

ADSORPSI LIMBAH ION LOGAM BERAT KROMIUM (VI) MENGUNAKAN KOMPOSIT NANOKARBON

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar

sarjana di bidang Ilmu Teknik Kimia

oleh:

Johannes Henry Mulia (6214083)

Pembimbing:

Arenst Andreas, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D.

Hans Kristianto, S.T., M.T.



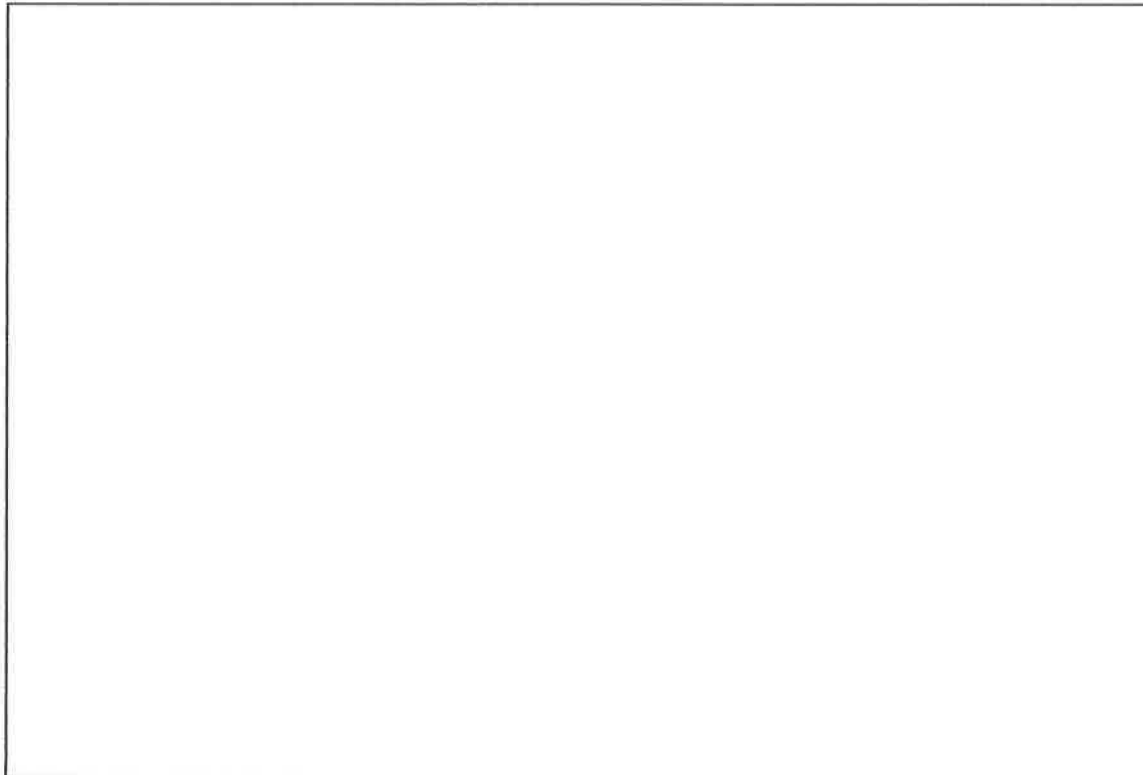
**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2018**



LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : **ADSORPSI LIMBAH ION LOGAM BERAT KROMIUM (VI)
MENGUNAKAN KOMPOSIT NANOKARBON**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, 17 Januari 2018

Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua

Arenst Andreas, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D

Hans Kristianto, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan



SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Johannes Henry Mulia

NPM : 2014620083

dengan ini menyatakan bahwa Laporan Proposal Penelitian dengan judul:

ADSORPSI LIMBAH ION LOGAM BERAT KROMIUM (VI) MENGGUNAKAN KOMPOSIT NANOKARBON

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, materi atau sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 17 Januari 2018

Johannes Henry Mulia
(2014620083)



LEMBAR REVISI

JUDUL : **ADSORPSI LIMBAH ION LOGAM BERAT KROMIUM (VI)
MENGUNAKAN KOMPOSIT NANOKARBON**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, 17 Januari 2018

Penguji

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc.

Penguji

Kevin Cleary Wanta, S.T., M. Eng.

DAFTAR ISI

Cover Depan.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR SIMBOL	xx
KATA PENGANTAR.....	xxi
INTISARI.....	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	3
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Premis	6
BAB II	8
2.1 Adsorpsi	8
2.1.1 Definisi adsorpsi.....	8
2.1.2 Adsorpsi Fisika dan Kimia.....	9
2.1.3 Faktor yang memengaruhi adsorpsi	11
2.1.4 Isoterm Adsorpsi	12
2.1.5 Kinetika Adsorpsi.....	16

2.2 CNT.....	17
2.2.1 Metode Sintesis	19
2.2.2 Aplikasi CNT sebagai adsorben pada logam	24
2.3. Metode Analisis	26
2.3.1 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	26
2.3.2 <i>Transmission Electron Microscopy</i> (TEM).....	28
2.3.3 Raman Spektroskopi.....	29
2.3.4 X-ray Diffraction (XRD).....	30
2.4 Logam Berat.....	32
2.4.1 Analisa Kromium (Cr).....	32
BAB III.....	36
3.1 Gambaran Umum Penelitian.....	36
3.2 Proses sintesis dan pemisahan material CNT	36
3.2.1 Pembuatan Prekursor.....	38
3.2.2 Persiapan dan startup.....	39
3.2.3 Pemisahan dan Shutdown.....	40
Cr(VI) dengan Komposit CNT	41
3.3.1 Pembuatan Larutan 1,5-diphenylcarbazine	41
3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	42
3.3.3 Pembuatan Kurva Standard	42
3.3.4 Penentuan Pengaruh pH Larutan Ion Logam	43
3.3.5 Penentuan Pengaruh Massa Adsorben terhadap Penyerapan Ion Logam Cr	44
3.3.6 Penentuan Pengaruh Temperatur Terhadap penyerapan ion logam Cr.....	46
3.3.7 Penentuan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ion Logam	47
3.4 Tabel Variasi Percobaan	48
3.5 Analisis Proses Adsorpsi.....	49
3.5.1 Analisis %removal	49

3.5.2 Analisis Isotermal Adsorpsi	49
3.5.3 Analisis Kinetika Adsorpsi.....	50
3.6 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	52
BAB IV	53
4.1. Karakterisasi CNT.....	54
4.1.1. Analisa SEM.....	54
4.1.2. Analisa EDS	55
4.1.3. Analisa XRD	56
4.2. Adsorpsi ion logam Cr(VI) dengan komposit nano karbon.....	57
4.2.1. Adsorpsi ion logam Cr(VI) terhadap variasi pH larutan awal	57
4.2.2. Adsorpsi Ion logam Cr(VI) Terhadap Variasi Konsentrasi Awal dengan CNT dan karbon aktif	61
4.2.3. Adsorpsi Ion Logam Cr(VI) Terhadap Massa Adsorben	67
4.2.4. Adsorpsi Ion Logam Cr(VI) Terhadap Variasi Temperatur.....	70
4.3. Perbandingan Komposit CNT dengan adsorben lain	72
BAB V	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2. Saran	74
Daftar Pustaka.....	75
LAMPIRAN A	82
A.1 Potassium Dichromate $K_2Cr_2O_7$	82
A.1.1 Gejala Terpapar	82
A.1.2 Tindakan Penanggulangan	82
A.1.3 Penanganan dan Penyimpanan	83
A.1.4 Alat Perlindungan Diri	83
A.2 1,5-diphenylcarbazine	84
A.2.1 Identifikasi Bahaya.....	84

A.2.2 Tindakan Penanggulangan	84
A.2.3 Penanganan dan Penyimpanan	84
A.2.4 Alat Perlindungan Diri	84
A.3 Asam Sulfat H ₂ SO ₄	85
A.3.1 Identifikasi Bahaya	85
A.3.2 Tindakan Penanggulangan	85
A.3.3 Penanganan dan Penyimpanan	86
A.3.4 Alat Perlindungan diri	86
A.4 Aseton	86
A.4.1 Identifikasi Bahaya.....	86
A.4.2 Tindakan Penanggulangan.	87
A.4.3 Penanganan dan Penyimpanan.	87
A.4.4 Alat Perlindungan Diri	87
A.5 <i>Ferrocene</i>	88
A.5.1 Sifat Fisik dan Sifat Kimia	88
A.5.2 Identifikasi Bahaya	88
A.5.3 Pertolongan Pertama.....	88
A.5.4 Penyimpanan Bahan	89
A.6 Heksana	89
A.6.1 Sifat fisik dan Sifat Kimia.....	89
A.6.2 Identifikasi Bahaya.....	89
A.6.3 Pertolongan Pertama.....	89
A.6.4 Penyimpanan Bahan	90
A.7 Minyak Goreng (<i>Palm oil</i>)	90
A.7.1 Sifat Fisik dan Sifat Kimia	90
A.7.2 Identifikasi Bahaya	90
A.7.3 Pertolongan Pertama.....	90

A.7.4 Penyimpanan Bahan	90
A.8 Gas Nitrogen	91
A.8.1 Sifat Fisik dan Sifat Kimia	91
A.8.2 Identifikasi Bahaya	91
A.8.3 Pertolongan Pertama.....	91
A.8.4 Penyimpanan Bahan	91
LAMPIRAN B.....	92
B.1 Panjang Gelombang dan Kurva Standar Larutan Ion Logam Cr (VI).....	92
B.2 Hasil Data Pengamatan Adsorpsi Ion Logam Berat Cr (VI) Menggunakan Adsorben Komposit CNT pada Variasi pH.....	93
B.3 Hasil Data Pengamatan Adsorpsi Ion Logam Berat Cr (VI) Menggunakan Adsorben Komposit CNT Variasi Konsentrasi Awal	97
B.4 Hasil Data Pengamatan Adsorpsi Ion Logam Berat Cr (VI) Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Variasi Konsentrasi Awal.....	108
B.5 Hasil Data Pengamatan Adsorpsi Ion Logam Berat Cr (VI) Menggunakan Adsorben Komposit CNT pada Variasi Temperatur	119
B.6 Hasil Data Pengamatan Adsorpsi Ion Logam Berat Cr (VI) Menggunakan Adsorben Komposit CNT pada Variasi Massa Adsorben	123
LAMPIRAN C.....	129
LAMPIRAN D	163

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Harga <i>multiwalled carbon nanotubes</i> berbagai diameter kemurnian > 90%	2
Tabel 1.2 Harga <i>singlewalled carbon nanotubes</i> berbagai diameter kemurnian > 90%	3
Tabel 1.3 Adsorpsi Logam Kromium.....	4
Tabel 2.1 Perbedaan Adsorpsi fisika dan Kimia.....	10
Tabel 3.1 Tabel Variasi Konsentrasi larutan Cr.....	48
Tabel 3.2 Variasi pH larutan.....	48
Tabel 3.3 Variasi Massa Adsorben.....	48
Tabel 3.4 Variasi Temperatur.....	48
Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Analisa EDS dengan Peneliti Sebelumnya.....	55
Tabel 4. 2 Kinetika Adsorpsi Terhadap Variasi pH	59
Tabel 4. 3 Tabel Isoterm Adsorpsi	62
Tabel 4. 4 Kinetika Adsorpsi terhadap Variasi Konsentrasi Awal.....	65
Tabel 4. 5 Tabel Kinetika Adsorpsi Variasi Massa Adsorben	69
Tabel 4. 6 Tabel Kinetika Adsorpsi Variasi Temperatur.....	71
Tabel 4. 7 Perbandingan Komposit CNT dengan adsorben lain	73
Tabel B.1 Data Panjang Gelombang.....	92
Tabel B.2 Data Kurva Standar Ion Logam Berat Cr (VI)	92
Tabel B.3 Hasil %Removal Ion Logam Cr(VI) dengan Adsorben Komposit CNT untuk Variasi pH.....	93
Tabel B.4 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 2	93
Tabel B.5 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 3	94
Tabel B.6 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 5	94
Tabel B.7 Hasil Parameter Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Variasi pH	95
Tabel B.8 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 2.....	95
Tabel B.9 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 3.....	96
Tabel B.10 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada pH 5.....	96
Tabel B.11 Hasil Parameter Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi pH	97
Tabel B.12 Hasil %Removal Ion Logam Cr (VI) dengan Adsorben Komposit CNT Variasi Konsentrasi Awal	97

Tabel B.13 Hasil Antara Isotermal Langmuir untuk Komposit CNT	98
Tabel B.14 Hasil Parameter Langmuir untuk Adsorben Komposit CNT.....	98
Tabel B.15 Hasil Antara Isotermal Freundlich untuk Komposit CNT.....	98
Tabel B.16 Hasil Parameter Isotermal Freundlich untuk Adsorben Komposit CNT	98
Tabel B.17 Hasil Antara Isotermal Temkin untuk Komposit CNT.....	98
Tabel B.18 Hasil Parameter Isotermal Temkin untuk Adsorben Komposit CNT.....	99
Tabel B.19 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 100 ppm	99
Tabel B.20 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 150 ppm ..	100
Tabel B.21 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 200 ppm ..	101
Tabel B.22 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 250 ppm ..	102
Tabel B.23 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 300 ppm ..	102
Tabel B.24 Hasil Parameter Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	103
Tabel B.25 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 100 ppm...	104
Tabel B.26 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 150 ppm...	104
Tabel B.27 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 200 ppm...	105
Tabel B.28 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 250 ppm...	106
Tabel B.29 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Komposit CNT Pada Konsentrasi 300 ppm..	107
Tabel B.30 Hasil Parameter Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	107
Tabel B.31 Hasil %Removal Ion Logam Cr (VI) dengan Adsorben Karbon Aktif Variasi Konsentrasi Awal	108
Tabel B.32 Hasil Antara Isotermal Langmuir untuk Karbon Aktif.....	108
Tabel B..33 Hasil Parameter Langmuir untuk Adsorben Karbon Aktif.....	109
Tabel B.34 Hasil Antara Isotermal Freundlich untuk Karbon Aktif.....	109
Tabel B.35 Hasil Parameter Isotermal Freundlich untuk Adsorben Karbon Aktif	109
Tabel B.36 Hasil Antara Isotermal Temkin untuk Karbon Aktif	109
Tabel B.37 Hasil Parameter Isotermal Temkin untuk Karbon Aktif.....	109
Tabel B.38 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 100 ppm.....	110
Tabel B.39 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 150 ppm.....	111
Tabel B.40 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 200 ppm.....	112
Tabel B.41 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 250 ppm.....	113
Tabel B.42 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 300 ppm.....	114

Tabel B.43 Hasil Parameter Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	115
Tabel B.44 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 100 ppm	115
Tabel B.45 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 150ppm	116
Tabel B.46 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 200 ppm	117
Tabel B.47 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 250 ppm	117
Tabel B.48 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Karbon Aktif Pada Konsentrasi 300 ppm	118
Tabel B.49 Hasil Parameter Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	119
Tabel B.50 Hasil %Removal Ion Logam Cr (VI) dengan Adsorben Komposit CNT untuk Variasi Temperatur	120
Tabel B.51 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 25°C...	120
Tabel B.52 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 35°C..	120
Tabel B.53 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 45°C..	121
Tabel B.54 Hasil Parameter Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Temperatur.....	121
Tabel B.55 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 25°C ..	122
Tabel B.56 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 35°C ..	122
Tabel B.57 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Suhu 45°C ..	123
Tabel B.58 Hasil Parameter Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Temperatur.....	123
Tabel B.59 Hasil %Removal Ion Logam Cr (VI) Dengan Adsorben Komposit CNT untuk Variasi Massa Adsorben	124
Tabel B.60 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa 0,03 g	124
Tabel B.61 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada variasi Massa 0,06 g	125
Tabel B.62 Hasil Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa 0,09 g	125
Tabel B.63 Hasil Parameter Pseudo Orde Satu untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa Adsorben	126
Tabel B.64 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa 0,03 g	126

Tabel B.65 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa 0,06 g	127
Tabel B.66 Hasil Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT Pada Variasi Massa 0,09 g	128
Tabel B.67 Hasil Parameter Pseudo Orde Dua untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Massa Adsorben	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fullrene, Graphene, SWCNT, dan MWCNT	18
Gambar 2. 2 Metode CVD.....	20
Gambar 2. 3 Metode Arc Discharge	21
Gambar 2. 4 Rangkaian alat laser ablation	22
Gambar 2. 5 Skema alat metode nebulized spray pyrolysis	24
Gambar 2. 6 Reaksi Cr(II) Dengan Diphenylcarbazon.....	33
Gambar 2. 7 Struktur 1,5 diphenylcarbazine (DPC)	34
Gambar 2. 8 Reaksi oksidasi 1,5 diphenylcarbazine (DPC) menjadi diphenylcarbazon ..	34
Gambar 2. 9 Reaksi Cr(VI) Dengan Diphenylcarbazine	35
Gambar 3. 1 Rangkaian alat yang digunakan saat percobaan	37
Gambar 3. 2 Proses Sintesis Larutan Prekursor	38
Gambar 3. 3 Persiapan dan Startup	39
Gambar 3. 4 Pemisahan dan shutdown.....	40
Gambar 3. 5 pembuatan larutan kompleks	41
Gambar 3. 6 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	42
Gambar 3. 7 Pembuatan Kurva Standar	43
Gambar 3. 8 Penentuan Pengaruh pH.....	44
Gambar 3. 9 Penentuan Pengaruh massa adsorben	45
Gambar 3. 10 Penentuan Pengaruh temperatur	46
Gambar 3. 11 Diagram Alir Penentuan Pengaruh Konsentrasi Larutan Ion Logam.....	47
Gambar 4. 1 Hasil Analisa SEM pada sampel penelitian (kiri) dan Hasil dari penelitian Orlando dan Windy (kanan).....	54
Gambar 4. 2 Hasil Analisa EDS pada Sampel.....	55
Gambar 4. 3 Hasil Analisa XRD sampel (A) dan Hasil XRD (Wilianti & Orlando, 2016) (B).....	56
Gambar 4. 4 Perbandingan %removal pada variasi pH dan profil konsentrasi ion Cr(VI) dalam larutan terhadap waktu untuk variasi pH	58
Gambar 4. 5 Perbandingan Fitting Data kinetika pseudo orde 1 dan 2	60

Gambar 4. 6 Profil konsentrasi ion Cr(VI) dalam larutan terhadap waktu untuk variasi konsentrasi awal	61
Gambar 4. 7 Perbandingan model isoterm Langmuir (A), Freundlich (B), Temkin (C), dan Dubinin Raduskevich (D) pada komposit CNT dan karbon aktif	62
Gambar 4. 8 Perbandingan Kinetika Adsorpsi <i>pseudo orde 1</i> dan <i>pseudo orde 2</i>	66
Gambar 4. 9 % <i>removal</i> variasi massa adsorben	68
Gambar 4. 10 Profil konsentrasi ion Cr(VI) dalam larutan terhadap waktu untuk variasi jumlah adsorben.....	68
Gambar 4. 11 % <i>removal</i> pada variasi temperatur	71
Gambar C.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum.....	129
Gambar C.2 Grafik Kurva Standar Larutan Ion Logam Berat Cr (VI)	129
Gambar C.3 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Langmuir untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	130
Gambar C.4 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Freundlich untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	130
Gambar C.5 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Temkin untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	131
Gambar C.6 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Dubini-Redushkevich untuk Adsorben Komposit CNT pada Variasi Konsentrasi Awal	131
Gambar C.7 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	132
Gambar C.8 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	132
Gambar C.9 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	133
Gambar C.10 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	133
Gambar C.11 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	134
Gambar C.12 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT...	134
Gambar C.13 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	135

Gambar C.14 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	135
Gambar C.15 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT...	136
Gambar C.16 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	136
Gambar C.17 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	137
Gambar C.18 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT...	137
Gambar C.19 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	138
Gambar C.20 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT	138
Gambar C.21 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Komposit CNT...	139
Gambar C.22 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Langmuir untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	139
Gambar C.23 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Freundlich untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	140
Gambar C.24 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Temkin untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	140
Gambar C.25 Grafik <i>Fitting</i> Isotermal Dubinin-Redushkevich untuk Adsorben Karbon Aktif pada Variasi Konsentrasi Awal	141
Gambar C.26 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	141
Gambar C.27 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	142
Gambar C.28 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 100 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	142
Gambar C.29 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	143

Gambar C.30 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	143
Gambar C.31 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 150 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	144
Gambar C.32 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	144
Gambar C.33 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	145
Gambar C.34 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 200 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	145
Gambar C.35 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	146
Gambar C.36 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	146
Gambar C.37 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 250 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	147
Gambar C.38 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	147
Gambar C.39 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	148
Gambar C.40 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Konsentrasi Awal 300 ppm Menggunakan Adsorben Karbon Aktif	148
Gambar C.41 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada pH 2 Menggunakan Adsorben Komposit CNT	149
Gambar C.42 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada pH 2 Menggunakan Adsorben Komposit CNT	149
Gambar C.43 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada pH 2 Menggunakan Adsorben Komposit CNT	150
Gambar C.44 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada pH 3 Menggunakan Adsorben Komposit CNT	150
Gambar C.45 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada pH 3 Menggunakan Adsorben Komposit CNT	151

Gambar C.46 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada pH 3 Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	151
Gambar C.47 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada pH 5 Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	152
Gambar C.48 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada pH 5 Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	152
Gambar C.49 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada pH 5 Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	153
Gambar C.50 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Variasi Massa Adsorben 0,03 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	153
Gambar C.51 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Variasi Massa Adsorben 0,03g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	154
Gambar C.52 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Variasi Massa 0,03 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	154
Gambar C.53 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Variasi Massa Adsorben 0,06 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	155
Gambar C.54 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Variasi Massa Adsorben 0,06 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	155
Gambar C.55 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Variasi Massa Adsorben 0,06 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	156
Gambar C.56 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Variasi Massa Adsorben 0,09 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	156
Gambar C.57 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Variasi Massa Adsorben 0,09 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	157
Gambar C.58 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Variasi Massa Adsorben 0,09 g Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	157
Gambar C.59 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Suhu 25°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	158
Gambar C.60 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Suhu 25°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	158

Gambar C.61 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Suhu 25°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	159
Gambar C.62 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Suhu 35°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT	159
Gambar C.63 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Suhu 35°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT	160
Gambar C.64 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Suhu 35°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	160
Gambar C.65 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Satu pada Suhu 45°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT	161
Gambar C.66 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Orde Dua pada Suhu 45°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT	161
Gambar C.67 Grafik Perbandingan Model Pseudo Orde Satu dan Dua dengan Data Percobaan pada Suhu 45°C Menggunakan Adsorben Komposit CNT.....	162

DAFTAR SIMBOL

α	= konstanta kapasitas adsorpsi saat kesetimbangan, L/mg
β	= panas sorpsi pada isoterm Temkin, J/mol
b	= konstanta temkin yang berhubungan dengan panas sorpsi
C_e	= konsentrasi Cr(VI) saat kesetimbangan, g/L
C_o	= konsentrasi Cr(VI) saat mula-mula, g/L
C_t	= konsentrasi Cr(VI) saat waktu tertentu, g/L
ε	= potensial polanyi, J/mol
E	= panas yang dihasilkan adsorpsi, J/mol
k_1	= konstanta laju kesetimbangan <i>pseudo orde</i> pertama, 1/menit
k_2	= konstanta laju kesetimbangan <i>pseudo orde</i> kedua, mg adsorben/g Cr ⁶⁺ .mnt
K_a	= konstanta Langmuir yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi, L/mg
K_f	= konstanta isoterm Freundlich, mg Cr ⁶⁺ /g adsorben
n	= intensitas adsorpsi
q_e	= kapasitas adsorpsi saat kesetimbangan,
q_t	= kapasitas adsorpsi saat waktu tertentu,
q_m	= kapasitas maksimum adsorben, mg Cr ⁶⁺ /g adsorben
R	= konstanta, (=8,314J/mol K)
V	= Volume larutan, L
W	= Massa adsorben, g

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan proposal penelitian dengan judul “Adsorpsi Ion Limbah Logam Berat Kromium (VI) Menggunakan Komposit Nanokarbon” tepat waktu. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan tugas akhir untuk mencapai gelar sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Dengan kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini, terutama kepada :

1. Bapak Arenst Andreas, S.T., S.Si., MSc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran yang diperlukan selama penyusunan laporan penelitian ini,
2. Bapak Hans Kristianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran yang diperlukan selama penyusunan laporan penelitian ini,
3. Keluarga penulis yang setia memberikan dukungan moril dan materiil kepada penulis,
4. Teman-teman yang telah memberikan masukan, saran, dan dukungan kepada penulis,
5. Serta semua pihak lain yang telah ikut membantu dalam penyusunan laporan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari betul bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya masukan, saran, serta kritik yang membangun sebagai bahan perbaikan dalam penyusunan laporan berikutnya. Penulis berharap agar laporan penelitian ini kelak dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, Januari 2018

Penulis

INTISARI

Limbah logam berat dalam konsentrasi tinggi dapat merusak lingkungan dan berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Apabila kandungan logam berat dalam tubuh manusia melebihi batas yang diperbolehkan, akan menimbulkan bahaya kesehatan bagi manusia. Salah satu metode untuk menangani masalah kandungan logam berat tersebut dalam air yang paling efektif adalah melalui proses adsorpsi. Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi ini adalah komposit CNT. Pada penelitian ini terdapat beberapa tahap proses yang dilakukan. Pertama, material CNT disintesis dari minyak goreng kelapa sawit menggunakan metode *nebulized spray pyrolysis* dengan kondisi temperatur 850°C dan konsentrasi katalis *ferrocene* sebesar 0.015 g/mL. Lalu material CNT tersebut dideposisikan langsung pada dinding tabung/ reaktor stainless steel.

Kemudian, komposit CNT yang dihasilkan digunakan untuk menyerap ion logam Cr (VI) dalam air dengan variasi konsentrasi awal Cr(VI) (100-300 ppm), lalu variasi dengan pH (2;3;5), jumlah adsorben sebanyak (30,60 dan 90 mg), dan temperatur sebesar (30,35, dan 45°C) untuk memperoleh kondisi terbaik. Kandungan logam berat Cr(VI) dalam air dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menggunakan pengompleks *1,5 diphenylcarbazide*. Hasil penelitian ini diperoleh pada pH optimum 3 dengan %removal sebesar 72.794%, model isothermal adsorpsi yang paling sesuai pada penelitian ini adalah model isothermal Freundlich dengan kapasitas adsorpsi (qm) 23,36 mg logam Cr⁶⁺/g adsorben, dan model kinetika adsorpsi model yang paling sesuai untuk data penelitian ini merupakan *pseudo orde 2* .

Kata kunci : logam berat, kromium (VI), komposit CNT, adsorpsi, *nebulized spray pyrolysis*

ABSTRACT

Heavy metal waste in high concentrations can damage the environment and adversely affect human health. If the heavy metal content in the human body exceeds the permissible limit, it will pose a health hazard to humans. One method for handling the problem of heavy metals in water most effectively is through the adsorption process. The adsorbent used in the adsorption process is a CNT composite. In this study there are several stages of the process undertaken. First, CNT material is synthesized from palm cooking oil using nebulized spray pyrolysis method with temperature condition 850°C and ferrocene catalyst concentration of 0.015 g / mL. Then the CNT material is deposited directly on the wall of the tube / stainless steel reactor.

Then, the resulting CNT composite was used to absorb Cr (VI) metal ions in water with initial Cr (VI) concentration variations of (100-300 ppm), then variations with pH (2, 3.5, 5), the amount of adsorbents of (30.60 and 90 mg), and temperatures of (30.35, and 45° C) to obtain the best conditions. The heavy metal content of Cr (VI) in water was analyzed using a UV-Vis spectrophotometer using a diphenylcarbazide complex. The results of this study were obtained at optimum pH 3 with removal% 72.794%, the most suitable adsorption isothermal model in this study was Freundlich isothermal model with adsorption capacity (q_m) 23,36 mg Cr⁶⁺ / g metal adsorbent, and model kinetics adsorption model most suitable for this research data is pseudo orde 2.

Keywords: heavy metal, chromium (VI), CNT composite, adsorption, nebulized spray pyrolysis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu kebutuhan yang mendasar dalam kelangsungan makhluk hidup. Penggunaan air dalam sehari-hari membuat diperlukannya perhatian khusus akan kebersihan air yang digunakan. Oleh karena itu, air limbah dari industri perlu diolah terlebih dahulu agar layak untuk digunakan kembali. Pengolahan air limbah merupakan salah satu tanggung jawab yang harus dilakukan oleh industri-industri di Indonesia. Air limbah yang dihasilkan dari banyak industri seperti metallurgi, penyamakan kulit, pembuatan bahan kimia, pertambangan, pembuatan baterai dan lain-lain mengandung satu atau lebih ion logam yang toksik, sehingga diperlukannya penghilangan ion-ion logam berat ini sebelum dibuang ke lingkungan (Liu, Wang, Zhang, & Pan, 2013).

Ion-ion logam berat dalam air telah menjadi perhatian utama selama bertahun-tahun karena toksisitasnya terhadap kehidupan akuatik, tumbuhan, binatang, manusia, dan lingkungan. Tidak dapat terdegradasinya ion-ion tersebut secara biologis seperti polutan organik, menjadikan keberadaan ion logam tersebut sebagai salah satu masalah kesehatan akibat terjadinya absorpsi yang menyebabkan terakumulasinya ion logam dalam organisme. Air yang tercemar oleh ion logam berat menjadikan masalah kebersihan air ini semakin serius dengan perkembangan industri yang sangat cepat dan penggunaan air bersih yang terus meningkat. Oleh karena itu, penghilangan ion logam berat dari air menjadi subjek yang penting hari-hari ini. (Tofighy & Torraj, 2010).

Banyak teknologi dan metode penghilangan ion logam berat telah dikembangkan, seperti penukaran ion, evaporasi, presipitasi kimia, osmosis balik, dan adsorpsi, namun jika ditinjau dari sisi ekonomi dan efisiensi, adsorpsi merupakan metode yang paling menjanjikan dan banyak digunakan. Hingga saat ini karbon aktif masih menjadi pilihan utama dalam proses adsorpsi tersebut. (Liu, Wang, Zhang, & Pan, 2013).

Sejak ditemukannya di tahun 1991, CNT telah menjadi bahan studi yang sering digunakan. Dalam aplikasinya, CNT telah digunakan seperti pada penyimpanan gas hidrogen, penghilangan ion logam dan kontaminan organik.. CNT dapat dibagi menjadi dua yaitu MWCNT (*Multiwalled Carbon Nanotube*) dan SWCNT(*Singlewalled Carbon Nanotube*). Kedua jenis CNT ini baik itu MWCNT maupun SWCNT telah menunjukkan kemampuan dalam mengikat logam berat yang lebih baik dibandingkan karbon aktif (Pillay & Cukrowska, 2008). Grup fungsi seperti $-OH$, $-C=O$ dan $-COOH$ dapat secara sengaja diperkenalkan pada permukaan CNT dengan oksidasi asam atau oksidasi udara. Grup fungsi-fungsi ini membuat CNT lebih hidrofilik dan cocok untuk proses adsorpsi pada kontaminan polar dan memiliki berat molekul rendah seperti phenol dan 1,2-dichlorobenzene. Adsorpsi pada logam berat utamanya dipengaruhi oleh kompleksasi spesifik antara ion-ion logam dan grup fungsi hidrofilik dari CNT ini. Oleh karena itu, permukaan CNT cocok untuk mengambil ion logam (Liu, Wang, Zhang, & Pan, 2013). Namun, harga yang menjadi pembatas dari penggunaan CNT ini dalam skala yang besar. Harga dari CNT dapat dilihat pada tabel 1.1 ini.

Tabel 1.1 Harga *multiwalled carbon nanotubes* berbagai diameter dengan kemurnian > 90% (anonim, 2013)

Cat. No.	Deskripsi produk	Harga/USD
CNTM5	Carbon nanotubes, multiwalled, diameter <8 μ m, length 10~20 μ m	\$ 185/5g
CNTM15	Carbon nanotubes, multiwalled, diameter 10~15 μ m, length 10~20 μ m	\$ 185/5g
CNTM30	Carbon nanotubes, multiwalled, diameter 20~30 μ m, length 10~20 μ m	\$ 185/g
CNTM40	Carbon nanotubes, multiwalled, diameter 30~40 μ m, length 10~20 μ m	\$ 185/g
CNTM60	Carbon nanotubes, multiwalled, diameter 50~60 μ m, length 10~20 μ m	\$ 185/g

Tabel 1.2 Harga *singlewalled carbon nanotubes* berbagai diameter dengan kemurnian > 90% (anonim, 2013)

Cat. No	Deskripsi Produk	Harga/USD
		1 g
CNTS01	Carbon Nanotubes, single walled, SWNTs	\$ 250
Surface Functionalized Single Walled Carbon Nanotubes		100 mg
CNTS-CA-1	Single walled carbon nanotubes, carboxylic acid function, SWNT-COOH	\$280
CNTS-AM-1	Single walled carbon nanotubes, amine function, SWNT-NH ₂	\$280
CNTS-OH-1	Single walled carbon nanotubes, hydroxyl function, SWNT-OH	\$280
CNTS-TH-1	Single walled carbon nanotubes, thiol function, SWNT-SH	\$280
CNTS-PG-1	Single walled carbon nanotubes, PEG function, SWNT-PEG	\$280

Oleh karena itu pada penelitian ini, digunakan adsorben berupa komposit CNT yang dibuat dari minyak goreng kelapa sawit dengan metode *nebulized spray pyrolysis* serta dilakukannya pengujian terhadap kinerja adsorpsi dari adsorben komposit CNT ini dalam mengadsorpsi ion logam berat Cr (VI).

1.2 Tema Sentral Masalah

Menguji kinerja adsorben komposit CNT yang dibuat dengan penambahan katalis *ferrocene* sebesar 0,015 gr/ml pada suhu operasi 850°C dan akan digunakan sebagai adsorben untuk proses adsorpsi logam Cr (VI) dengan berbagai variasi, seperti : pH, temperatur, konsentrasi awal logam, dan jumlah adsorben.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana kinerja adsorben komposit CNT ini dalam mengadsorpsi logam berat Cr(VI)?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi awal larutan kromium, temperatur, pH, dan jumlah adsorben terhadap kinerja komposit CNT sebagai adsorben?

3. Berapa kapasitas maksimum dari penggunaan komposit CNT pada proses adsorpsi logam kromium?
4. Isotermal adsorpsi manakah yang mewakili kesetimbangan adsorpsi logam kromium menggunakan komposit CNT?
5. Kinetika adsorpsi manakah yang menjelaskan adsorpsi logam kromium menggunakan komposit CNT?

1.4 Hipotesis

1. Jumlah adsorben yang semakin banyak akan meningkatkan banyaknya adsorbat yang teradsorp.
2. Semakin besar konsentrasi dari logam kromium, kinerja dari komposit CNT akan meingkat
3. Semakin tinggi nilai pH yang efesiensi adsorpsi semakin rendah.
4. Kinetika yang menjelaskan adsorpsi adalah *pseudo orde 2*
5. Persamaan isotherm yang mewakili kondisi adsorpsi adalah isotherm Langmuir

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kinerja optimum dari adsorben komposit CNT dalam mengadsorpsi ion logam Cr (VI)
2. Mengetahui pengaruh variasi seperti pH, suhu, temperatur, dan jumlah adsorben pada adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan komposit CNT
3. Mengetahui kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan komposit CNT dalam proses adsorpsi logam kromium.
4. Mengetahui persamaan isotherm yang tepat untuk mewakili kondisi adsorpsi menggunakan komposit CNT
5. Mengetahui kinetika adsorpsi yang menjelaskan adsorpsi logam kromium menggunakan komposit CNT

1.6 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti

Mengetahui pengaruh variabel seperti : temperature, pH, konsentrasi logam berat, dan jumlah adsorben pada kapasitas adsorpsi logam berat menggunakan komposit CNT.

2. Bagi bidang industri

Dapat memberikan alternatif metode pengolahan limbah yang ekonomis, efektif, dan efisien untuk limbah logam kromium pada industri.

3. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan teknologi

Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai aplikasi adsorben komposit CNT pada limbah logam berat.

1.7 Premis

Tabel 1. 3 Adsorpsi Logam Kromium

No	Jenis Adsorben	Kondisi Adsorpsi							Pustaka
		pH	Suhu	Waktu Kontak	Kecepatan Pengadukan	Jumlah Adsorben	Konsentrasi Larutan Kromium(VI)	Kapasitas Adsorpsi	
1	Karbon Aktif	4	25°C	60 menit	200 rpm	40 g/L	0.5 mg/L	8.25 mg/mg	Atieh, MuatazAli, 2011
	Campuran Karbon Aktif dan CNT	2	25°C	60 menit	100 rpm	40 g/L	0.5 mg/L	9 mg/mg	
2	MWCNT	3-9	30°C	-	-	0.01-0.2 mg/100mL	2 mg/L	0.789-16.234 mg/g	Huang, Zhuo-nan ; Wang, Xiao-ling ; Yang, De-suo, 2015
3	SWNT	4	20°C	4 jam	200 rpm	100-200 mg/L	250-5000 µg/L	11.1-88.8 %	Hung, Chanil ; Heo, Jiyong ; Han, Jonghun; Her, Namguk , 2012
	MWCNT							4.2-69.4%	
4	Komposit Karbon Aktif	1-11	20°C	0-120 menit	-	5 mg	11 mg / L	27.21-1.78%	Bayazit, Sena Sahika; Kerkez Ozge,2014

	MWCNT	1-11	20°C	0-120 menit	-	5 mg	11 mg / L	33.4-10.74%	
5	SWCNT	2,5-9		60 menit	-	0-40mg	0,2-1 mg/L	2.35 mg/g	(Dehghani, Taher, Bajpai, & Heibati, 2015)
	MWCNT							1.26 mg/g	
6	CNOs (Carbon Nano Onions)	2-10	25°C	3-48 jam	180 rpm	1,5 – 5 mg	1,5-4,5 mg/L	23.529 mg /g	(Sakulthaew, Chokejaroenrat, Poapolathep, & Satapanajaru, 2017)
7	MWCNT	3-9	20-70°C	-	500 rpm	100 mg	1-25 mg'L	12.531 to 16.234 mg/g	(Huang & Wang, 2015)