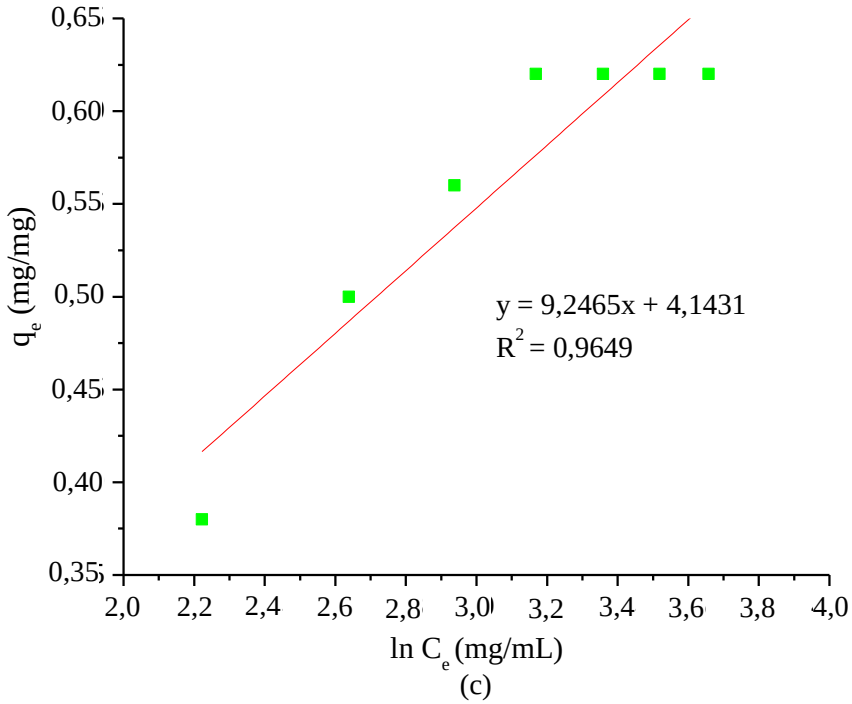
tertentu dan setiap sisi aktif hanya dapat menampung satu ion Na^+. Isoterm Langmuir juga menjelaskan bahwa keadaan energi setiap entitas yang teradsorpsi adalah sama di semua sisi aktif pada permukaan KA. Permukaan KA tampak sangat halus dan homogen sesuai morfologi permukaan KA Komersil pada Gambar 4.3c sehingga interaksi lateral antar entitas yang teradsorpsi dapat diabaikan. Bentuk isoterm adsorpsi Langmuir bisa dilihat dari nilai R_L (konstanta *undimentional*) yang menjelaskan bahwa kondisi adsorpsi KA komersil termasuk proses adsorpsi *favoured* karena nilainya 0<RL<1 (Bansal dan Goyal, 2005; Al-Ghouti dan Da'ana, 2020; Piccin dkk., 2017).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 16 Grafik Isoterm Langmuir (a) Freundlich (b) Temkin (c) pada KA Komersil

4.7. Uji Adsorpsi untuk Sampel Air Laut

Hasil uji adsorpsi ketiga material KA dapat dilihat pada Tabel 4.13. KA Biji dan KA Arang pada kondisi operasi optimum diaplikasikan untuk sampel air laut. Sampel air laut diambil pada jarak ± 10 meter dari tepi Pantai Tugulufa, Tidore, Maluku Utara. Proses adsorpsi untuk KA Biji dilakukan pada kondisi optimum, sebanyak 5 mg dengan waktu kontak 30 menit pada suhu 25° C dan volume sampel air laut sebanyak 25,0 mL. Percobaan dilakukan sebanyak 5 kali replikasi. Melalui perhitungan dengan persamaan 1 di dapatkan kapasitas adsorpsi pada kondisi setimbang sebesar 2,02 mg/mg dengan persentase *removal* 1,32 %.

Untuk proses KA Arang, dilakukan percobaan pada kondisi optimum, sebanyak 0,5 mg dengan waktu kontak 20 menit pada suhu 25° C dan volume sampel air laut 25,0 mL. Prosedur yang sama dengan KA Biji dilakukan hingga didapat nilai q_e sebesar 42,54 mg/mg dengan *removal* 2,79 %. KA Biji dan KA Arang dibandingkan dengan KA Komersil. Kondisi optimum KA Komersil sebanyak 50 mg dengan waktu kontak 50 menit pada suhu 30° C dan volume sampel air laut 25 mL. Prosedur yang sama dengan KA Biji dilakukan hingga didapat nilai q_e 0,15 mg/mg dengan persentase *removal* 0,96 %. Hasil adsorpsi KA Arang memiliki nilai kapasitas adsorpsi dan persentase *removal* yang paling tinggi dibandingkan dengan KA Biji dan KA Komersil dengan kondisi optimum yang paling menguntungkan dalam aplikasinya yakni massa adsorben yang kecil, waktu kontak singkat, dan optimum pada suhu rendah.

Tabel 4. 13 Hasil Adsorpsi pada Sampel Air Laut Menggunakan KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil

Adsorben	**Hasil Adsorpsi**	
	***Removal* (%)**	**q_e (mg/mg)**
KA Biji	1,32	2,02
KA Arang	2,79	42,54
KA Komersil	0,96	0,15

Perbandingan kapasitas adsorpsi KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil dengan material pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.14. KA hasil sintesis dalam penelitian ini, baik KA Biji maupun KA Arang, memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan kapasitas adsorpsi oleh karbon aktif granular (Kulkarni dkk., 2016) dan zeolit alam (Wibowo dkk., 2017) dalam aplikasi adsorpsi pada sampel air laut.

Tabel 4. 14 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Setimbang Material Lain pada Literatur untuk Desalinasi Air Laut

Adsorben	**q_e (mg/mg)**	**Pustaka**
Karbon aktif granular	$3{,}05 \times 10^{-3}$	Kulkarni dkk., 2016
Zeolit alam	$51{,}43 \times 10^{-3}$	(Wibowo dkk., 2017)
KA Biji nyamplung	2,02	Penelitian ini
KA Arang nyamplung	42,54	Penelitian ini
KA Komersil	0,15	Penelitian ini

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Karbon aktif (KA) dari biji nyamplung telah disintesis menjadi KA Biji dan KA Arang dalam penelitian ini. KA Biji dan KA Arang dikarakterisasi menggunakan SEM. Performa KA dalam proses adsorpsi metode *Batch* dianalisis dengan variasi parameter massa adsorben, waktu kontak, suhu, dan konsentrasi awal. Kapasitas adsorpsi KA Biji pada kondisi optimum parameter masing-masing yaitu 9,82; 10,11; 9,29 mg/mg. Kapasitas adsorpsi KA Arang pada kondisi optimum parameter masing-masing adalah 128,30; 121,08; 121,48 mg/mg. Kapasitas adsorpsi KA Komersil pada kondisi optimum parameter masing-masing parameter adalah 1,12; 1,07; 1,20 mg/mg. Model isoterm adsorpsi KA Biji dan KA Arang mengikuti model isoterm Temkin. Model isoterm tersebut menggambarkan permukaan KA Biji dan KA Arang heterogen dan terjadi proses fisisorpsi secara eksotermis. KA Komersil mengikuti model isoterm Langmuir yang menggambarkan permukaan KA Komersil homogen. Ketiga KA diaplikasikan pada sampel air laut sehingga didapat q_e KA Biji 2,02 mg/mg, q_e KA Arang 42,54 mg/mg, dan q_e KA Komersil 0,15 mg/mg. KA Biji dan KA Arang dari biji nyamplung memiliki potensi yang cukup baik dalam adsorpsi air laut apabila dibandingkan dengan KA Komersil dalam penelitian ini. KA Arang lebih unggul daripada KA Biji dan KA Komersil karena hanya dibutuhkan massa adsorben minimum dengan waktu singkat dan suhu rendah, sehingga akan lebih menguntungkan dalam pengaplikasiannya di lapangan.

5.2 Saran

Profil dan karakter KA Biji dan KA Arang untuk desalinasi air laut dengan proses adsorpsi perlu dikaji ulang dalam pemilihan rute karbonasi dan aktivasi untuk meningkatkan kemampuannya dalam menyerap NaCl. Data karakterisasi BET juga diperlukan sebagai data pendukung sehingga dapat diketahui luas permukaan dan volume pori KA Biji dan KA Arang nyamplung.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

A. Shah, P., V. Shah, J., Sanyal, M., dan S. Shrivastav, P. (2018), "Conductometry, Spectrophotometry and Mass Spectrometric Investigation of Mg(II) and Ca(II) Complexes with an Antiretroviral Drug, Zidovudine." *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, Vol. 31, No. 3, Hal. 423.

Abbas, S. (2016), "Konservasi Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) di Kawasan Pesisir Pantai Afetaduma Kecamatan Pulau Ternate Kota Ternate." *Community Engagement*, Hal, 26

Aji, B.K. (2012), "Pemanfaatan Serbuk Biji Salak (*Salacca zalacca*) sebagai Adsorben Cr(VI) dengan Metode *Batch* dan Kolom" Vol. 1, No. 1, Hal. 6.

Al Bahri, M., Calvo, L., Gilarranz, M.A., dan Rodriguez, J.J. (2012), "Activated Carbon from Grape Seeds upon Chemical Activation with Phosphoric Acid: Application to the Adsorption of Diuron from Water." *Chemical Engineering Journal*, Vol. 203, Hal. 348–56.

Al Indis, N., dan Ulfin, I. (2013), "Adsorpsi Ion Cr(VI) Menggunakan Karbon Aktif yang Terbuat dari Tempurung Biji Nyamplung." *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, Hal, 1–3

Alaei Shahmirzadi, M.A., Hosseini, S.S., Luo, J., dan Ortiz, I. (2018), "Significance, Evolution and Recent Advances in Adsorption Technology, Materials and Processes for Desalination, Water Softening and Salt Removal." *Journal of Environmental Management*, Vol. 215, Hal. 324–44.

Alberty, R.A. (1990), *Kimia Fisika*, Jilid Kesatu Erlangga, Jakarta.

Al-Ghouti, M.A., dan Da'ana, D.A. (2020), "Guidelines for the Use and Interpretation of Adsorption Isotherm Models: A Review." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 393, Hal. 122383.

Almu, M.A., Syahrul, S., dan Padang, Y.A. (2014), "Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) dan Abu Sekam Padi." *Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 4, No. 2,

Al-Qodah, Z., dan Shawabkah, R. (2009), "Production and Characterization of Granular Activated Carbon from Activated Sludge." *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 26, No. 1, Hal. 127–36.

Al-Sammiri, M., dan Safar, M. (1991), "Multiple Effect Distillation Plants: State of The Art." *Desalination*, Vol. 126, No. 1–3, Hal. 45–49.

Andas, J., dan Asmidar Ab. Satar, N. (2018), "Synthesis and Characterization of Tamarind Seed Activated Carbon Using Different Types of Activating Agents: A Comparison Study." *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 9, Hal. 17611–17.

A.O, D. (2012), "Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn^{2+} Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk." *IOSR Journal of Applied Chemistry*, Vol. 3, No. 1, Hal. 38–45.

Awasthi, G.P., Bhattarai, D.P., Maharjan, B., Kim, K.-S., Park, C.H., dan Kim, C.S. (2019), "Synthesis and Characterizations of Activated Carbon from Wisteria Sinensis Seeds Biomass for Energy Storage Applications." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 72, Hal. 265–72.

Ayawei, N., Ebelegi, A.N., dan Wankasi, D. (2017), "Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms." *Journal of Chemistry*, Vol. 2017, Hal. 1–11.

Badan Pusat Statistik, ed. (2013), *Proyeksi penduduk Indonesia 2010-2035*, Badan Pusat Statistik, Jakarta.

Baig, M.B., dan Al Kutbi, A. (1999), "Design Features of 20 MIGD SWRO Seawater Plant." *Water Supply, Al Jubail, Saudi Arabia*, Vol. 17, Hal. 127–34.

Bansal, R.C., dan Goyal, M. (2005), *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis, Boca Raton.

Baquero, M.C., Giraldo, L., Moreno, J.C., Suárez-García, F., Martíınez-Alonso, A., dan Tascón, J.M.D. (2003), "Activated Carbons by Pyrolysis of Coffee Bean Husks in Presence of Phosphoric Acid." *Chemical Engineering Journal*, Vol. 70, Hal. 779–84.

Bastiaanssen, W.G.M., dan Steduto, P. (2017), "The Water Productivity Score (WPS) at Global and Regional Level: Methodology and First Results from Remote Sensing Measurements of Wheat, Rice and Maize." *Scie. Total Environ*, Vol. 575, Hal. 595–611.

Baytar, O., Şahin, Ö., dan Saka, C. (2018), "Sequential Application of Microwave and Conventional Heating Methods for Preparation of Activated Carbon from Biomass and Its Methylene Blue Adsorption." *Applied Thermal Engineering*, Vol. 138, Hal. 542–51.

Benefield, L.D., Judkins, J.F., dan Weand, B.L. (1982), *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Vol. 212, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Biscoe, J., dan Warren, B.E. (1942), "An X-Ray Study of Carbon Black." *Journal of Applied Physics*, Vol. 13, No. 6, Hal. 364–71.

Bokros, J.C. (1969), "Deposition, Structure, and Properties of Pyrolitic Carbon." *Dekker, New York*, Vol. 5,

Bonilla-Petriciolet, A., Mendoza-Castillo, D.I., Dotto, G.L., dan Duran-Valle, C.J. (2019), "Adsorption in Water Treatment." Dalam *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, Elsevier.

Buros, O.K. (1990), "The Desalting ABC." *Internasional Desalination Association, Topshield, MA, USA*,

Bustomi, S. (2012), *Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.): Sumber Energi Biofuel Yang Potensial*, Edisi revisiBadan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan, Bogor.

Carmona, T., Pineiro, M., Monteiro, C.J.P., Pereira, M.M., dan Valente, A.J.M. (2015), "Interactions between Cationic Surfactants and 5,10,15,20-Tetrakis(4-Sulfonatophenyl)Porphyrin Tetrasodium Salt as Seen by Electric Conductometry and Spectroscopic Techniques." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 481, Hal. 288–96.

Chandra, B.B., Setiawan, F., dan Hakim, J.A.R. (2013), "Pemanfaatan Biji Buah Nyamplung (*Callophylum inophylum*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodisel" Vol. 2, No. 1, Hal. 3.

Chiu, Y.-H., dan Lin, L.-Y. (2019), "Effect of Activating Agents for Producing Activated Carbon Using a Facile One-Step Synthesis with Waste Coffee

Grounds for Symmetric Supercapacitors." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 101, Hal. 177–85.

Clough, G. (2008), "Statement of the United Nations Industrial Development Organization at the Commission on Sustainable Development." *UNIDO, New York*,

Committee on Advancing Desalination Technology (2008), *Desalination: A National Perspective*, National Academies Press, Washington, D.C.

Culp, G.L., Wesner, G.M., dan Culp, R.L. (1986), *Handbook of Public Water Systems*, Van Nostrand Reinhold Co. Inc, New York.

Dabrowski, A. (2001), "Adsorption from Theory to Practice." *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 93, Hal. 135–224.

Diao, Y.L., Walawender, W.P., dan Fan, L.T. (2002), "Activated Carbons Prepared from Phosphoric Acid Activation of Grain Sorghum." *Bioresource Technology*, Vol. 81, Hal. 45–52.

Doyle, W.M.n.d."Principles and Applications of Fourier Transform Infra- Red (FTIR) Process Analysis" Hal. 24.

El Gamal, M., Mousa, H.A., El-Naas, M.H., Zacharia, R., dan Judd, S. (2018), "Bio-Regeneration of Activated Carbon: A Comprehensive Review." *Separation and Purification Technology*, Vol. 197, Hal. 345–59.

Fadhil, A.B. (2017a), "Evaluation of Apricot (Prunus Armeniaca L.) Seed Kernel as a Potential Feedstock for the Production of Liquid Bio-Fuels and Activated Carbons." *Energy Conversion and Management*, Vol. 133, Hal. 307–17.

Fadhlullah, M., Widiyanto, S.N.B., dan Restiawaty, E. (2015), "The Potential of Nyamplung (Calophyllum Inophyllum L.) Seed Oil as Biodiesel Feedstock: Effect of Seed Moisture Content and Particle Size on Oil Yield." *Energy Procedia*, Vol. 68, Hal. 177–85.

Fayanto, S., Sawaluddin, S., Anas, M., Hunaidah, H., Erniwati, E., Hastuti, V., dan Mongkito, R. (2018), "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Nyamplung (Calophyllum Inophyllum .L) Seed Shell Waste: Effect of Activation Temperature." Dalam *Proceedings of the The 1st International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus*, EAI, Kudus, Indonesia.

Foo, K.Y., dan Hameed, B.H. (2011), "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Sunflower Seed Oil Residue via Microwave Assisted K2CO3 Activation." *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 20, Hal. 9794–99.

Friday, J.B., dan Okano, D. (2006), "Calophyllum Inophyllum (Kamani)." *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, Vol. 2, Hal. 17.

Friedel, R.A., dan Carlson, G.L. (1999), "Difficult Carbonaceous Materials and Their Infrared and Raman Spectra: Reassignments for Coal Spectra" Vol. 41, No. 8, Hal. 1412–15.

García-Mateos, F.J., Ruiz-Rosas, R., Marqués, M.D., Cotoruelo, L.M., Rodríguez-Mirasol, J., dan Cordero, T. (2015), "Removal of Paracetamol on Biomass-Derived Activated Carbon: Modeling the Fixed Bed Breakthrough Curves Using *Batch* Adsorption Experiments." *Chemical Engineering Journal*, Vol. 279, Hal. 18–30.

Gebrekidan, A., Teferi, M., Asmelash, T., Gebrehiwet, K., Hadera, A., Amare, K., Deckers, J., dan Bruggen, B.V.D. (2015), "Acacia Etbaica as a Potential Low-Cost Adsorbent for Removal of Organochlorine Pesticides from Water." *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 07, No. 03, Hal. 278–91.

Geertman, R.M. (2000), "SODIUM CHLORIDE: CRYSTALLIZATION." Dalam *Encyclopedia of Separation Science*, Elsevier, 4127–34

Halsey, G.D. (1950), "The Role of Heterogeneity in Adsorption and Catalysis." *Discussions of the Faraday Society*, Vol. 8, Hal. 54.

Hamdaoui, O., dan Naffrechoux, E. (2007), "Modeling of Adsorption Isotherms of Phenol and Chlorophenols onto Granular Activated CarbonPart I. Two-Parameter Models and Equations Allowing Determination of Thermodynamic Parameters." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 147, No. 1–2, Hal. 381–94.

Hartanto, S., dan Ratnawati (2010), "Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit Dengan Metode Aktivasi Kimia." *Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITI*, Vol. 12, No. 1, Hal. 12–16.

Hiua, T., Jordan, D.R., HcIlhenny, W.F., dan Chemical, D. (1977), "0 Ekevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Printed in The Netherlands" Vol. 20, Hal. 375–84.

Ho, Y., Malaryvizhi, R., dan Sulochana, N. (2009), "Equilibrium Isotherm Studies of Methylene Blue Adsorption onto Activated Carbon Prepared from Delonix Regia Pods" Vol. 3, Hal. 111–16.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E., dan Richter, B.D. (2012), "Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability." *PLoS One 7*, Vol., no. e32688,

Hu, Xiang, Jia, L., Cheng, J., dan Sun, Z. (2019), "Magnetic Ordered Mesoporous Carbon Materials for Adsorption of Minocycline from Aqueous Solution: Preparation, Characterization and Adsorption Mechanism." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 362, Hal. 1–8.

Hu, Xin-jiang, Wang, J., Liu, Y., Li, X., Zeng, G., Bao, Z., Zeng, X., Chen, A., dan Long, F. (2011), "Adsorption of Chromium (VI) by Ethylenediamine-Modified Cross-Linked Magnetic Chitosan Resin: Isotherms, Kinetics and Thermodynamics." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 185, No. 1, Hal. 306–14.

Hu, Y., dan Lindo-Atichati, D. (2019), "Experimental Equations of Seawater Salinity and Desalination Capacity to Assess Seawater Irrigation." *Science of The Total Environment*, Vol. 651, Hal. 807–12.

Irnaningsih (2015), "Desalinasi Air Laut Menggunakan Zeolit Aktivasi Asam Klorida (HCl) Di Puntondo Kabupaten Takalar Dengan Metode Kolom Penukar Ion." *Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar*,

Januardi, Y., Rosi, M., dan Handayani, I.P. (2016), "Sistem Desalinasi Air Laut Menggunakan Prinsip Capacitive Deionization (CDIi) Berbasis Karbon Aktif" Vol. 3, No. 2, Hal. 7.

Johnson, R.D., dan Arnold, F.H. (1995), "The Temkin Isotherm Describes Heterogeneous Protein Adsorption." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*

- *Protein Structure and Molecular Enzymology*, Vol. 1247, No. 2, Hal. 293–97.

Kaech, A. (2013), "An Introduction to Electron Microscopy Instrumentation, Imaging and Preparation." *Introduction to Electron Microscopy*, Hal. 28.

Kamcev, J., Sujanani, R., Jang, E.-S., Yan, N., Moe, N., Paul, D.R., dan Freeman, B.D. (2018), "Salt Concentration Dependence of Ionic Conductivity in Ion Exchange Membranes." *Journal of Membrane Science*, Vol. 547, No. Februari, Hal. 123–33.

Khadhri, N., El Khames Saad, M., ben Mosbah, M., dan Moussaoui, Y. (2019), "*Batch* and Continuous Column Adsorption of Indigo Carmine onto Activated Carbon Derived from Date Palm Petiole." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 7, No. 1, Hal. 102775.

Khawaji, A. D, Wie, J.M., dan Khan, T. (1997), "Operating Experience of The Royal Commission Acid-Dosed MSF Seawater Desalination Plant." *Proceeding of IDA World Congress on Desalination and Water Reuse*, Vol. II, ,

Khawaji, Akili D., Kutubkhanah, I.K., dan Wie, J.-M. (2008), "Advances in Seawater Desalination Technologies." *Desalination*, Vol. 221, No. 1–3, Hal. 47–69.

Kulkarni, K., Dhiman, A., dan Kumar, S. (2016), "Use Of Granular Activated Carbon For The Treatment Of Sea Water" Hal. 8.

Kumar, J.A., Amarnath, D.J., Sathish, S., Jabasingh, S.A., Saravanan, A., Hemavathy, R.V., Anand, K.V., dan Yaashikaa, P.R. (2019a), "Enhanced PAHs Removal Using Pyrolysis-Assisted Potassium Hydroxide Induced Palm Shell Activated Carbon: *Batch* and Column Investigation." *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 279, Hal. 77–87.

Kurniawan, F., Kiswiyah, N.S.A., Madurani, K.A., dan Tominaga, M. (2017), "Single-Walled Carbon Nanotubes-Modified Gold Electrode for Dopamine Detection." *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, Vol. 6, No. 6, Hal. M3109–12.

Kurniawan, F., Kiswiyah, N.S.A., Madurani, K.A., dan Tominaga, M. (2018), "Electrochemical Sensor Based on Single-Walled Carbon Nanotubes-Modified Gold Electrode for Uric Acid Detection." *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 165, No. 11, Hal. B515–22.

Kurniawan, R.Y., Kurniawan, I.D.O., Atmaja, L., dan Widiastuti, N. (2019), "Synthesis N-Doped Activated Carbon from Sugarcane Bagasse for CO2 Adsorption." *IPTEK The Journal for Technology and Science*, Vol. 30, No. 3, Hal. 80.

Laksono, R.S. (2019), "Pengaruh Krisis Air Bersih Terhadap Kualitas Air Di Indonesia"Studi Ilmu Pemerintaha, FISIP, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

le Roux, B., van der Laan, M., Vahrmeijer, T., Bristow, K.L., dan Annandale, J.G. (2017), "Establishing and Testing a Catchment Water Footprint Framework to Inform Sustainable Irrigation Water Use for an Aquifer under Stress." *Scie. Total Environ*, Vol. 599–600, Hal. 1119–29.

Leksono, B., Hendrati, R.L., Windyarini, E., dan Hasnah, T. (2014), "Variation In Biofuel Potential Of Twelve *Calophyllum inophyllum* Populations In Indonesia" Vol. 1, No. 2, Hal. 12.

Leksono, B., Windyarini, E., dan Hasnah, T.M. (2014), "Budidaya Nyamplung (*Callophyllum inophyllum L.*) Untuk Bioenergi Dan Prospek Lainnya." dalam *Budidaya Nyamplung (Callophyllum inophyllum L.) untuk Bioenergi Dan Prospek Lainnya*, IPB Press,

Li, Z., Meng, X., dan Zhang, Z. (2019), "Equilibrium and Kinetic Modelling of Adsorption of Rhodamine B on MoS_2." *Materials Research Bulletin*, Vol. 111, Hal. 238–44.

Lin, I.-H. (1985), "Temperature Effects on Activated Carbon Adsorption in Fixed-Beds." *Kansas State University*, Hal, 125

Lubert, K.-H., dan Kalcher, K. (2010), "History of Electroanalytical Methods." *Electroanalysis*, Vol. 22, No. 17–18, Hal. 1937–46.

Maryam, St., Effendi, N., dan Kasmah, K. (2019), "Produksi dan Karakterisasi Gelatin dari Limbah Tulang Ayam dengan Menggunakan Spektrofotometer Ftir (Fourier Transform Infra Red)." *Majalah Farmaseutik*, Vol. 15, No. 2, Hal. 96.

Mekatel, E.H., Amokrane, S., Aid, A., Nibou, D., dan Trari, M. (2015), "Adsorption of Methyl Orange on Nanoparticles of a Synthetic Zeolite NaA/CuO." *Comptes Rendus Chimie*, Vol. 18, No. 3, Hal. 336–44.

Menéndez, J.A., Xia, B., Phillips, J., dan Radovic, L.R. (1997), "On the Modification and Characterization of Chemical Surface Properties of Activated Carbon: Microcalorimetric, Electrochemical, and Thermal Desorption Probes." *Langmuir*, Vol. 13, No. 13, Hal. 3414–21.

Min Oo, W. (2018), "Pharmacological Properties of <I>Calophyllum Inophyllum</I> – Updated Review." *International Journal of Photochemistry and Photobiology*, Vol. 2, No. 1, Hal. 28.

Mistar, E.M., Sara, T., dan Alfatah, T. (2017), "Pengaruh Laju Alir Terhadap Kinetika Adsorpsi Methylene Blue dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Teraktivasi NaOH" Hal. 6.

Mittal, A., Kurup, L., dan Mittal, J. (2007), "Freundlich and Langmuir Adsorption Isotherms and Kinetics for the Removal of Tartrazine from Aqueous Solutions Using Hen Feathers." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 146, No. 1–2, Hal. 243–48.

Mohamad Nor, N., Lau, L.C., Lee, K.T., dan Mohamed, A.R. (2013), "Synthesis of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass and Its Applications in Air Pollution Control—a Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 1, No. 4, Hal. 658–66.

Murray, James.W. (2004), "What Controls the Composition of Riverwater and Seawater: Equilibrium versus Kinetic Ocean." University Washington,

Ogungbenro, A.E., Quang, D.V., Al-Ali, K.A., Vega, L.F., dan Abu-Zahra, M.R.M. (2018), "Physical Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Date Seeds for CO_2 Capture." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 6, No. 4, Hal. 4245–52.

Okman, I., Karagöz, S., Tay, T., dan Erdem, M. (2014), "Activated Carbons From Grape Seeds by Chemical Activation with Potassium Carbonate and Potassium Hydroxide." *Applied Surface Science*, Vol. 293, Hal. 138–42.

Paputungan, M., dan Iyabu, H. (2018), "Pengaruh Aktivator HCl dan H3PO4 terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)." *Department of Chemistry, Gorontalo State University, Indonesia*, Vol. 13, No. 1, Hal. 9.

Pereira-da-Silva, M. de A., dan Ferri, F.A. (2017), "1 - Scanning Electron Microscopy." *El Sevier. Inc*, Hal, 35

Petit, S. (2006), "Chapter 12.6 Fourier Transform Infrared Spectroscopy." Dalam *Developments in Clay Science*, Elsevier, 1:909–18,

Piccin, J.S., Cadaval, T.R.S., de Pinto, L.A.A., dan Dotto, G.L. (2017), "Adsorption Isotherms in Liquid Phase: Experimental, Modeling, and Interpretations." Dalam *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*, , diedit oleh Adrián Bonilla-Petriciolet, Didilia Ileana Mendoza-Castillo, dan Hilda Elizabeth Reynel-Ávila, 19–51Springer International Publishing, Cham.

Pungor, E. (1965), "Apparatus For Conductometric Measurements." Dalam *Oscillometry and Conductometry*, Elsevier, 53–71

Pungor, Ernö (1962), "Conductometry and Oscillometry." *Journal of Electroanalytical Chemistry (1959)*, Vol. 3, No. 5, Hal. 289–303.

Purwanto, M.Yanuar.J., dan Susanto, A. (2017), "Pengantar Pengelolaan Sumber Daya Air"

Qu, X., Brame, J., Li, Q., dan Alvarez, P.J.J. (2013), "Nanotechnology for a Safe and Sustainable Water Supply: Enabling Integrated Water Treatment and Reuse." *Acc. Chem. Res.*, Vol. 46, No. 3, Hal. 834–43.

Rasyida, K., Kuswandi, B., dan Kristiningrum, N. (2014), "(Detection of Zamzam Water Purity Using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy Technique and Chemometrics)" Vol. 2, No. 2, Hal. 7.

Rattanapan, S., Srikram, J., dan Kongsune, P. (2017), "Adsorption of Methyl Orange on Coffee Grounds Activated Carbon." *Energy Procedia*, Vol. 138, Hal. 949–54.

Rawal, S., Joshi, B., dan Kumar, Y. (2018), "Synthesis and Characterization of Activated Carbon from the Biomass of Saccharum Bengalense for Electrochemical Supercapacitors." *Journal of Energy Storage*, Vol. 20, Hal. 418–26.

Rejekiningrum, P. (2013), "Alokasi Optimum Kebutuhan Air Untuk Pertanian Dengan Inovasi Teknologi Irigasi Berselang (Intermittent Irrigation): Studi Kasus Das Citarum, Jawa Barat" Vol. 4, Hal. 15.

Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M., Gómez-Serrano, V., Álvarez, P.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., dan Dias, J.M. (2011), "Activated Carbon Modifications to Enhance Its Water Treatment Applications. An Overview." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 187, No. 1–3, Hal. 1–23.

Rodriguez-Reinoso, F., dan Silvestre-Albero, J. (2016a), "Activated Carbon and Adsorption." Dalam *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier.

Rofiansyah, A., Tominaga, M., dan Kurniawan, F. (2019), "Response of SWCNTs/KPG5-Modified Carbon Electrode on Dopamine, Uric Acid and

Ascorbic Acid." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 494, Hal. 012049.

Roy, S., Das, P., Sengupta, S., dan Manna, S. (2017), "Calcium Impregnated Activated Charcoal: Optimization and Efficiency for the Treatment of Fluoride Containing Solution in *Batch* and Fixed Bed Reactor." *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 109, Hal. 18–29.

Ruan, C.-P., Ai, K.-L., dan Lu, L.-H. (2016), "An Acid-Resistant Magnetic Co/C Nanocomposite for Adsorption and Separation of Organic Contaminants from Water." *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 44, No. 2, Hal. 224–31.

Schrader, B., dan Bougeard, D., ed. (1995), *Infrared and Raman Spectroscopy: Methods and Applications*, VCH, Weinheim.

Senner, N.R., Moore, J.N., Seager, S.T., Dougill, S., Kreuz, K., dan Senner, S.E. (2018), "A Salt Lake under Stress: Relationships among Birds, Water Levels, and Invertebrates at a Great Basin Saline Lake." *Biological Conservation*, Vol. 220, Hal. 320–29.

Service, R.F. (2006), "Desalinaton Freshens Up." *Science*, Vol. 301, Hal. 1088–90.

Shahryari, Z., Goharrizi, A.S., dan Azadi, M. (2010), "Experimental Study of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solutions onto Carbon Nano Tubes" Vol. 2, Hal. 13.

Singh, B., dan Alloway, B.J. (2006), "Adsorptive Minerals To Reduce The Availability Of Cadmium And Arsenic In Contaminated Soils"School of Land, Water, and Crop Science. University od Sidney,

Spahis, N., Addoun, A., Mahmoudi, H., dan Ghaffour, N. (2008), "Purification of Water by Activated Carbon Prepared from Olive Stones." *Desalination*, Vol. 222, No. 1–3, Hal. 519–27.

Srinivasakannan, C., dan Abu Bakar, M.Z. (2004), "Production of Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust." *Biomass Bioenergy*, Vol. 27, Hal. 89–96.

Studebaker, M.L. (1957), "The Chemistry of Carbon Black and Reinforcement." *Philips Chemical Company, Akron, Ohio*, Vol. 30, No. 5, Hal. 1400–1483.

Supriya, S., Divyashree, A., Yallappa, S., dan Hegde, G. (2018), "Carbon Nanospheres Obtained from Carbonization of Bio-Resource: A Catalyst Free Synthesis." *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 1, Hal. 2907–11.

Syakir, M., dan Karmawati, E. (2009), "Nyamplung (*Calophyllum inophyllum Linn.*)."

Thalib, S. (2011), "Pendugaan komposisi kimia biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) secara non-destruktif dengan metode Near Infrared (NIR)." *IPB*, Hal.188.

Tóth, J., ed. (2002), *Adsorption: Theory, Modeling, and Analysis*, Surfactant Science Series, v. 107, Marcel Dekker, New York.

van Nispen, S.F.G.M., Custers, J.P.A., van den Broeke, L.J.P., dan Keurentjes, J.T.F. (2010), "Characterization of the Binding of Multivalent Ions to Modified Pluronic Micelles by Isothermal Titration Calorimetry and Modified Conductometry." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 361, No. 1–3, Hal. 38–44.

Venkatesan, A., dan Wankat, P.C. (2017), "Produced Water Desalination: An Exploratory Study." *Desalination*, Vol. 404, Hal. 328–40.

Wajima, T. (2018), "Desalination Properties of a Natural Zeolite and Calcined Hydrotalcite Mixture in Seawater." *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 9, No. 4, Hal. 128–34.

Webb, J., dan Holgate, J.H. (2003), "Scanning Electron Microscopy" Hal. 7.

Wendimu, G., Zewge, F., dan Mulugeta, E. (2017), "Aluminium-Iron-Amended Activated Bamboo Charcoal (AIAABC) for Fluoride Removal from Aqueous Solutions." *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 16, Hal. 123–31.

Wibowo, E., Rokhmat, M., Sutisna, Khairurrijal, dan Abdullah, M. (2017), "Reduction of Seawater Salinity by Natural Zeolite (Clinoptilolite): Adsorption Isotherms, Thermodynamics and Kinetics." *Desalination*, Vol. 409, Hal. 146–56.

Wu, J.W. (2012), "A Study of Silica Gel Adsorption Desalination System." *School of Mechanical Engineering,University of Adelaide, Australia*, Hal. 158

Yahya, M.A., Al-Qodah, Z., dan Ngah, C.W.Z. (2015), "Agricultural Bio-Waste Materials as Potential Sustainable Precursors Used for Activated Carbon Production: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 46, Hal. 218–35.

Yao, S., Zhang, J., Shen, D., Xiao, R., Gu, S., Zhao, M., dan Liang, J. (2016), "Removal of Pb(II) from Water by the Activated Carbon Modified by Nitric Acid under Microwave Heating." *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 463, Hal. 118–27.

Yurdakal, S., Garlisi, C., Özcan, L., Bellardita, M., dan Palmisano, G. (2019), "(Photo)Catalyst Characterization Techniques." Dalam *Heterogeneous Photocatalysis*, Elsevier, Hal. 87–152

Zhang, C., Wang, X., Wang, H., Wu, X., dan Shen, J. (2019), "A Positive-Negative Alternate Adsorption Effect for Capacitive Deionization in Nano-Porous Carbon Aerogel Electrodes to Enhance Desalination Capacity." *Desalination*, Vol. 458, Hal. 45–53.

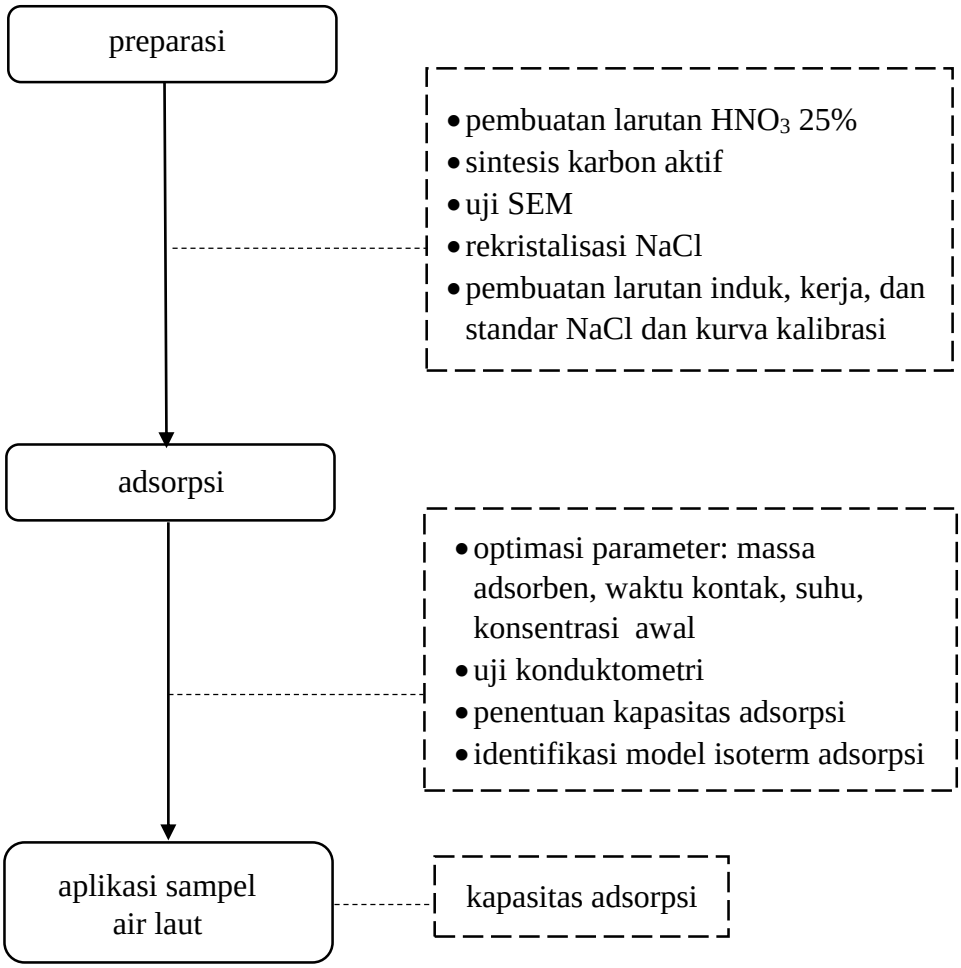
Zhu, Yaqiong, Gupta, K.M., Liu, Q., Jiang, J., Caro, J., dan Huang, A. (2016), "Synthesis and Seawater Desalination of Molecular Sieving Zeolitic Imidazolate Framework Membranes." *Desalination*, Vol. 385, Hal. 75–82.

Zhu, Yiying, Kolar, P., Shah, S.B., Cheng, J.J., dan Lim, P.K. (2016), "Avocado Seed-Derived Activated Carbon for Mitigation of Aqueous Ammonium." *Industrial Crops and Products*, Vol. 92, Hal. 34–41.

Halaman ini sengaja dikosongkan

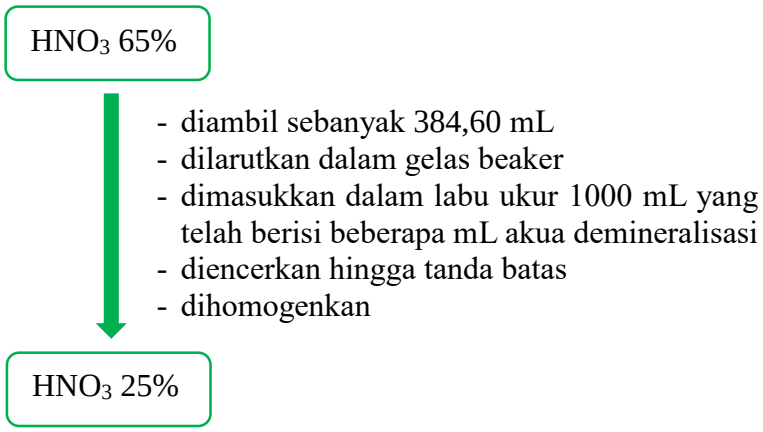
LAMPIRAN

Lampiran 1
Diagram Alir Penelitian

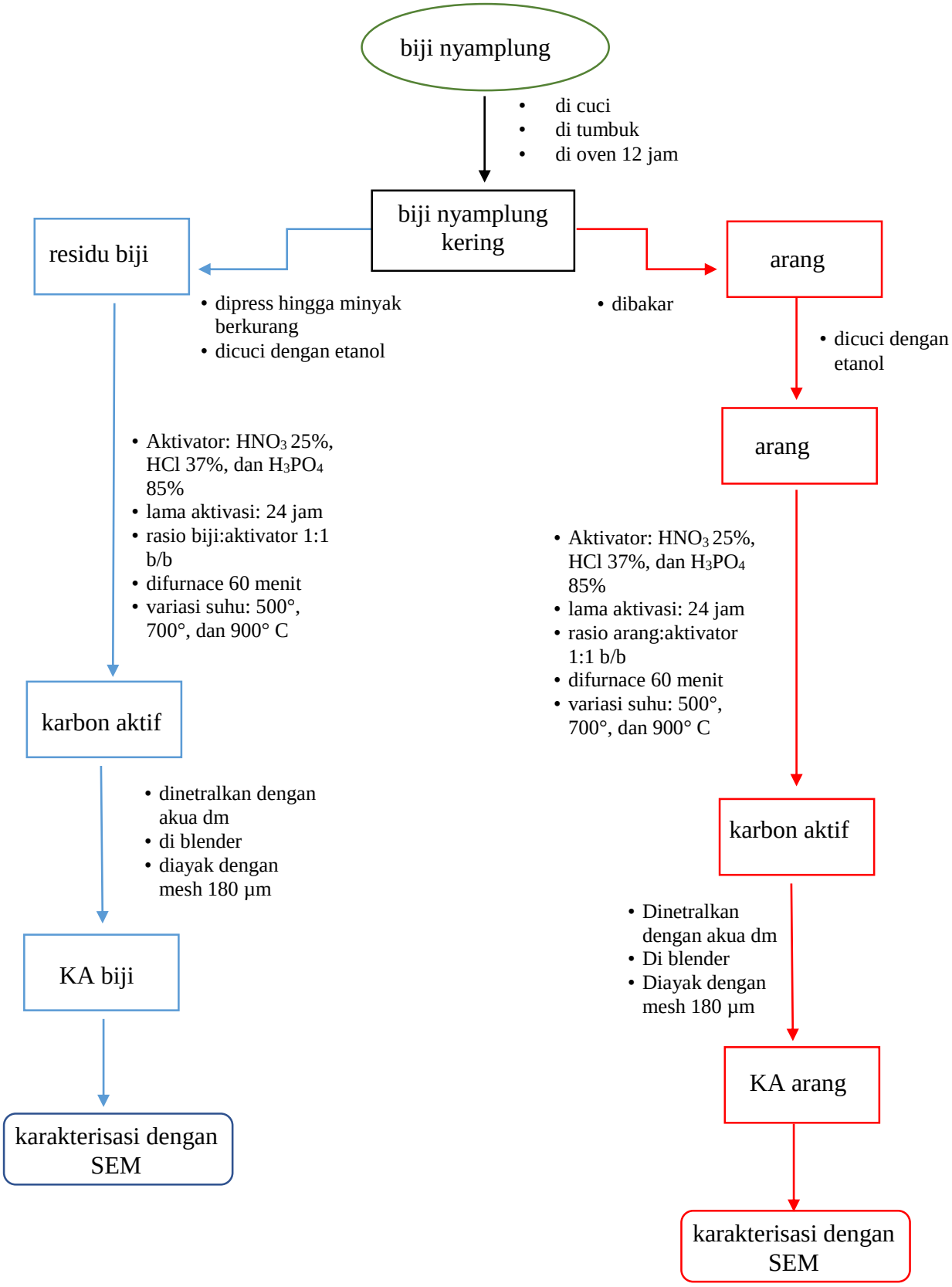


1. Preparasi

a. Pembuatan Larutan HNO_3 25% untuk Aktivasi Karbon

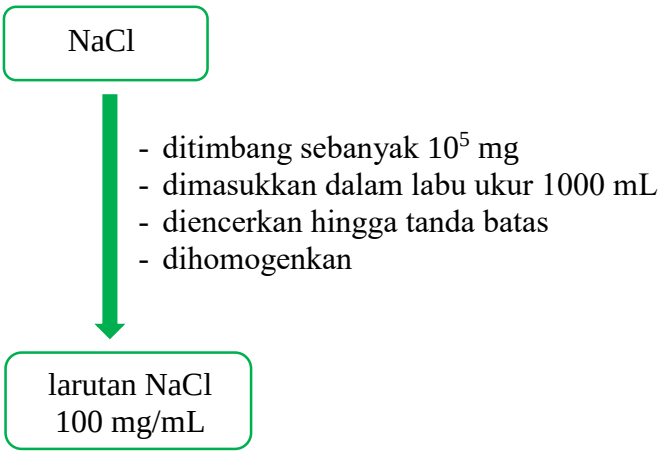


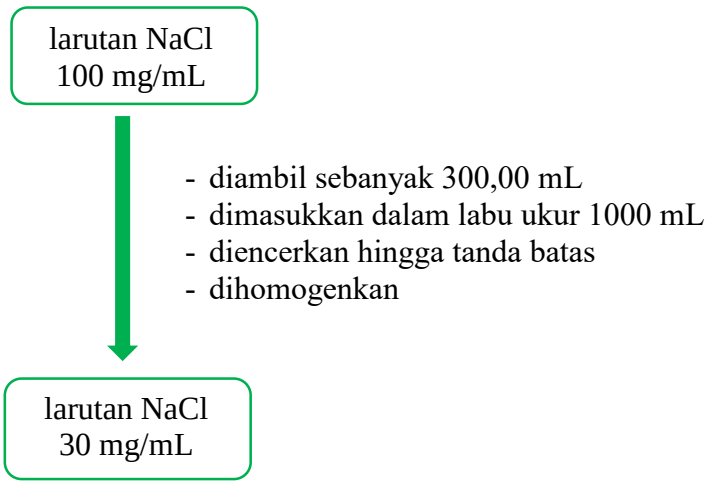
b. Sintesis Karbon Aktif



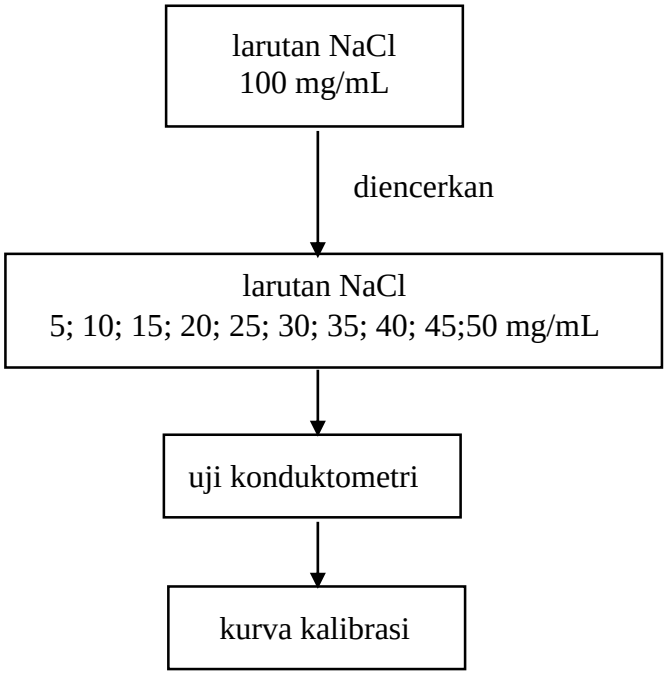
c. Rekristalisasi NaCl

d. Pembuatan Larutan Induk NaCl 10% dan Larutan Kerja NaCl 30 mg/mL



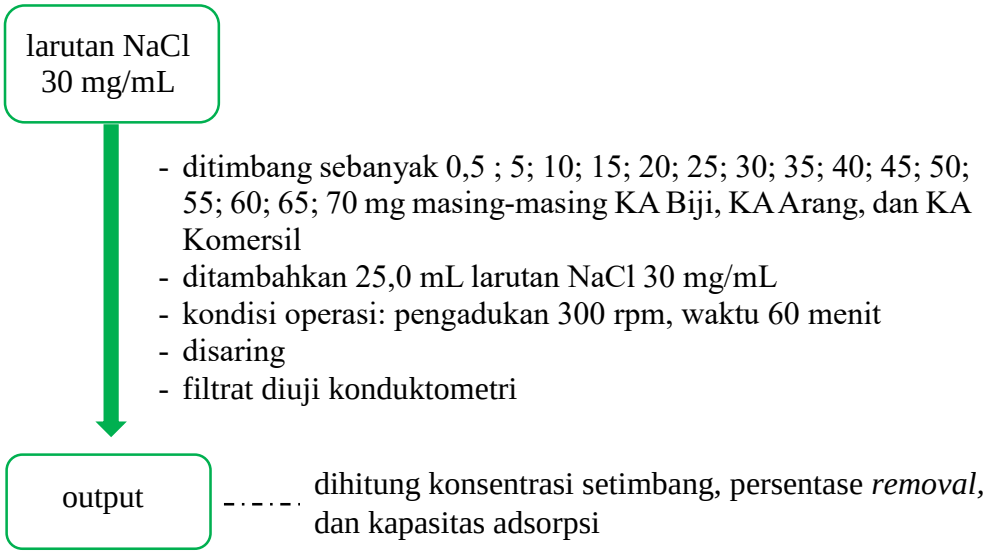


e. Pembuatan Larutan Standar NaCl untuk Kurva Kalibrasi

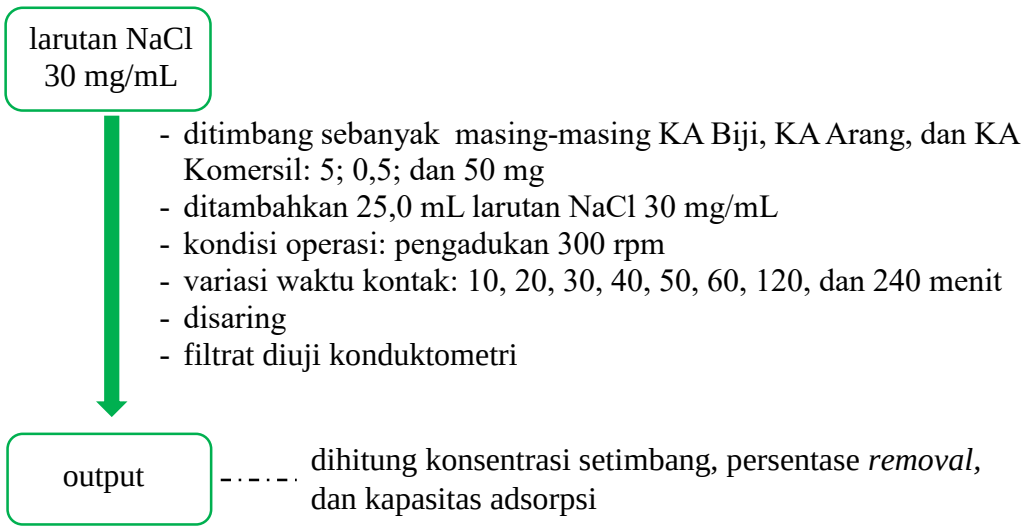


4. **Optimasi Parameter Adsorpsi dengan Metode *Batch***

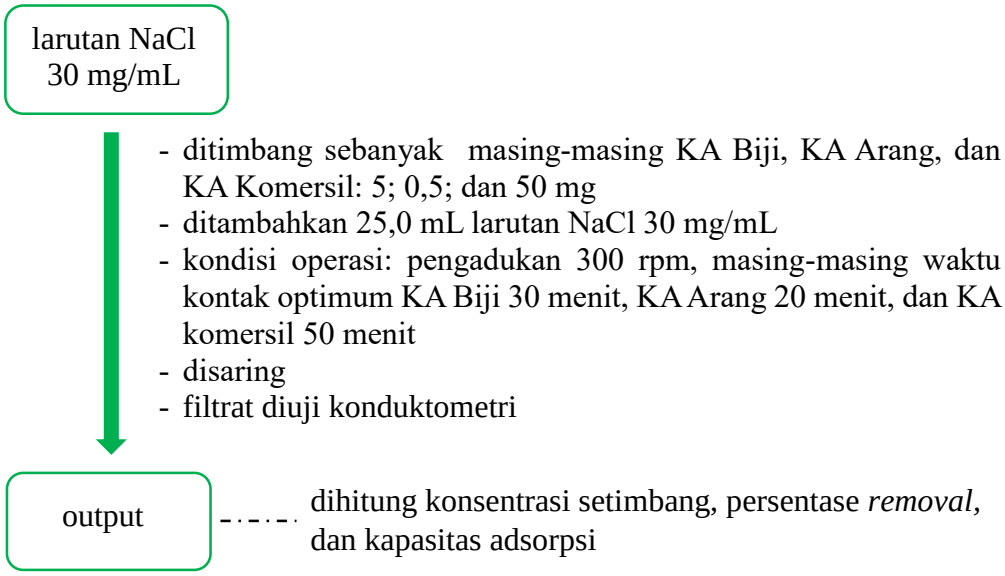
a. Optimasi Massa adsorben



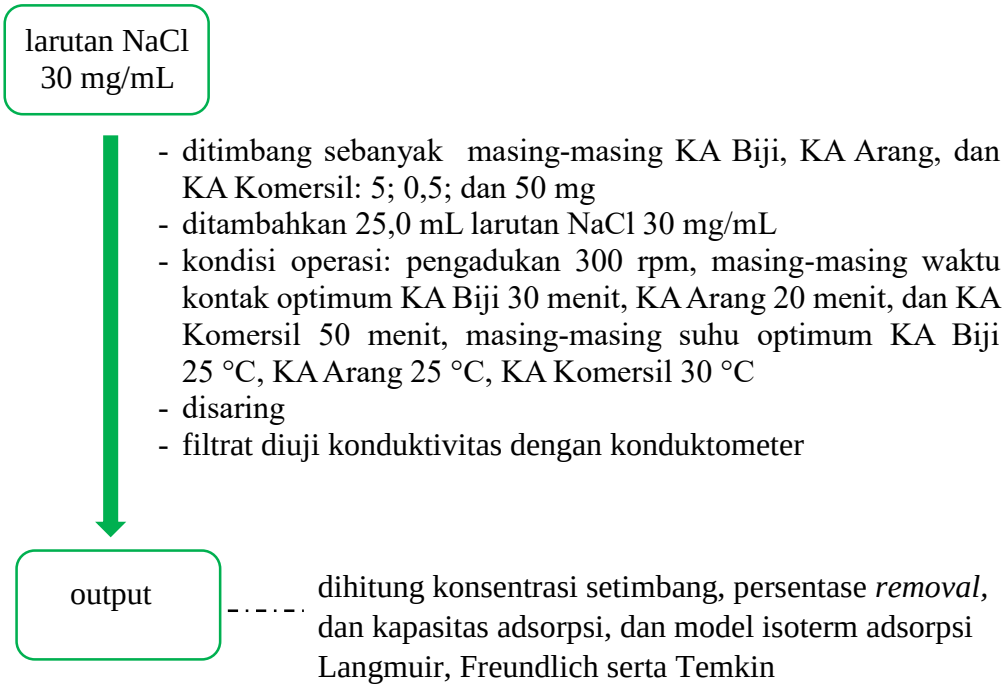
b. Optimasi waktu kontak



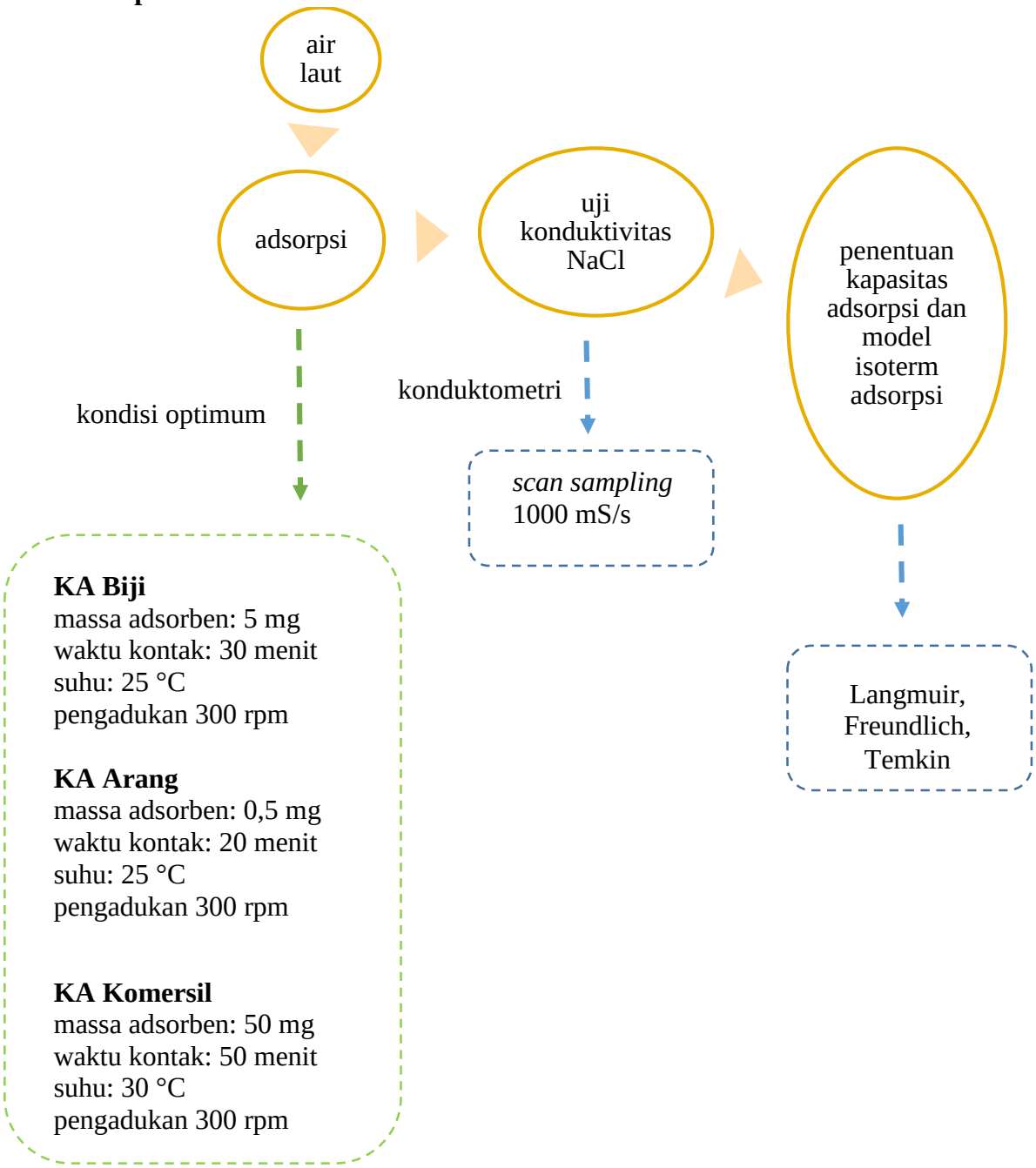
c. Optimasi Suhu



d. Variasi Konsentrasi Awal



5. **Aplikasi**


air laut
adsorpsi
uji konduktivitas NaCl
penentuan kapasitas adsorpsi dan model isoterm adsorpsi
kondisi optimum
konduktometri
scan sampling 1000 mS/s
Langmuir, Freundlich, Temkin
KA Biji
massa adsorben: 5 mg
waktu kontak: 30 menit
suhu: 25 °C
pengadukan 300 rpm
KA Arang
massa adsorben: 0,5 mg
waktu kontak: 20 menit
suhu: 25 °C
pengadukan 300 rpm
KA Komersil
massa adsorben: 50 mg
waktu kontak: 50 menit
suhu: 30 °C
pengadukan 300 rpm

Lampiran 2
Perhitungan Pembuatan Larutan

1. Pembuatan Larutan HNO_3 25% untuk Aktivasi Karbon

$$C_1 \text{ x } V_1 = C_2 \text{ x } V_2$$

$$65\ \% \text{ x } V_1 = 25\% \text{ x } 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{25\% \text{ x } 1000 \text{ mL}}{65\%}$$

$$V_1 = 384{,}60 \text{ mL}$$

dengan C_1 adalah konsentrasi HNO_3 pekat yang akan diencerkan, V_1 adalah volume yang diambil, C_2 adalah konsentrasi HNO_3 yang dibutuhkan, dan V_2 adalah volume akhir dalam proses pengenceran. Dalam praktiknya, diambil 384,60 mL HCl 65% dengan buret dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL kemudian ditambahkan akua demineralisasi hingga tanda batas.

2. Pembuatan larutan induk NaCl 100 mg/mL

$$100 \text{ mg/mL} = \frac{m_{NaCl}}{1000 \text{ mL}}$$

$$m_{NaCl} = 10^5 \text{ mg}$$

3. Pembuatan larutan kerja NaCl 30 mg/mL

$$C_1 \text{ x } V_1 = C_2 \text{ x } V_2$$

$$100 \text{ mg/mL x } V_1 = 30 \text{ mg/mL x } 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{30 \text{ mg/mL x } 1000 \text{ mL}}{100 \text{ mg/mL}}$$

$$V_1 = 300{,}00 \text{ mL}$$

4. Pembuatan Larutan Standar NaCl

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$100 \text{ mg/mL} \times V_1 = 5 \text{ mg/mL} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ mg/mL} \times 100 \text{ mL}}{100 \text{ mg/mL}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

Larutan induk	**V_2 (mL)**	**Konsentrasi akhir (mg/mL)**	**V_1 (mL)**
NaCl 100 mg/mL	100 mL	5	5
		10	10
		15	15
		20	20
		25	25
		30	30
		35	35
		40	40
		45	45
		50	50

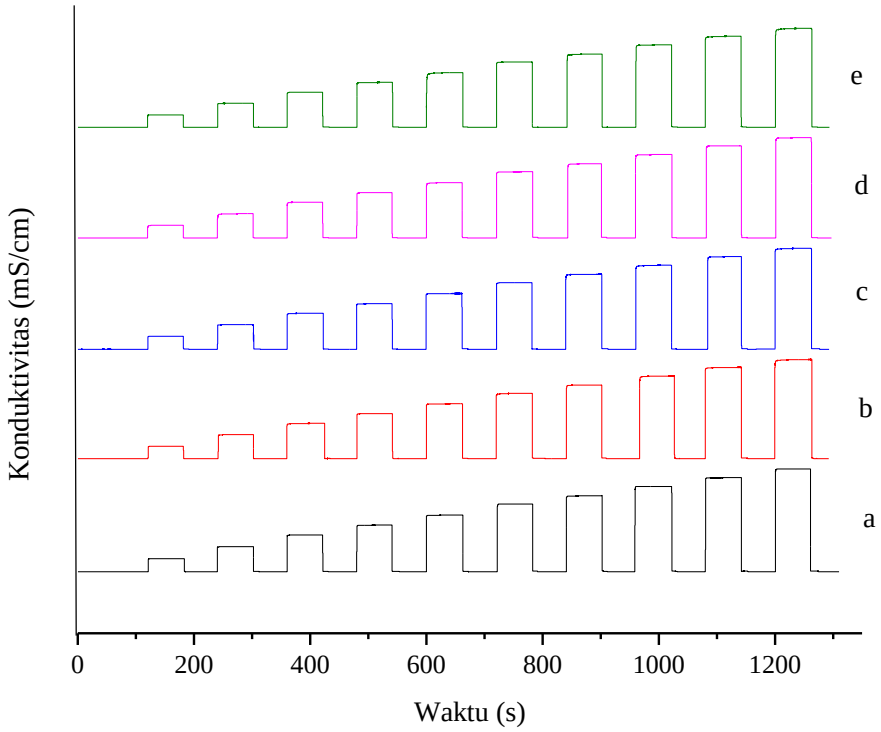
dengan C_1 adalah konsentrasi larutan induk, V_1 adalah volume yang diambil dari larutan induk, C_2 adalah konsentrasi akhir yang dibutuhkan, dan V_2 adalah volume akhir dalam proses pengenceran.

Lampiran 3
Pembuatan Kurva Kalibrasi

1. Pengukuran Larutan Standar NaCl untuk Kurva Kalibrasi

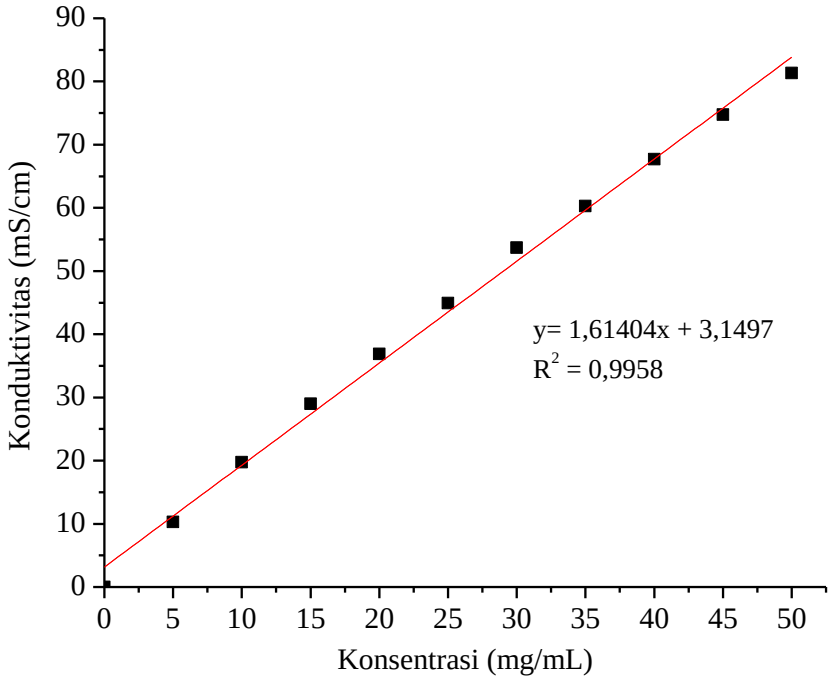
Tabel Lampiran 3. 1 Pengukuran Larutan Standar NaCl secara Konduktometri

Konsentrasi (mg/mL)	σ_1 (mS/cm)	σ_2 (mS/cm)	σ_3 (mS/cm)	σ_4 (mS/cm)	σ_5 (mS/cm)	Rata-rata σ (mS/cm)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	10,619	10,125	10,375	10,231	10,113	10,293
10	20,225	19,494	19,850	19,625	19,431	19,725
15	29,788	28,613	29,100	28,938	28,519	28,992
20	37,731	36,525	36,925	36,781	36,388	36,870
25	45,831	44,488	45,125	44,856	44,294	44,919
30	54,856	52,963	53,913	53,675	52,975	53,676
35	61,494	59,656	60,706	60,150	59,331	60,268
40	69,081	67,013	67,963	67,656	66,775	67,698
45	76,206	74,031	75,025	74,750	73,644	74,731
50	83,188	80,319	81,688	81,319	80,181	81,339



Gambar Lampiran 3. 1 Grafik konduktivitas larutan standar NaCl replikasi 1 (a) replikasi 2 (b) replikasi 3 (c) replikasi 4 (d) replikasi 5 (e)

2. Pembuatan Kurva Kalibrasi



Gambar Lampiran 3. 2 Kurva kalibrasi larutan standar NaCl

Lampiran 4 A
Perhitungan Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi

1. Perhitugan Persentase *Removal* NaCl

Persentase *removal* dihitung dengan persamaan 2:

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

Keterangan:

C_0 = Konsentrasi awal larutan NaCl (mg/mL)

C_e = Konsentrasi larutan saat kesetimbangan (mg/mL)

2. Hasil Adsorpsi dengan Metode *Batch*

a. Pengaruh Massa adsorben terhadap Persentase *Removal* Larutan NaCl

Pengukuran konduktivitas hasil adsorpsi disubstitusikan ke dalam persamaan regresi linier kurva kalibrasi (y = 1,61404x + 3,1497) sehingga didapat nilai C_e. Penentuan C_e untuk massa adsorben 0,5 mg dapat dihitung dengan mensubstitusikan nilai konduktivitas 49,630 mS/cm sebagai y pada persamaan berikut.

$$y = 1{,}61404x + 3{,}1497$$

$$x = \frac{49{,}630 - 3{,}1497}{1{,}61404}$$

$$x = 28{,}80 \text{ mg/mL}$$

$$C_e = 28{,}80 \text{ mg/mL}$$

Kemudian nilai C_e dimasukkan ke dalam persamaan 2 untuk menentukan persentase *removal*.

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(30{,}00 \text{ mg/mL} - 28{,}80 \text{ mg/mL})}{30{,}00 \text{ mg/mL}} \times 100$$

Selanjutnya untuk replikasi pengukuran dan variasi massa adsorben lainnya ditampilkan pada Tabel Lampiran 4.A.1. Kondisi operasi dilakukan pada

pengadukan 300 rpm selama 60 menit dengan 25,0 mL volume larutan NaCl 30 mg/mL.

Tabel Lampiran 4 A. 1 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Biji

Massa Adsorben (mg)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
0,5	30,00	49,630	28,80	28,79	4,01	4,04
	30,00	49,621	28,79		4,03	
	30,00	49,591	28,77		4,09	
5	30,00	48,388	28,03	28,04	6,57	6,55
	30,00	48,400	28,04		6,55	
	30,00	48,412	28,04		6,52	
10	30,00	48,600	28,16	28,11	6,14	6,30
	30,00	48,515	28,11		6,31	
	30,00	48,441	28,06		6,46	
15	30,00	48,671	28,20	28,20	5,99	6,01
	30,00	48,626	28,18		6,08	
	30,00	48,691	28,22		5,95	
20	30,00	48,782	28,27	28,24	5,76	5,87
	30,00	48,738	28,24		5,85	
	30,00	48,66	28,20		6,01	
25	30,00	48,759	28,26	28,25	5,81	5,84
	30,00	48,787	28,28		5,75	
	30,00	48,691	28,22		5,95	
30	30,00	48,779	28,27	28,25	5,77	5,84
	30,00	48,657	28,19		6,02	
	30,00	48,798	28,28		5,73	
35	30,00	48,842	28,31	28,25	5,64	5,83
	30,00	48,752	28,25		5,82	
	30,00	48,646	28,19		6,04	
40	30,00	48,784	28,27	28,25	5,76	5,83
	30,00	48,702	28,22		5,93	
	30,00	48,755	28,26		5,82	
45	30,00	48,787	28,28	28,25	5,75	5,83
	30,00	48,794	28,28		5,74	
	30,00	48,659	28,20		6,01	
50	30,00	48,792	28,28	28,25	5,74	5,82
	30,00	48,749	28,25		5,83	
	30,00	48,713	28,23		5,90	

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	*Removal* (%)	Rata-Rata *Removal* (%)
55	30,00	48,801	28,28	28,25	5,72	5,82
	30,00	48,742	28,25		5,84	
	30,00	48,709	28,23		5,91	
60	30,00	48,733	28,24	28,25	5,86	5,82
	30,00	48,797	28,28		5,73	
	30,00	48,732	28,24		5,86	
65	30,00	48,731	28,24	28,25	5,87	5,82
	30,00	48,789	28,28		5,75	
	30,00	48,735	28,24		5,86	
70	30,00	48,750	28,25	28,25	5,83	5,82
	30,00	48,762	28,26		5,80	
	30,00	48,747	28,25		5,83	

Tabel Lampiran 4 A. 2 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Arang

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	*Removal* (%)	Rata-Rata *Removal* (%)
0,5	30,00	47,481	27,47	27,43	8,45	8,55
	30,00	47,594	27,54		8,21	
	30,00	47,213	27,30		9,00	
5	30,00	47,701	27,60	27,58	7,99	8,05
	30,00	47,692	27,60		8,01	
	30,00	47,623	27,55		8,15	
10	30,00	47,631	27,56	27,75	8,14	7,50
	30,00	48,644	28,19		6,05	
	30,00	47,541	27,50		8,32	
15	30,00	48,239	27,94	27,89	6,88	7,03
	30,00	48,128	27,87		7,11	
	30,00	48,128	27,87		7,11	
20	30,00	48,299	27,97	28,02	6,76	6,59
	30,00	48,375	28,02		6,60	
	30,00	48,462	28,07		6,42	
25	30,00	48,402	28,04	28,12	6,54	6,27
	30,00	48,518	28,11		6,31	
	30,00	48,691	28,22		5,95	

Massa Adsorben (mg)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
30	30,00	48,607	28,16	28,24	6,12	5,86
	30,00	48,720	28,23		5,89	
	30,00	48,881	28,33		5,56	
35	30,00	48,849	28,31	28,35	5,62	5,50
	30,00	48,963	28,38		5,39	
	30,00	48,910	28,35		5,50	
40	30,00	49,071	28,45	28,42	5,16	5,28
	30,00	48,995	28,40		5,32	
	30,00	48,982	28,40		5,35	
45	30,00	49,128	28,49	28,47	5,05	5,09
	30,00	49,168	28,51		4,96	
	30,00	49,029	28,43		5,25	
50	30,00	49,135	28,49	28,47	5,03	5,09
	30,00	49,075	28,45		5,15	
	30,00	49,108	28,47		5,09	
55	30,00	49,099	28,47	28,47	5,11	5,09
	30,00	49,010	28,41		5,29	
	30,00	49,209	28,54		4,88	
60	30,00	49,154	28,50	28,47	4,99	5,09
	30,00	49,112	28,48		5,08	
	30,00	49,052	28,44		5,20	
65	30,00	49,128	28,49	28,47	5,05	5,09
	30,00	49,151	28,50		5,00	
	30,00	49,047	28,44		5,21	
70	30,00	49,161	28,51	28,47	4,98	5,09
	30,00	49,130	28,49		5,04	
	30,00	49,032	28,43		5,24	

Tabel Lampiran 4 A. 3 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Komersil

Massa Adsorben (mg)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
0,5	30,00	51,330	29,85	29,86	0,50	0,48
	30,00	51,351	29,86		0,45	
	30,00	51,331	29,85		0,50	
5	30,00	51,008	29,65	29,65	1,16	1,17
	30,00	51,005	29,65		1,17	
	30,00	51,001	29,65		1,18	
10	30,00	50,690	29,45	29,45	1,82	1,83
	30,00	50,710	29,47		1,78	
	30,00	50,661	29,44		1,88	
15	30,00	50,468	29,32	29,31	2,28	2,30
	30,00	50,448	29,30		2,32	
	30,00	50,452	29,31		2,31	
20	30,00	50,102	29,09	29,10	3,03	3,00
	30,00	50,138	29,11		2,96	
	30,00	50,111	29,10		3,02	
25	30,00	49,726	28,86	28,88	3,81	3,75
	30,00	49,795	28,90		3,67	
	30,00	49,752	28,87		3,76	
30	30,00	49,386	28,65	28,66	4,51	4,47
	30,00	49,360	28,63		4,57	
	30,00	49,479	28,70		4,32	
35	30,00	49,016	28,42	28,43	5,28	5,24
	30,00	49,071	28,45		5,16	
	30,00	49,010	28,41		5,29	
40	30,00	48,698	28,22	28,21	5,93	5,97
	30,00	48,668	28,20		6,00	
	30,00	48,681	28,21		5,97	
45	30,00	48,350	28,00	27,99	6,65	6,70
	30,00	48,312	27,98		6,73	
	30,00	48,321	27,99		6,71	
50	30,00	47,935	27,75	27,77	7,51	7,45
	30,00	47,962	27,76		7,45	
	30,00	48,000	27,79		7,38	
55	30,00	47,987	27,78	27,77	7,40	7,42
	30,00	47,962	27,76		7,45	
	30,00	47,983	27,78		7,41	

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	*Removal* (%)	Rata-Rata *Removal* (%)
60	30,00	48,054	27,82	27,79	7,26	7,36
	30,00	47,980	27,78		7,42	
	30,00	47,982	27,78		7,41	
65	30,00	48,002	27,79	27,79	7,37	7,36
	30,00	48,012	27,79		7,35	
	30,00	48,014	27,80		7,35	
70	30,00	47,929	27,74	27,79	7,52	7,36
	30,00	48,032	27,81		7,31	
	30,00	48,059	27,82		7,25	

b. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Persentase *Removal* Larutan NaCl

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan persentase *removal* pada variasi massa adsorben. Kondisi operasi dilakukan dengan massa adsorben KA Biji, KA Arang, KA Komersil masing-masing 5; 0,5; dan 50 mg dengan pengadukan 300 rpm dan volume larutan NaCl 30 mg/mL sebanyak 25,0 mL.

Tabel Lampiran 4 A. 4 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Biji

Waktu Kontak (menit)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	*Removal* (%)	Rata-Rata *Removal* (%)
10	30,00	48,902	28,35	28,32	5,51	5,60
	30,00	48,864	28,32		5,59	
	30,00	48,811	28,29		5,70	
20	30,00	48,630	28,18	28,13	6,07	6,22
	30,00	48,518	28,11		6,31	
	30,00	48,523	28,11		6,29	
30	30,00	48,319	27,99	27,98	6,72	6,74
	30,00	48,300	27,97		6,76	
	30,00	48,300	27,97		6,76	
40	30,00	48,321	27,99	27,99	6,71	6,71
	30,00	48,319	27,99		6,72	
	30,00	48,322	27,99		6,71	

Waktu Kontak (menit)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
50	30,00	48,321	27,99	27,99	6,71	6,69
	30,00	48,348	28,00		6,66	
	30,00	48,322	27,99		6,71	
60	30,00	48,335	28,00	28,00	6,68	6,67
	30,00	48,349	28,00		6,65	
	30,00	48,338	28,00		6,68	
120	30,00	48,347	28,00	28,00	6,66	6,66
	30,00	48,370	28,02		6,61	
	30,00	48,320	27,99		6,71	
240	30,00	48,332	27,99	28,00	6,69	6,66
	30,00	48,348	28,00		6,66	
	30,00	48,361	28,01		6,63	

Tabel Lampiran 4 A. 5 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Arang

Waktu Kontak (menit)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
10	30,00	47,911	27,73	27,74	7,56	7,54
	30,00	47,907	27,73		7,57	
	30,00	47,946	27,75		7,49	
20	30,00	47,738	27,63	27,58	7,92	8,07
	30,00	47,781	27,65		7,83	
	30,00	47,469	27,46		8,47	
30	30,00	47,818	27,67	27,59	7,75	8,04
	30,00	47,735	27,62		7,92	
	30,00	47,481	27,47		8,45	
40	30,00	47,799	27,66	27,62	7,79	7,94
	30,00	47,808	27,67		7,77	
	30,00	47,577	27,53		8,25	
50	30,00	47,772	27,65	27,63	7,85	7,90
	30,00	47,749	27,63		7,89	
	30,00	47,720	27,61		7,95	
60	30,00	47,765	27,64	27,64	7,86	7,86
	30,00	47,742	27,63		7,91	
	30,00	47,791	27,66		7,81	

Waktu Kontak (menit)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
120	30,00	47,847	27,69	27,65	7,69	27,65
	30,00	47,875	27,71		7,63	
	30,00	47,629	27,56		8,14	
240	30,00	47,827	27,68	27,65	7,73	7,82
	30,00	47,857	27,70		7,67	
	30,00	47,668	27,58		8,06	

Tabel Lampiran 4 A. 6 Persentase *Remova*l Hasil Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Komersil

Waktu Kontak (menit)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
10	30,00	49,117	28,48	28,50	5,07	4,99
	30,00	49,122	28,48		5,06	
	30,00	49,219	28,54		4,86	
20	30,00	48,532	28,12	28,36	6,28	5,46
	30,00	48,531	28,12		6,28	
	30,00	49,719	28,85		3,82	
30	30,00	48,716	28,23	28,22	5,90	5,94
	30,00	48,670	28,20		5,99	
	30,00	48,692	28,22		5,95	
40	30,00	48,436	28,06	28,07	6,47	6,44
	30,00	48,405	28,04		6,54	
	30,00	48,519	28,11		6,30	
50	30,00	48,167	27,89	27,86	7,03	7,13
	30,00	48,114	27,86		7,14	
	30,00	48,081	27,84		7,21	
60	30,00	48,225	27,93	27,92	6,91	6,94
	30,00	48,110	27,86		7,15	
	30,00	48,291	27,97		6,77	
120	30,00	48,179	27,90	27,92	7,01	6,92
	30,00	48,183	27,90		7,00	
	30,00	48,293	27,97		6,77	
240	30,00	48,217	27,92	27,93	6,93	6,90
	30,00	48,315	27,98		6,72	
	30,00	48,162	27,89		7,04	

c. Pengaruh Suhu terhadap Persentase *Removal* Larutan NaCl

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan persentase *removal* pada variasi massa adsorben. Kondisi operasi dilakukan pada massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil masing-masing yaitu 5; 0,5; 50 mg. Waktu kontak KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil masing-masing 30, 20, dan 50 menit. Pengadukan 300 rpm dan volume larutan NaCl 30 mg/mL sebanyak 25,0 mL.

Tabel Lampiran 4 A. 7 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Biji

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
25	30,00	48,344	28,00	28,14	6,66	6,19
	30,00	48,513	28,11		6,32	
	30,00	48,863	28,32		5,59	
30	30,00	48,792	28,28	28,22	5,74	5,94
	30,00	48,688	28,21		5,95	
	30,00	48,601	28,16		6,13	
35	30,00	48,868	28,33	28,27	5,58	5,77
	30,00	48,791	28,28		5,74	
	30,00	48,673	28,20		5,99	
40	30,00	48,911	28,35	28,29	5,49	5,69
	30,00	48,803	28,28		5,72	
	30,00	48,739	28,25		5,85	
45	30,00	48,869	28,33	28,30	5,58	5,67
	30,00	48,971	28,39		5,37	
	30,00	48,642	28,19		6,05	

Tabel Lampiran 4 A. 8 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Arang

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
25	30,00	47,862	27,70	27,57	7,66	8,10
	30,00	47,431	27,43		8,55	
	30,00	47,656	27,57		8,09	
30	30,00	47,724	27,62	27,62	7,95	7,94
	30,00	47,781	27,65		7,83	
	30,00	47,674	27,59		8,05	
35	30,00	47,821	27,68	27,69	7,74	7,70
	30,00	47,843	27,69		7,70	
	30,00	47,862	27,70		7,66	
40	30,00	47,890	27,72	27,74	7,60	7,53
	30,00	47,934	27,75		7,51	
	30,00	47,945	27,75		7,49	
45	30,00	48,193	27,91	27,75	6,98	7,49
	30,00	47,790	27,66		7,81	
	30,00	47,844	27,69		7,70	

Tabel Lampiran 4 A. 9 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Komersil

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
25	30,00	47,844	27,69	27,70	7,70	7,65
	30,00	47,740	27,63		7,91	
	30,00	48,012	27,79		7,35	
30	30,00	47,844	27,69	27,60	7,70	8,01
	30,00	47,519	27,49		8,37	
	30,00	47,712	27,61		7,97	
35	30,00	47,709	27,61	27,64	7,98	7,88
	30,00	47,811	27,67		7,77	
	30,00	47,746	27,63		7,90	
40	30,00	47,765	27,64	27,65	7,86	7,84
	30,00	47,723	27,62		7,95	
	30,00	47,832	27,68		7,72	
45	30,00	47,796	27,66	27,66	7,80	7,82
	30,00	47,789	27,66		7,81	
	30,00	47,775	27,65		7,84	

d. Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Persentase *Removal* Larutan NaCl

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan persentase *removal* pada variasi massa adsorben. Kondisi operasi dilakukan pada massa adsorben KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil masing-masing yaitu 5; 0,5; 50 mg. Waktu kontak KA Biji, KA Arang, dan KA Komersil masing-masing 30, 20, dan 50 menit. Suhu KA Biji dan KA Arang pada 25° C dan KA Komersil pada suhu 30° C. Pengadukan 300 rpm dan volume larutan NaCl 30 mg/mL sebanyak 25,0 mL .

Tabel Lampiran 4 A. 10 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Biji

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
10	17,990	9,19	9,16	8,06	8,42
	17,845	9,10		8,95	
	17,959	9,18		8,25	
15	25,476	13,83	13,75	7,78	8,32
	25,211	13,67		8,88	
	25,350	13,75		8,30	
20	32,829	18,39	18,39	8,06	8,05
	32,726	18,32		8,38	
	32,944	18,46		7,70	
25	40,498	23,14	23,08	7,44	7,69
	40,308	23,02		7,91	
	40,383	23,07		7,73	
30	48,171	27,89	27,88	7,02	7,06
	48,156	27,88		7,05	
	48,129	27,87		7,11	
35	55,891	32,68	32,67	6,64	6,65
	55,871	32,66		6,67	
	55,889	32,68		6,64	
40	63,748	37,54	37,56	6,14	6,09
	63,795	37,57		6,07	
	63,799	37,58		6,06	

Tabel Lampiran 4 A. 11 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Arang

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
10	17,790	9,07	9,01	9,29	9,91
	17,699	9,01		9,86	
	17,584	8,94		10,57	
15	24,863	13,45	13,58	10,32	9,47
	24,967	13,52		9,89	
	25,370	13,77		8,22	
20	32,438	18,15	18,19	9,27	9,07
	32,499	18,18		9,08	
	32,575	18,23		8,85	
25	39,861	22,74	22,85	9,02	8,60
	39,843	22,73		9,07	
	40,384	23,07		7,72	
30	47,691	27,60	27,54	8,01	8,22
	47,563	27,52		8,28	
	47,525	27,49		8,36	
35	55,381	32,36	32,37	7,54	7,51
	55,376	32,36		7,55	
	55,432	32,39		7,45	
40	63,225	37,22	37,23	6,95	6,94
	63,201	37,21		6,99	
	63,272	37,25		6,88	

Tabel Lampiran 4 A. 12 Persentase *Removal* Hasil Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Komersil

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	***Removal* (%)**	**Rata-Rata *Removal* (%)**
10	18,150	9,29	9,23	7,06	7,69
	17,997	9,20		8,01	
	17,999	9,20		8,00	
15	25,790	14,03	14,00	6,49	6,66
	25,718	13,98		6,78	
	25,739	14,00		6,70	
20	33,620	18,88	18,88	5,61	5,58
	33,646	18,89		5,53	
	33,626	18,88		5,59	
25	41,482	23,75	23,76	5,00	4,96
	41,565	23,80		4,80	
	41,447	23,73		5,09	
30	49,587	28,77	28,76	4,10	4,12
	49,595	28,78		4,08	
	49,54	28,74		4,19	
35	57,65	33,77	33,75	3,53	3,57
	57,609	33,74		3,60	
	57,622	33,75		3,57	
40	65,659	38,73	38,76	3,18	3,09
	65,725	38,77		3,08	
	65,769	38,80		3,01	

Lampiran 4 B

Perhitungan Kapasitas Adsorpsi

1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif

Kapasitas adsorpsi dihitung dengan persamaan 1:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)\ V}{m}$$

Keterangan:

q_e = kapasitas adsorpsi saat kondisi setimbang (mg/mg)

C_0 = Konsentrasi awal larutan NaCl (mg/mL)

C_e = Konsentrasi larutan saat kesetimbangan (mg/mL)

V = Volume larutan (mL)

m = massa adsorben (mg)

2. Hasil Adsorpsi dengan Metode *Batch*

a. Pengaruh Massa adsorben terhadap Kapasitas Adsorpsi KA

Pengukuran konduktivitas hasil adsorpsi disubstitusikan ke dalam persamaan regresi linier kurva kalibrasi (y = 1,61404x + 3,1497) sehingga didapat nilai C_e. Penentuan C_e untuk massa adsorben 0,5 mg dapat dihitung dengan mensubstitusikan nilai konduktivitas 48,344 mS/cm sebagai y pada persamaan berikut.

$$y = 1{,}61404x + 3{,}1497$$

$$x = \frac{48{,}344 - 3{,}1497}{1{,}61404}$$

$$x = 28{,}00 \text{ mg/mL}$$

$$C_e = 28{,}00 \text{ mg/mL}$$

Kemudian nilai C_e dimasukkan ke dalam persamaan 1 untuk menentukan kapasitas adsorpsi.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)\ V}{m}$$

$$q_e = \frac{(30{,}00 \text{ mg/mL} - 28{,}00 \text{ mg/mL})\ 25 \text{ mL}}{0{,}5 \text{ mg}}$$

$$q_e = 60{,}13 \text{ mg/mg}$$

Selanjutnya untuk replikasi pengukuran dan variasi massa adsorben lainnya ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel Lampiran 4 B. 1 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Biji

Massa Adsorben (mg)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
0,5	30,00	49,630	28,80	28,79	60,13	60,63
	30,00	49,621	28,79		60,41	
	30,00	49,591	28,77		61,34	
5	30,00	48,388	28,03	28,04	9,86	9,82
	30,00	48,400	28,04		9,82	
	30,00	48,412	28,04		9,79	
10	30,00	48,600	28,16	28,11	4,60	4,73
	30,00	48,515	28,11		4,73	
	30,00	48,441	28,06		4,85	
15	30,00	48,671	28,20	28,20	2,99	3,00
	30,00	48,626	28,18		3,04	
	30,00	48,691	28,22		2,97	
20	30,00	48,782	28,27	28,24	2,16	2,20
	30,00	48,738	28,24		2,19	
	30,00	48,66	28,20		2,25	
25	30,00	48,759	28,26	28,25	1,74	1,75
	30,00	48,787	28,28		1,72	
	30,00	48,691	28,22		1,78	
30	30,00	48,779	28,27	28,25	1,44	1,46
	30,00	48,657	28,19		1,50	
	30,00	48,798	28,28		1,43	
35	30,00	48,842	28,31	28,25	1,21	1,25
	30,00	48,752	28,25		1,25	
	30,00	48,646	28,19		1,29	
40	30,00	48,784	28,27	28,25	1,08	1,09
	30,00	48,702	28,22		1,11	
	30,00	48,755	28,26		1,09	
45	30,00	48,787	28,28	28,25	0,96	0,97
	30,00	48,794	28,28		0,96	
	30,00	48,659	28,20		1,00	
50	30,00	48,792	28,28	28,25	0,86	0,87
	30,00	48,749	28,25		0,87	
	30,00	48,713	28,23		0,89	

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
55	30,00	48,801	28,28	28,25	0,78	0,79
	30,00	48,742	28,25		0,80	
	30,00	48,709	28,23		0,81	
60	30,00	48,733	28,24	28,25	0,73	0,73
	30,00	48,797	28,28		0,72	
	30,00	48,732	28,24		0,73	
65	30,00	48,731	28,24	28,25	0,68	0,67
	30,00	48,789	28,28		0,66	
	30,00	48,735	28,24		0,68	
70	30,00	48,75	28,25	28,25	0,62	0,62
	30,00	48,762	28,26		0,62	
	30,00	48,747	28,25		0,62	

Tabel Lampiran 4 B. 2 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Arang

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
0,5	30,00	47,481	27,47	27,43	126,70	128,30
	30,00	47,594	27,54		123,20	
	30,00	47,213	27,30		135,01	
5	30,00	47,701	27,60	27,58	11,99	12,08
	30,00	47,692	27,60		12,02	
	30,00	47,623	27,55		12,23	
10	30,00	47,631	27,56	27,75	6,10	5,63
	30,00	48,644	28,19		4,53	
	30,00	47,541	27,50		6,24	
15	30,00	48,239	27,94	27,89	3,44	3,52
	30,00	48,128	27,87		3,56	
	30,00	48,128	27,87		3,56	
20	30,00	48,299	27,97	28,02	2,53	2,47
	30,00	48,375	28,02		2,48	
	30,00	48,462	28,07		2,41	
25	30,00	48,402	28,04	28,12	1,96	1,88
	30,00	48,518	28,11		1,89	
	30,00	48,691	28,22		1,78	

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
30	30,00	48,607	28,16	28,24	1,53	1,46
	30,00	48,720	28,23		1,47	
	30,00	48,881	28,33		1,39	
35	30,00	48,849	28,31	28,35	1,20	1,18
	30,00	48,963	28,38		1,15	
	30,00	48,910	28,35		1,18	
40	30,00	49,071	28,45	28,42	0,97	0,99
	30,00	48,995	28,40		1,00	
	30,00	48,982	28,40		1,00	
45	30,00	49,128	28,49	28,47	0,84	0,85
	30,00	49,168	28,51		0,83	
	30,00	49,029	28,43		0,87	
50	30,00	49,135	28,49	28,47	0,75	0,76
	30,00	49,075	28,45		0,77	
	30,00	49,108	28,47		0,76	
55	30,00	49,099	28,47	28,47	0,70	0,69
	30,00	49,010	28,41		0,72	
	30,00	49,209	28,54		0,67	
60	30,00	49,154	28,50	28,47	0,62	0,64
	30,00	49,112	28,48		0,63	
	30,00	49,052	28,44		0,65	
65	30,00	49,128	28,49	28,47	0,58	0,59
	30,00	49,151	28,50		0,58	
	30,00	49,047	28,44		0,60	
70	30,00	49,161	28,51	28,47	0,53	0,55
	30,00	49,130	28,49		0,54	
	30,00	49,032	28,43		0,56	

Tabel Lampiran 4 B. 3 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Massa adsorben dengan KA Komersil

Massa Adsorben (mg)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
0,5	30,00	51,330	29,85	29,86	7,47	7,24
	30,00	51,351	29,86		6,82	
	30,00	51,331	29,85		7,44	
5	30,00	51,008	29,65	29,65	1,74	1,75
	30,00	51,005	29,65		1,75	
	30,00	51,001	29,65		1,77	
10	30,00	50,690	29,45	29,45	1,36	1,37
	30,00	50,710	29,47		1,33	
	30,00	50,661	29,44		1,41	
15	30,00	50,468	29,32	29,31	1,14	1,15
	30,00	50,448	29,30		1,16	
	30,00	50,452	29,31		1,16	
20	30,00	50,102	29,09	29,10	1,14	1,13
	30,00	50,138	29,11		1,11	
	30,00	50,111	29,10		1,13	
25	30,00	49,726	28,86	28,88	1,14	1,12
	30,00	49,795	28,90		1,10	
	30,00	49,752	28,87		1,13	
30	30,00	49,386	28,65	28,66	1,13	1,12
	30,00	49,36	28,63		1,14	
	30,00	49,479	28,70		1,08	
35	30,00	49,016	28,42	28,43	1,13	1,12
	30,00	49,071	28,45		1,11	
	30,00	49,010	28,41		1,13	
40	30,00	48,698	28,22	28,21	1,11	1,12
	30,00	48,668	28,20		1,12	
	30,00	48,681	28,21		1,12	
45	30,00	48,350	28,00	27,99	1,11	1,12
	30,00	48,312	27,98		1,12	
	30,00	48,321	27,99		1,12	
50	30,00	47,935	27,75	27,77	1,13	1,12
	30,00	47,962	27,76		1,12	
	30,00	48,000	27,79		1,11	
55	30,00	47,987	27,78	27,77	1,01	1,01
	30,00	47,962	27,76		1,02	
	30,00	47,983	27,78		1,01	

Massa Adsorben (mg)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
60	30,00	48,054	27,82	27,79	0,91	0,92
	30,00	47,980	27,78		0,93	
	30,00	47,982	27,78		0,93	
65	30,00	48,002	27,79	27,79	0,85	0,85
	30,00	48,012	27,79		0,85	
	30,00	48,014	27,80		0,85	
70	30,00	47,929	27,74	27,79	0,81	0,79
	30,00	48,032	27,81		0,78	
	30,00	48,059	27,82		0,78	

b. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi KA

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan kapasitas adsorpsi pada variasi massa adsorben.

Tabel Lampiran 4 B. 4 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Biji

Waktu Kontak (menit)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
10	30,00	48,902	28,35	28,32	8,27	8,40
	30,00	48,864	28,32		8,39	
	30,00	48,811	28,29		8,55	
20	30,00	48,630	28,18	28,13	9,11	9,34
	30,00	48,518	28,11		9,46	
	30,00	48,523	28,11		9,44	
30	30,00	48,319	27,99	27,98	10,07	10,11
	30,00	48,300	27,97		10,13	
	30,00	48,300	27,97		10,13	
40	30,00	48,321	27,99	27,99	10,07	10,07
	30,00	48,319	27,99		10,07	
	30,00	48,322	27,99		10,07	
50	30,00	48,321	27,99	27,99	10,07	10,04
	30,00	48,348	28,00		9,98	
	30,00	48,322	27,99		10,07	
60	30,00	48,335	28,00	28,00	10,02	10,01
	30,00	48,349	28,00		9,98	
	30,00	48,338	28,00		10,02	

Waktu Kontak (menit)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
120	30,00	48,347	28,00	28,00	9,99	9,99
	30,00	48,370	28,02		9,92	
	30,00	48,320	27,99		10,07	
240	30,00	48,332	27,99	28,00	10,03	9,99
	30,00	48,348	28,00		9,98	
	30,00	48,361	28,01		9,94	

Tabel Lampiran 4 B. 5 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Arang

Waktu Kontak (menit)	C_0 (mg/mL)	σ (mS/cm)	C_e (mg/mL)	Rata-Rata C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)	Rata-Rata q_e (mg/mg)
10	30,00	47,911	27,73	27,74	113,38	113,06
	30,00	47,907	27,73		113,51	
	30,00	47,946	27,75		112,30	
20	30,00	47,738	27,63	27,58	118,74	121,08
	30,00	47,781	27,65		117,41	
	30,00	47,469	27,46		127,08	
30	30,00	47,818	27,67	27,59	116,26	120,60
	30,00	47,735	27,62		118,84	
	30,00	47,481	27,47		126,70	
40	30,00	47,799	27,66	27,62	116,85	119,05
	30,00	47,808	27,67		116,57	
	30,00	47,577	27,53		123,73	
50	30,00	47,772	27,65	27,63	117,69	118,46
	30,00	47,749	27,63		118,40	
	30,00	47,720	27,61		119,30	
60	30,00	47,765	27,64	27,64	117,91	117,87
	30,00	47,742	27,63		118,62	
	30,00	47,791	27,66		117,10	
120	30,00	47,847	27,69	27,65	115,37	117,33
	30,00	47,875	27,71		114,50	
	30,00	47,629	27,56		122,12	
240	30,00	47,827	27,68	27,65	115,99	117,32
	30,00	47,857	27,70		115,06	
	30,00	47,668	27,58		120,91	

Tabel Lampiran 4 B. 6 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Waktu Kontak dengan KA Komersil

Waktu Kontak (menit)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
10	30,00	49,117	28,48	28,50	0,76	0,75
	30,00	49,122	28,48		0,76	
	30,00	49,219	28,54		0,73	
20	30,00	48,532	28,12	28,36	0,94	0,82
	30,00	48,531	28,12		0,94	
	30,00	49,719	28,85		0,57	
30	30,00	48,716	28,23	28,22	0,88	0,89
	30,00	48,670	28,20		0,90	
	30,00	48,692	28,22		0,89	
40	30,00	48,436	28,06	28,07	0,97	0,97
	30,00	48,405	28,04		0,98	
	30,00	48,519	28,11		0,95	
50	30,00	48,167	27,89	27,86	1,05	1,07
	30,00	48,114	27,86		1,07	
	30,00	48,081	27,84		1,08	
60	30,00	48,225	27,93	27,92	1,04	1,04
	30,00	48,110	27,86		1,07	
	30,00	48,291	27,97		1,02	
120	30,00	48,179	27,90	27,92	1,05	1,04
	30,00	48,183	27,90		1,05	
	30,00	48,293	27,97		1,02	
240	30,00	48,217	27,92	27,93	1,04	1,03
	30,00	48,315	27,98		1,01	
	30,00	48,162	27,89		1,06	

c. Pengaruh Suhu terhadap Kapasitas Adsorpsi KA

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan kapasitas adsorpsi pada variasi massa adsorben.

Tabel Lampiran 4 B. 7 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Biji

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
25	30,00	48,344	28,00	28,14	10,00	9,29
	30,00	48,513	28,11		9,47	
	30,00	48,863	28,32		8,39	
30	30,00	48,792	28,28	28,22	8,61	8,91
	30,00	48,688	28,21		8,93	
	30,00	48,601	28,16		9,20	
35	30,00	48,868	28,33	28,27	8,37	8,65
	30,00	48,791	28,28		8,61	
	30,00	48,673	28,20		8,98	
40	30,00	48,911	28,35	28,29	8,24	8,53
	30,00	48,803	28,28		8,58	
	30,00	48,739	28,25		8,77	
45	30,00	48,869	28,33	28,30	8,37	8,50
	30,00	48,971	28,39		8,05	
	30,00	48,642	28,19		9,07	

Tabel Lampiran 4 B. 8 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Arang

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
25	30,00	47,862	27,70	27,57	114,90	121,48
	30,00	47,431	27,43		128,25	
	30,00	47,656	27,57		121,28	
30	30,00	47,724	27,62	27,62	119,18	119,10
	30,00	47,781	27,65		117,41	
	30,00	47,674	27,59		120,72	
35	30,00	47,821	27,68	27,69	116,17	115,52
	30,00	47,843	27,69		115,49	
	30,00	47,862	27,70		114,90	
40	30,00	47,89	27,72	27,74	114,03	113,01
	30,00	47,934	27,75		112,67	
	30,00	47,945	27,75		112,33	
45	30,00	48,193	27,91	27,75	104,65	112,41
	30,00	47,790	27,66		117,13	
	30,00	47,844	27,69		115,46	

Tabel Lampiran 4 B. 9 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Suhu dengan KA Komersil

Suhu (°C)	**C_0 (mg/mL)**	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
25	30,00	47,844	27,69	27,70	1,15	1,15
	30,00	47,740	27,63		1,19	
	30,00	48,012	27,79		1,10	
30	30,00	47,844	27,69	27,60	1,15	1,20
	30,00	47,519	27,49		1,26	
	30,00	47,712	27,61		1,20	
35	30,00	47,709	27,61	27,64	1,20	1,18
	30,00	47,811	27,67		1,16	
	30,00	47,746	27,63		1,18	
40	30,00	47,765	27,64	27,65	1,18	1,18
	30,00	47,723	27,62		1,19	
	30,00	47,832	27,68		1,16	
45	30,00	47,796	27,66	27,66	1,17	1,17
	30,00	47,789	27,66		1,17	
	30,00	47,775	27,65		1,18	

d. Pengaruh Konsentrasi terhadap Kapasitas Adsorpsi

Perhitungan C_e dan persentase *removal* sama seperti perhitungan C_e dan kapasitas adsorpsi pada variasi massa adsorben

Tabel Lampiran 4 B. 10 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Biji

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
10	17,990	9,19	9,16	4,03	4,21
	17,845	9,10		4,48	
	17,959	9,18		4,12	
15	25,476	13,83	13,75	5,84	6,24
	25,211	13,67		6,66	
	25,350	13,75		6,23	
20	32,829	18,39	18,39	8,06	8,05
	32,726	18,32		8,38	
	32,944	18,46		7,70	
25	40,498	23,14	23,08	9,30	9,62
	40,308	23,02		9,89	
	40,383	23,07		9,66	
30	48,171	27,89	27,88	10,53	10,59
	48,156	27,88		10,58	
	48,129	27,87		10,66	
35	55,891	32,68	32,67	11,62	11,64
	55,871	32,66		11,68	
	55,889	32,68		11,62	
40	63,748	37,54	37,56	12,28	12,18
	63,795	37,57		12,13	
	63,799	37,58		12,12	

Tabel Lampiran 4 B. 11 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Arang

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
10	17,790	9,07	9,01	46,47	49,54
	17,699	9,01		49,29	
	17,584	8,94		52,85	
15	24,863	13,45	13,58	77,37	71,06
	24,967	13,52		74,14	
	25,370	13,77		61,66	
20	32,438	18,15	18,19	92,71	90,66
	32,499	18,18		90,82	
	32,575	18,23		88,46	
25	39,861	22,74	22,85	112,76	107,54
	39,843	22,73		113,31	
	40,384	23,07		96,55	
30	47,691	27,60	27,54	120,20	123,23
	47,563	27,52		124,16	
	47,525	27,49		125,34	
35	55,381	32,36	32,37	131,98	131,50
	55,376	32,36		132,13	
	55,432	32,39		130,40	
40	63,225	37,22	37,23	138,99	138,75
	63,201	37,21		139,73	
	63,272	37,25		137,53	

Tabel Lampiran 4 B. 12 Kapasitas Adsorpsi pada Variasi Konsentrasi Awal dengan KA Komersil

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**Rata-Rata C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	**Rata-Rata q_e (mg/mg)**
10	18,150	9,29	9,23	0,35	0,38
	17,997	9,20		0,40	
	17,999	9,20		0,40	
15	25,790	14,03	14,00	0,49	0,50
	25,718	13,98		0,51	
	25,739	14,00		0,50	
20	33,620	18,88	18,88	0,56	0,56
	33,646	18,89		0,55	
	33,626	18,88		0,56	
25	41,482	23,75	23,76	0,63	0,62
	41,565	23,80		0,60	
	41,447	23,73		0,64	
30	49,587	28,77	28,76	0,61	0,62
	49,595	28,78		0,61	
	49,540	28,74		0,63	
35	57,650	33,77	33,75	0,62	0,62
	57,609	33,74		0,63	
	57,622	33,75		0,63	
40	65,659	38,73	38,76	0,64	0,62
	65,725	38,77		0,62	
	65,769	38,80		0,60	

Lampiran 5 A
Penentuan Model Isoterm Adsorpsi KA Biji

Hasil adsorpsi variasi konsentrasi awal digunakan untuk mengidentifikasi model isoterm adsorpsi KA Biji.

Tabel Lampiran 5 A. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Biji

C_0 (mg/mL)	C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)
10	9,16	4,21
15	13,75	6,24
20	18,39	8,05
25	23,08	9,62
30	27,88	10,59
35	32,67	11,64
40	37,56	12,18

1. Isoterm Langmuir

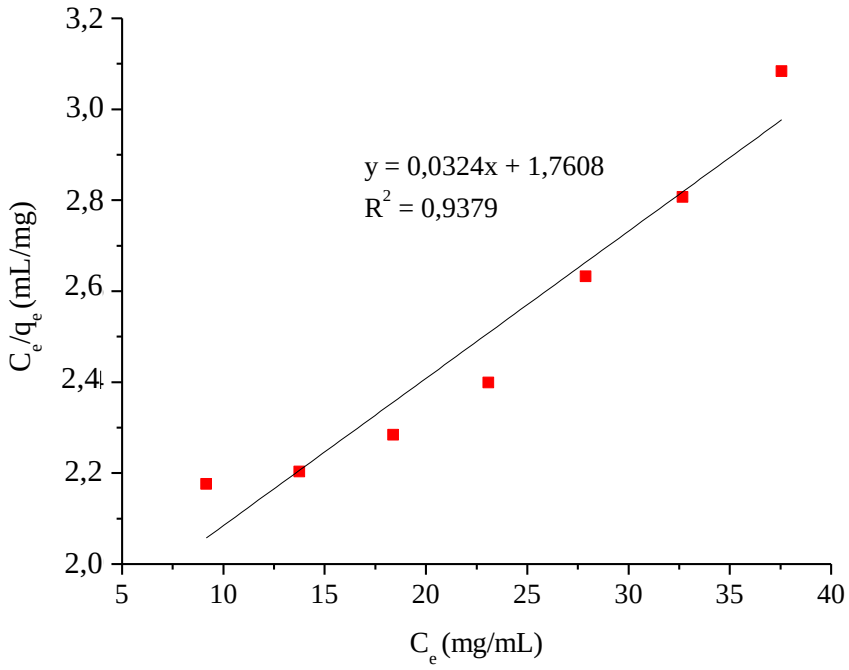
Berdasarkan Tabel Lampiran 5 A.1 didapat parameter untuk grafik isoterm Langmuir dengan C_e sebagai sumbu x dan C_e/q_e sebagai sumbu y. Apabila C_e yang didapat dari konsentrasi awal 10 mg/mL adalah 9,16 mg/mL, maka:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{9,16}{4,21} = 2,18 \text{ mL/mg}$$

Hasil perhitungan C_e/q_e untuk variasi konsentrasi awal seterusnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel Lampiran 5A 2 Parameter Grafik Isoterm Langmuir KA Biji

C_e (mg/mL)	C_e/q_e (mL/mg)
9,16	2,18
13,75	2,20
18,39	2,28
23,08	2,40
27,88	2,63
32,67	2,81
37,56	3,08



Gambar Lampiran 5.A. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Biji

Dari Gambar Lampiran 5A.1 didapat persamaan regresi linier y= 0,0324x + 1,7608, sehingga didapat slope dan intersep untuk menghitung nilai K_L, q_m, dan R_L sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m K_L}$$

$$y = 0{,}0324x + 1{,}7608$$

sehingga nilai slope adalah 0,0324 dan intersep adalah 1,7608.

a. Perhitungan nilai q_m

$$\text{slope} = \frac{1}{q_m}$$

$$q_m = \frac{1}{\text{slope}}$$

$$q_m = \frac{1}{0{,}0324}$$

$$q_m = 30{,}86 \text{ mg/mg}$$

b. Perhitungan nilai K_L

$$\text{intersep} = \frac{1}{q_m K_L}$$

$$K_L = \frac{\text{slope}}{\text{intersep}}$$

$$K_L = \frac{0{,}0324}{1{,}7608}$$

$K_L = 0{,}018$ mL/mg

c. Perhitungan R_L

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$$

$$R_L = \frac{1}{1 + 0{,}018 \text{ x } 10}$$

$R_L = 0{,}84$

Dengan perhitungan yang sama maka nilai R_L untuk variasi konsentrasi awal adalah sebagai berikut.

Tabel Lampiran 5 A 3 Nilai R_L Isoterm Langmuir KA Biji

C_0	**R_L**
10	0,84
15	0,78
20	0,73
25	0,68
30	0,64
35	0,61
40	0,58

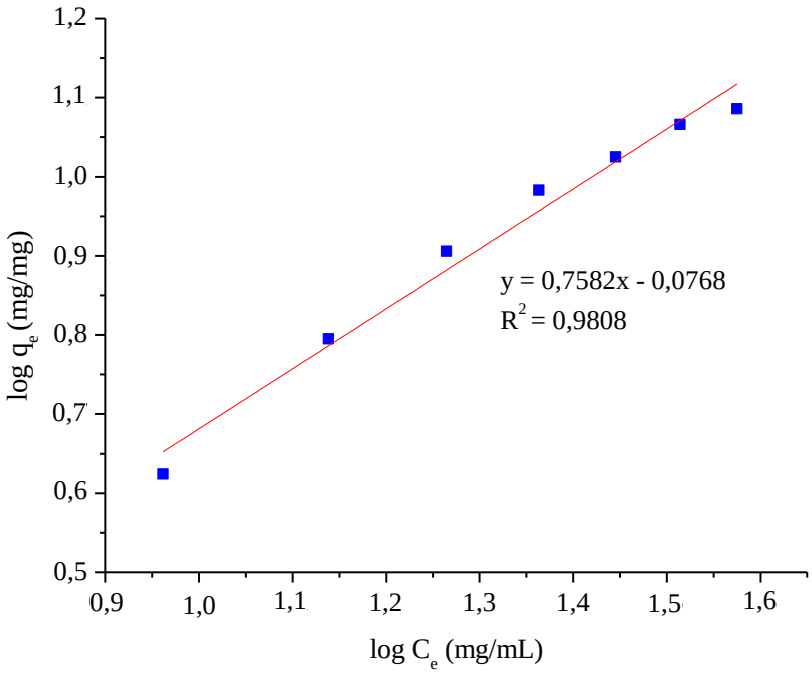
Dari tabel di atas dapat disimpulkan $0<R_L<1$ = proses adsorpsi *favourable*

2. Isoterm Freundlich

Dari Tabel Lampiran 5 A.1 didapat nilai parameter untuk grafik isoterm Freundlich dengan log C_e sebagai sumbu x dan log q_e sebagai sumbu y sehingga didapat data pada tabel sebagai berikut:

Tabel Lampiran 5.A. 4 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Biji

log C_e (mg/mL)	**log q_e (mg/mg)**
0,96	0,62
1,14	0,80
1,26	0,91
1,36	0,98
1,45	1,02
1,51	1,07
1,57	1,09



Gambar Lampiran 5 A. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Biji

Dari Gambar Lampiran 5 A. 2 didapat persamaan regresi linier y= 0,7582x – 0,0768, sehingga didapat slope dan intersep untuk menghitung nilai K_F, dan n sebagai berikut.

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F$$

$$y = 0{,}7582x - 0{,}0768$$

sehingga nilai slope adalah 0,7582 dan intersep adalah -0,0768

a. Perhitungan nilai n

$$\text{slope} = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{\text{slope}}$$

n= $\frac{1}{0,7582} = 1,32$

nilai n>1 = proses adsorpsi *favourable*

b. Perhitungan nilai K_F

intersep= log K_F

K_F= $\log^{-1}$(-0,0768)

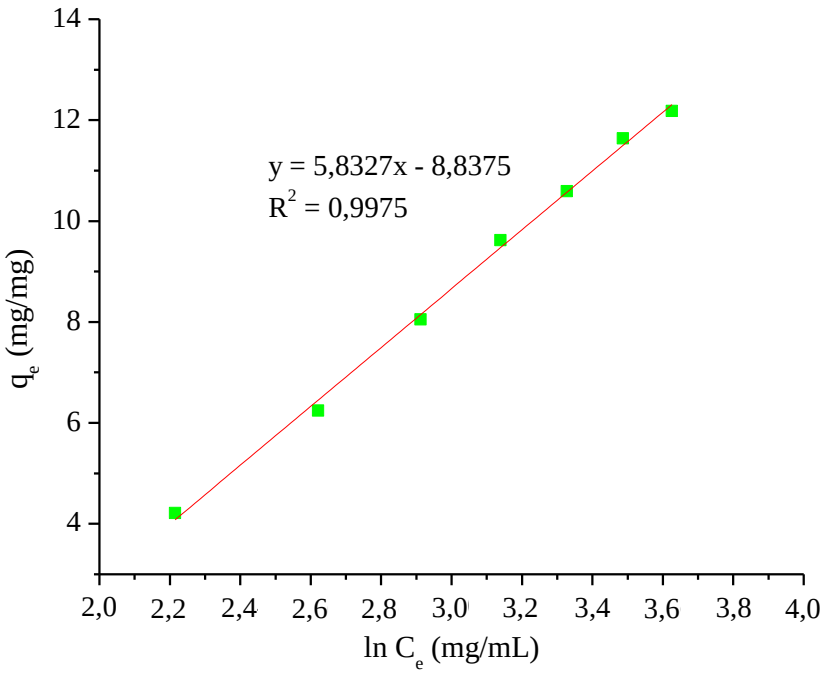
K_F = 0,84 mg/mg

3. Isoterm Temkin

Dari Tabel Lampiran 5 A.1 didapat nilai parameter untuk grafik isoterm Temkin dengan ln C_e sebagai sumbu x dan q_e sebagai sumbu y sehingga didapat data sebagai berikut.

Tabel Lampiran 5A 5 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Biji

ln C_e (mg/mL)	**q_e (mg/mg)**
2,21	4,21
2,62	6,24
2,91	8,05
3,14	9,62
3,33	10,59
3,49	11,64
3,63	12,18



Gambar Lampiran 5.A. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Biji

Dari Gambar Lampiran 5.A.3 didapat persamaan regresi linier y= 5,8327x – 8,8375, sehingga didapat slope dan intersep untuk menghitung nilai A_T dan b_T sebagai berikut.

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln C_e + \frac{RT}{b_T} \ln A_T$$

$$y = 5{,}8327x - 8{,}8375$$

sehingga nilai slope adalah 5,8327 dan intersep adalah -8,8375

a. Perhitungan nilai b_T

$$\text{slope} = B = \frac{RT}{b_T}$$

$$5{,}8327 = \frac{8{,}314 \times (25 + 273)}{b_T}$$

$$b_T = 424{,}79 \text{ J/mol}$$

b. Perhitungan nilai A_T

$$\text{intersep} = B \ln A_T = \frac{RT}{b_T} \ln A_T$$

$$\text{intersep} = \text{slope} \times \ln A_T$$

$$-8{,}8375 = 5{,}8327 \times \ln A_T$$

$$A_T = \text{anti ln} \frac{-8{,}8375}{5{,}8327}$$

$$A_T = 0{,}22 \text{ mL/mg}$$

Lampiran 5 B
Identifikasi Model Isoterm Adsorpsi KA Arang

Hasil adsorpsi variasi konsentrasi awal digunakan untuk mengidentifikasi model isoterm adsorpsi KA Arang. Perhitungan pada untuk data isoterm KA Arang sama halnya dengan perhitungn pada lampiran 5 A.

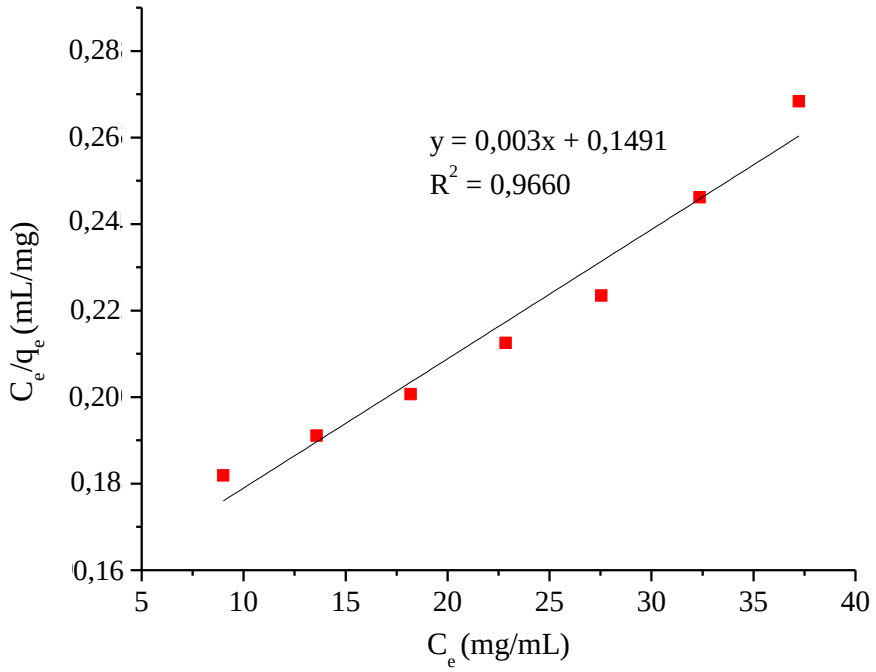
Tabel Lampiran 5.B. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Arang

C_0 (mg/mL)	C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)
10	9,01	49,54
15	13,58	71,06
20	18,19	90,66
25	22,85	107,54
30	27,54	123,23
35	32,37	131,50
40	37,23	138,75

1. Isoterm Langmuir

Tabel Lampiran 5.B. 2 Parameter Grafik Isoterm Langmuir KA Arang

C_e (mg/mL)	C_e/q_e (mL/mg)
9,01	0,18
13,58	0,19
18,19	0,20
22,85	0,21
27,54	0,22
32,37	0,25
37,23	0,27



Gambar Lampiran 5.B. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Arang

Tabel Lampiran 5.B. 3 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Arang

Persamaan regresi linier: y= 0,003x + 0,1491	
Slope = $1/q_m$	q_m = 333,33 (mg/mg)
$K_L = \frac{\text{slope}}{\text{intersep}}$	K_L = 0,02 (mL/mg)

Tabel Lampiran 5.B. 4 Nilai RL Isoterm Langmuir KA Arang

C_0	**R_L**
10	0,83
15	0,77
20	0,71
25	0,67
30	0,62
35	0,59
40	0,55

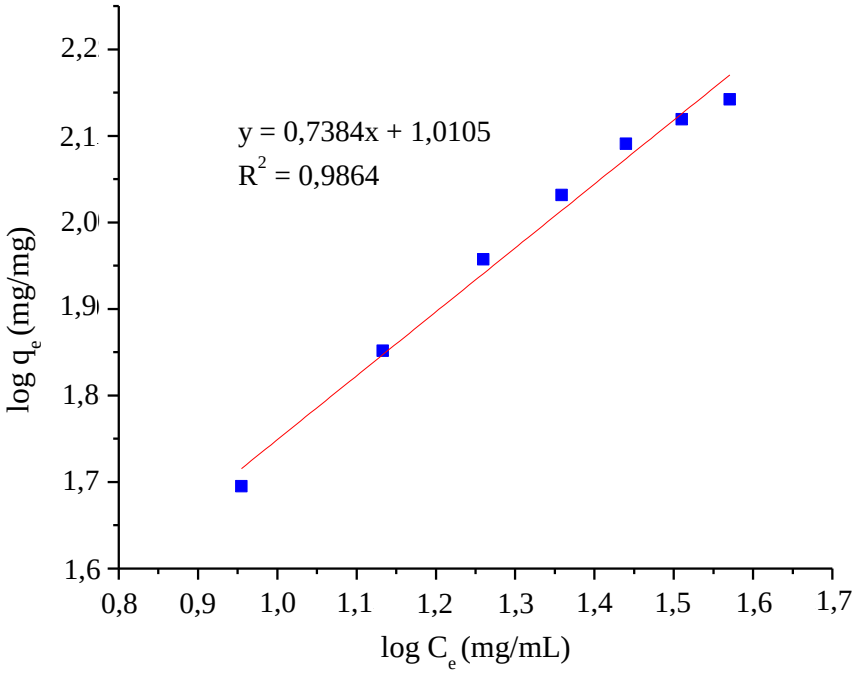
Dari tabel di atas dapat disimpulkan $0<R_L<1$ = proses adsorpsi *favourable.*

2. Isoterm Freundlich

Berdasarkan Tabel Lampiran 5.B.1 didapat nilai:

Tabel Lampiran 5.B. 5 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Arang

log C_e (mg/mL)	**log q_e (mg/mg)**
0,95	1,69
1,13	1,85
1,26	1,96
1,36	2,03
1,44	2,09
1,51	2,12
1,57	2,14



Gambar Lampiran 5.B. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Arang

Tabel Lampiran 5.B. 6 Parameter Isoterm Adsorpsi Freundlich KA Arang

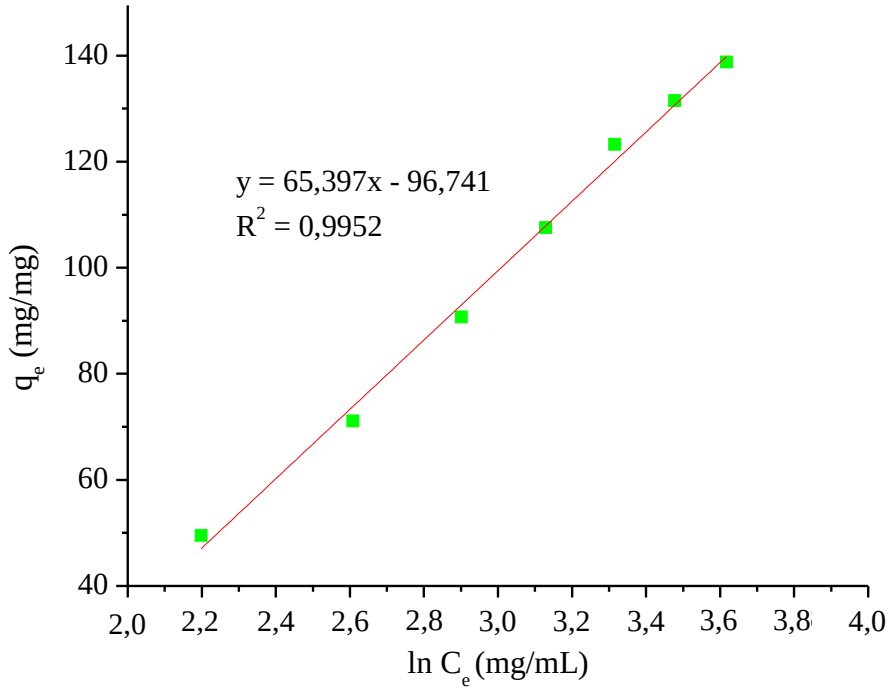
Persamaan regresi linier: y= 0,7384x + 1,0105	
Slope = 1/n	n = 1,35
Intersep = log K_F	K_F = 10,24 (mg/mg)

4. Isoterm Temkin

Dari Tabel Lampiran 5.B.1 didapat nilai:

Tabel Lampiran 5.B. 7 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Arang

ln C_e (mg/mL)	**q_e (mg/mg)**
2,20	49,54
2,61	71,06
2,90	90,66
3,13	107,54
3,32	123,23
3,48	131,50
3,62	138,75



Gambar Lampiran 5.B. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Arang

Tabel Lampiran 5.B. 8 Parameter Isoterm Adsorpsi Temkin KA Arang

Persamaan regresi linier: y= 65,397x – 96,741	
Slope = $B = \frac{RT}{b_T}$	B = 65,40 (J/mol) b_T = 37,89 (J/mol)
Intersep = ln A_T	A_T = 0,23 (mL/mg)

Lampiran 5 C
Identifikasi Model Isoterm Adsorpsi KA Komersil

Hasil adsorpsi variasi konsentrasi awal digunakan untuk mengidentifikasi model isoterm adsorpsi KA Komersil. Perhitungan parameter isoterm adsorpsi KA Komersil sama dengan perhitungan isoterm KA Biji pada Lampiran 5A.

Tabel Lampiran 5.C. 1 Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal KA Komersil

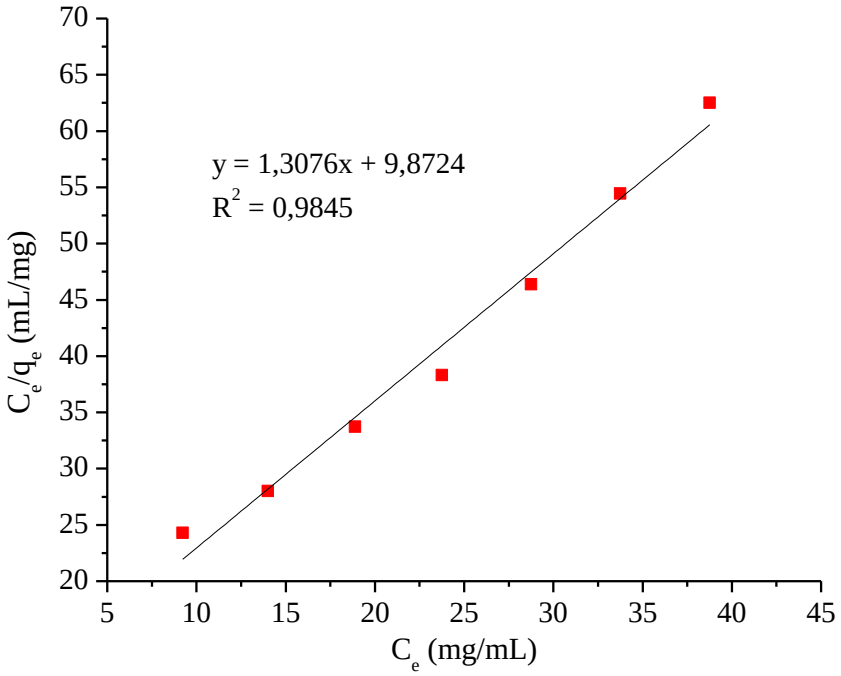
C_0 (mg/mL)	C_e (mg/mL)	q_e (mg/mg)
10	9,23	0,38
15	14,00	0,50
20	18,88	0,56
25	23,76	0,62
30	28,76	0,62
35	33,75	0,62
40	38,76	0,62

1. Isoterm Langmuir

Berdasarkan Tabel Lampiran 5.C.1 didapat nilai:

Tabel Lampiran 5.C. 2 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Komersil

C_e (mg/mL)	C_e/q_e (mL/mg)
9,23	24,29
14,00	28,00
18,88	33,71
23,76	38,32
28,76	46,39
33,75	54,44
38,76	62,52



Gambar Lampiran 5.C. 1 Grafik Isoterm Langmuir KA Komersil

Tabel Lampiran 5.B. 9 Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir KA Komersil

Persamaan regresi linier: y= 1,3076x + 9,8724	
Slope = $1/q_m$	q_m = 0,76 (mg/mg)
$K_L = \frac{\text{slope}}{\text{intersep}}$	K_L = 0,13 (mL/mg)

Tabel Lampiran 5.C. 3 Nilai R_L KA Komersil

C_0	**R_L**
10	0,43
15	0,33
20	0,27
25	0,23
30	0,20
35	0,18
40	0,16

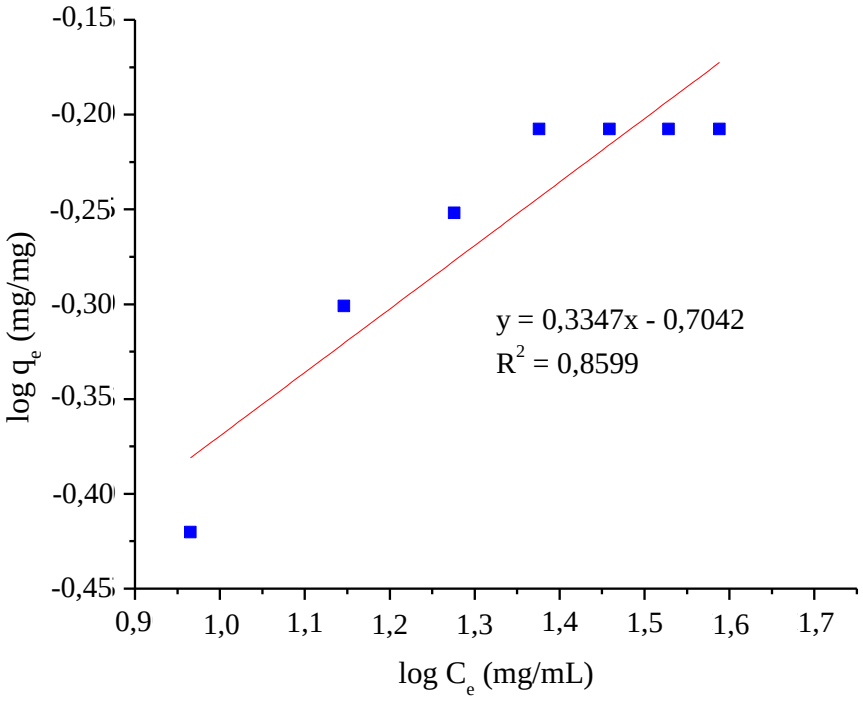
Dari tabel di atas dapat disimpulkan $0<R_L<1$ = proses adsorpsi *favourable.*

2. Isoterm Freundlich

Berdasarkan Tabel Lampiran 5.C.1 didapat nilai:

Tabel Lampiran 5.C. 4 Parameter Grafik Isoterm Freundlich KA Komersil

log C_e (mg/mL)	**log q_e (mg/mg)**
0,97	-0,42
1,15	-0,30
1,28	-0,25
1,38	-0,21
1,46	-0,21
1,53	-0,21
1,59	-0,21



Gambar Lampiran 5.C. 2 Grafik Isoterm Freundlich KA Komersil

Tabel Lampiran 5.B. 10 Parameter Isoterm Adsorpsi Freundlich KA Komersil

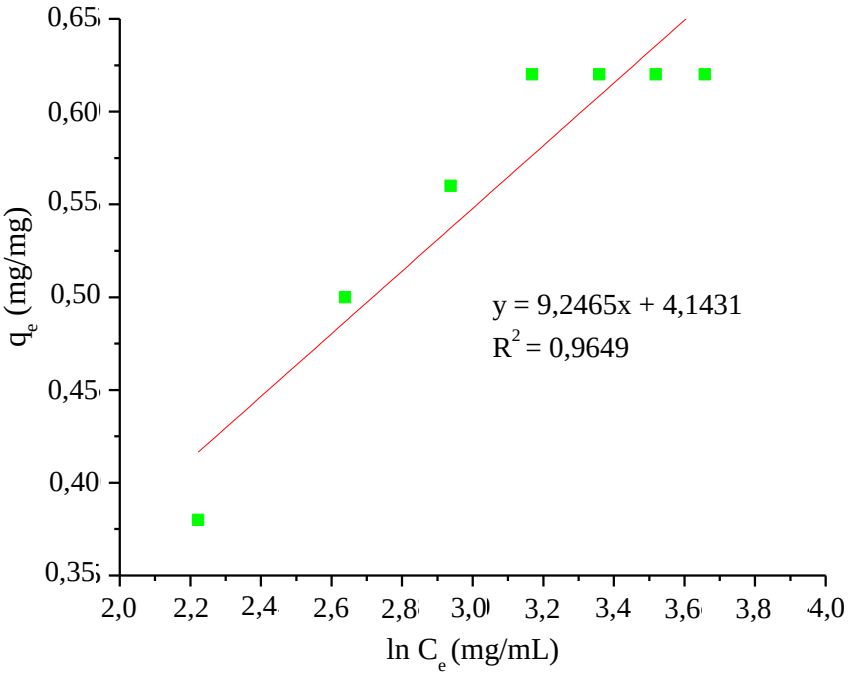
Persamaan regresi linier: y= 0,3347x - 0,7042	
Slope = 1/n	n = 2,99
Intersep = log K_F	K_F = 0,20 (mg/mg)

3. Isoterm Temkin

Dari Tabel Lampiran 5.C.1 didapat nilai:

Tabel Lampiran 5.C. 5 Parameter Grafik Isoterm Temkin KA Komersil

ln C_e (mg/mL)	**q_e (mg/mg)**
2,22	0,38
2,64	0,50
2,94	0,56
3,17	0,62
3,36	0,62
3,52	0,62
3,66	0,62



Gambar Lampiran 5.C. 3 Grafik Isoterm Temkin KA Komersil

Tabel Lampiran 5.C. 6 Parameter Isoterm Adsorpsi Temkin KA Komersil

Persamaan regresi linier: y= 9,2465x + 4,1431	
Slope = $B = \frac{RT}{b_T}$	B = 0,17 (J/mol) b_T = 14906,88 (J/mol)
Intersep = ln A_T	A_T = 1,27 (mL/mg)

Lampiran 6
Aplikasi Adsorpsi KA pada Sampel Air Laut

1. Pengukuran Konsentrasi Awal Air Laut

Konsentrasi awal air laut dihitung melalui substitusi nilai rata-rata konduktivitas ke dalam persamaan regresi kurva kalibrasi berikut.

$$y = 1{,}61404x + 3{,}1497$$

$$x = \frac{52{,}329 - 3{,}1497}{1{,}61404}$$

$$x = 30{,}47 \text{ mg/mL}$$

$$C_0 = 30{,}47 \text{ mg/mL}$$

Tabel Lampiran 6. 1Konsentrasi Awal Air Laut

σ (mS/cm)	**Rata-Rata σ (mS/cm)**	**C_0 (mg/mL)**
52,725	52,329	30,47
52,181		
52,081		
52,427		
52,229		

2. Penentuan Kapasitas Adsorpsi dan Persentase *Removal*

Kapasitas adsorpsi dihitung melalui persamaan 1 dan 2. Perhitungan kapasitas adsorpsi dan persentase *removal* pada KA Biji adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan kapasitas adsorpsi dihitung dengan persamaan

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)\ V}{m}$$

$$q_e = \frac{(30{,}47 - 30{,}42) \text{ mg/mL} \times 25 \text{ mL}}{5 \text{ mg}}$$

$$q_e = 0{,}26 \text{ mg/mg}$$

b. Perhitungan persentase *removal* dihitung dengan persamaan:

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

$$\textit{Removal}\ (\%) = \frac{(30{,}47 - 30{,}42)}{30{,}47} \times 100$$

Removal (%) = 0,17 %

Maka rata-rata kapasitas adsorpsi dan *persentase* removal dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel Lampiran 6. 2 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase *Removal* dengan KA Biji pada Sampel Air Laut

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	***Removal* (%)**
30,47	52,244	30,42	0,26	0,17
30,47	51,763	30,12	1,75	1,15
30,47	51,494	29,95	2,59	1,70
30,47	51,475	29,94	2,65	1,74
30,47	51,412	29,90	2,84	1,86
Rata-rata		**30,07**	**2,02**	**1,32**

Tabel Lampiran 6. 3 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase *Removal* dengan KA Arang pada Sampel Air Laut

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	***Removal* (%)**
30,47	51,350	29,86	30,33	1,99
30,47	51,025	29,66	40,40	2,65
30,47	50,831	29,54	46,40	3,05
30,47	50,782	29,51	47,92	3,15
30,47	50,791	29,52	47,64	3,13
Rata-rata		**29,62**	**42,54**	**2,79**

Tabel Lampiran 6. 4 Data Kapasitas Adsorpsi dan Persentase Removal dengan KA Komersil pada Sampel Air Laut

C_0 (mg/mL)	**σ (mS/cm)**	**C_e (mg/mL)**	**q_e (mg/mg)**	***Removal* (%)**
30,47	52,119	30,34	0,06	0,43
30,47	51,875	30,19	0,14	0,92
30,47	51,831	30,16	0,15	1,01
30,47	51,739	30,10	0,18	1,20
30,47	51,711	30,09	0,19	1,26
Rata-rata		**30,18**	**0,15**	**0,96**

Lampiran 7
Dokumentasi Penelitian

Buah nyamplung

Biji nyamplung

Biji nyamplung yang telah dikeringkan

Biji nyamplung kering yang ditumbuk

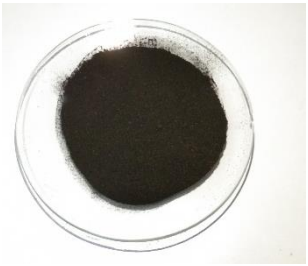
Pembakaran biji menjadi arang nyamplung

Alat press biji kering

Pengepressan biji nyamplung kering untuk penghilangan minyak

Arang nyamplung

KA Biji



KA Arang

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Nur Izzati Machrita yang dilahirkan di Gresik, 08 November 1989. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan berdomisili di Gresik. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Muslimat Al Falah Sembayat, MI Al Falah Sembayat, MTs Assa'adah II Bungah, dan SMA Assa'adah Bungah. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana di Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi (FST), Universitas Airlangga (UNAIR), Surabaya pada tahun 2007. Lulus dari program sarjana, penulis pernah bekerja di bidang akuntansi di perusahaan kontraktor kolam renang (2011-2012), bidang laboratorium sebagai QC (Quality Control) dan R&D (Research and Development) di perusahaan manufaktur (2013-2015), di bidang pendidikan sebagai guru les prifat dan guru bimbingan belajar (2016-2018), serta di bidang olahraga sebagai pelatih di UKM Tae Kwon Do UNAIR (2012-sekarang). Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang magister di Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember terdaftar dengan NRP 01211750010005. Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa, penulis aktif mengikuti pelatihan, lomba karya tulis, Program Kreativitas Mahasiswa, organisasi, dan kepanitiaan. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis di antaranya ialah diklat manajemen dojang dan kepelatihan atlet pro, poomsae, dan ICTU (Indonesia Children Taekwondo Universal), pelatihan instrumentasi, pelatihan Integrasi SJH (Sistem Jaminan Halal)-ISO 9001-22000, Pelatihan GMP dan HACCP, Pelatihan *bussines marketing*, serta Diklat Wasit Nasional. Selain pelatihan, penulis juga aktif di berbagai organisasi dan kepanitiaan di antaranya sebagai staf PSDA di UKM Tae Kwon Do UNAIR (2008-2009), staf editor jurnalistik Ormawa FORMAT FST UNAIR (2008-2009), staf infokom UKM Tae Kwon Do UNAIR (2009-2010), Panitia Latihan Gabungan Tae Kwon Do UNAIR (2018 dan 2019), Panitia latihan alam Tae Kwon Do 2008-2019, Koordinator Wasit di Kejuaraan Airlangga Cup IV 2019, dan Tim Pelatih UKM Tae Kwon Do Universitas Airlangga (2012-sekarang). Penulis menyelesaikan tesis di bidang Kimia Analitik dengan bimbingan Bapak Prof. Dr.rer.nat.Fredy Kuniawan, M.Si. Apabila terdapat kritik dan saran yang bersifat konstruktif bagi penulis atas naskah ini dapat disampaikan melalui n.i.machrita@gmail.com