STUDI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM SULAWESI SELATAN SEBAGAI BAHAN FILTRASI AIR BAKU

A STUDY OF THE USE OF THE NATURAL ZEOLITE OF SOUTH SULAWESI AS THE BASIC WATER FILTERING MATERIAL

SUKMASARI ANTARIA



PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2015

STUDI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM SULAWESI SELATAN SEBAGAI BAHAN FILTRASI AIR BAKU

A STUDY OF THE USE OF THE NATURAL ZEOLITE OF SOUTH SULAWESI AS THE BASIC WATER FILTERING MATERIAL

Disertasi Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

> Program Studi Teknik Sipil

> **Disusun Oleh:**

SUKMASARI ANTARIA

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2015

DISERTASI

STUDI PENGGUNAAN ZEOLIT ALAM SULAWESI SELATAN SEBAGAI BAHAN FILTRASI AIR BAKU

Disusun dan diajukan oleh SUKMASARI ANTARIA Nomor Pokok P0800310031

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi Pada tanggal 27April 2015 Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Prot-Dr.Ir. Mary Selintung, M.Sc Promotor

Prof.Dr.Ir.H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng Kopromotor <u>Dr.Eng. Mukhsan Putra Hatta,S.T.,M.T</u> Kopromotor

Ketua Program StudiS3 Teknik Sipil, Direktur Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin,

Prof.Dr.Muh.Wihard Tjaronge,ST.,M.Eng

Prof.Dr. Syamsul Bachri, SH., MH

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sukmasari Antaria

Nomor Mahasiswa : P0800310031

Program studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 7 April 2015

Yang Menyatakan

Sukmasari Antaria

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Penulis memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis mampu menyusun dan menyelesaikan disertasi ini. Banyak kendala yang penulis hadapi selama mengikuti program pendidikan ini, tetapi berkat bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak, akhirnya dapat dihadapi satu per satu.

Perkenankanlah penulis menyampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan setinggi-tingginya kepada Prof.Dr.Ir.Mary Selintung, M.Sc sebagai ketua komisi penasehat (promotor), Prof.Dr.Ir.H.M.Saleh Pallu, M.Eng dan Dr. Eng Mukhsan Putra Hatta, ST., M.T sebagai anggota komisi penasehat (kopromotor) atas kesediaan meluangkan waktu untuk memberikan bantuan, arahan serta bimbingan mulai dari penelusuran topik, pelaksanaan penelitian sampai dengan selesainya disertasi ini. Semoga Allah SWT membalas amal kebaikannya dengan berlipat ganda. Selanjutnya kepada Dr. Bohari, M.Si sebagai penguji eksternal, Prof.Dr.Ing. Herman Parung, M.Eng, Prof.Dr.M. Wihardi Tjaronge, ST,M.Eng, Dr. Paulina Taba, M.Phil. serta Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Sc. sebagai penguji internal atas segala saran, masukan dan koreksi untuk perbaikan disertasi ini.

Terima kasih juga kepada Rektor Universitas Hasanuddin, Direktur Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, para dosen S3 Teknik Sipil serta staf administrasi Pascasarjana dan Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas

Hasanuddin yang membantu penulis selama proses perkuliahan, penelitian dan penyelesaian administrasi akademik.

Terima kasih kepada Kepala dan Staf Laboratorium Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan, Kepala dan Staf pada Laboratorium Mikrostruktur Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar, Kepala dan Staf pada Laboratorium Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin yang selalu bersedia untuk membantu dalam penelitian ini serta semua pihak yang telah membantu yang tidak sempat disebutkan satu per satu.

Ucapan terima kasih setulus-tulusnya penulis haturkan kepada kedua orang tua terkasih, Ayahanda Prof.Dr.H.M. Arifin Sallatang dan Almarhumah Ibunda Dra.Hj.St. Aminah yang telah membesarkan dan mendidik penulis, kedua mertua terkasih, Ayahanda Wim Runtulalo dan ibunda Heneta Sengkey juga kepada seluruh keluarga yang telah membantu dan mendoakan penulis.

Akhirnya penulis mengucapkan terima kasih kepada suami tercinta Ir. Danche Runtulalo M.T. yang memberikan perhatian, serta senantiasa membantu dengan tulus dan penuh cinta kasih, juga kepada anak-anakku Reska Runtulalo S.E, Ikerana Runtulalo S.H. M.Kn, dr. Adriandy Saleh, Anjas Prasetya Runtulalo S.T., dan Namira S.T, atas pengertian dan keikhlasannya selama penulis mengikuti pendidikan.

Penyusunan disertasi ini tentunya belum sempurna dan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mohon masukan dan kritik yang membangun demi sempurnanya disertasi ini. Semoga dapat bermanfaat. Amin.

Makassar, April 2014 Sukmasari Antaria

ABSTRAK

SUKMASARI ANTARIA. Studi Penggunaan Zeolit Alam Sulawesi Selatan sebagai Bahan Filtrasi Air Baku (dibimbing oleh Mary Selintung, Muh. Saleh Pallu, dan Mukhsan Putra Hatta).

Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik zeolit alam Sulawesi Selatan, menganalisis kualitas air dengan model pengolahan air melalui penggunaan zeolit alam sebagai bahan filtrasi, dan menentukan hubungan antara konsentrasi aktual zeolit dan absorbansi dalam pengolahan air.

Zeolit diaktivasi dengan pemanasan 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C serta dikarakterisasi dengan XRD dan SEM. Variasi berat zeolit masing-masing 20 gr, 35 gr, dan 50 gr. Air baku disuntik dengan 5 ppm logam berat (Pb, Cu, dan Ni), kemudian dialirkan ke dalam model/alat pengolahan air, dan zeolit sebagai bahan filtrasi. Lamanya waktu kontak untuk menghasilkan air bersih 1000ml dicatat. Semua logam diperlakukan secara sama.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penurunan konsentrasi dan absorbansi aktual yang efektif terjadi pada berat 50 gram dengan nilai masing-masing logam timbal (Pb) = -0,2119, tembaga (Cu) = -0,2902, dan nikel (Ni) = -0,1112. Besarnya pengaruh yang diberikan konsentrasi (x) terhadap absorbansi (y) berbanding linear yang ditunjukkan dengan adanya korelasi yang tinggi dengan R^2 =98,7%. Hasil analisis model Langmuir menunjukkan adanya korelasi yang tinggi dengan nilai R^2 =99,47%, sedangkan hasil analisis dengan model Freundlich dengan nilai R^2 =88,26% mengikuti model isotermal Langmuir.

Kata kunci: zeolit alam, model pengolahan air, air baku, logam berat, Pb, Cu, dan Ni



ABSTRACT

SUKMASARI ANTARIA. A Study of the Use of the Natural Zeolite of South Sulawesi as the Basic Water Filtering Material (supervised by Mary Selintung, Muh. Saleh Pallu, and Mukhsan Putra Hatta).

This study aimed (1) to determine the characteristics of South Sulawesi natural zeolite; (2) to analyze the quality of the water processing model which used the natural zeolite as the filtering material; and (3) to determine the correlation between the actual zeolite concentration and its absorptive capacity in water processing.

The zeolite was activated at the temperature of 100° C, 200° C, 300° C, and 400° C, and then characterized using XRD and SEM. Then the weight of the zeolite was made varied: 20 gr, 35 gr, and 50 gr. The raw water was then injected with heavy metal (Pb, Cu, and Ni) of 5 ppm, and then it was flowed into a model/water processing tool using the zeolite as the filtration materal. The length of the contact time to produce clean water of 1000ml was noted. The same treatment was repeated for all metals.

The research results revealed that the value of the reductions of the effective concentration and absorptive capacity were highest at the weight of 50 grams: the value of the metallic lead (Pb) = 0.2119, the copper (Cu) = 0.2902, and the nickel (Ni) = 0.1112. The magnitude of the effect given a concentration (x) against the absorbance (y) was in a linear proportion, and this showed a high correlation $R^2 = 98.7\%$. The analysis using Langmuir model revealed that there was a high correlation ($R^2 = 99.47\%$), while Freundlich model ($R^2 = 67.26\%$) following the isothermal model of Langmuir.

Keywords: natural zeolite, Water Processing Model, raw water, heavy metal: Pb, Cu, and Ni.



DAFTAR ISI

HALAMAI	i	
LEMBAR	ii	
PERNYA ⁻	TAAN KEASLIAN DISERTASI	iii
PRAKATA	A	iv
ABSTRA	<	vi
ABSTRAC	СТ	vii
DAFTAR	ISI	viii
DAFTAR	TABEL	xii
DAFTAR	GAMBAR	xiv
DAFTAR	LAMPIRAN	xviii
DAFTAR	ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xix
BABI	PENDAHULUAN	1
	A. Latar Belakang	1
	B. Rumusan Masalah	3
	C. Tujuan Penelitian	4
	D. Kegunaan Penelitian	4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
	A. Isu Kualitas Air Bersih di Indonesia	5
	B. Pengolahan Air	9
	C. Filtrasi dengan Zeolit Alam	12
	D. Ion Renik (Trace) di Perairan	14
	E. Mineral Zeolit	17

		Pengertian Zeolit	17
		2. Struktur Zeolit	18
		3. Sifat-sifat Zeolit	19
		4. Manfaat Zeolit	20
		5. Selektifitas Zeolit	26
		6. Luas Permukaan Zeolit	27
		7. Rasio Si/Al dalam Zeolit	27
	F.	Manfaat Zeolit Alam Sulawesi Selatan	28
		Mofologi dan Geologi Daerah Penelitian	28
		2. Geologi Regional Daerah Penelitian	29
		3. Geologi Lokal	33
		4. Tatanan Geologi (Stratigrafi)	34
		5. Endapan Bijih dan Mineralisasi Zeolit	35
	G.	Adsorpsi	37
	Н.	Model Analisis Langmuir dan Freundlich	39
		Kesetimbangan Adsorpsi	39
		2. Model Langmuir	40
		3. Model Freundlich	41
	l.	Spektroskopi Serapan Atom	42
	J.	Penelitian Terdahulu	47
	K.	Konsep dan Kerangka Penelitian	50
BAB III	ME	ETODE PENELITIAN	51
	A.	Waktu dan Lokasi Penelitian	51

	B. Bahan dan Alat-alat Laboratorium	53
	C. Desain (Rancang) Penelitian	55
	D. Langkah-langkah Penelitian	56
	E. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Model	
	Freundlich	57
	F. Bagan Alir Penelitian	58
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	59
	A. Hasil Pengujian Karakteristik Zeolit Alam Toraja	
	Sulawesi Selatan	59
	1. Pengujian dengan X-Ray Difraction tipe	
	RIGAKU MINIFLEX II	59
	2. Pengujian dengan Scanning Electron	
	Microscope	66
	B. Hasil Pengujian Air Baku Sungai Jeneberang	67
	C. Hasil Pengujian Model Pengolahan Air	67
	1. Logam Berat Timbal (Pb)	67
	a. Berat zeolit 20 gram	68
	b. Berat zeolit 35 gram	74
	c. Berat zeolit 50 gram	79
	2. Logam Berat Tembaga (Cu)	83
	a. Berat zeolit 20 gram	84
	b. Berat zeolit 35 gram	89
	c. Berat zeolit 50 gram	93

3. Hasil Nikel (Ni)		100
	a. Berat zeolit 20 gram	101
	b. Berat zeolit 35 gram	105
	c. Berat zeolit 50 gram	110
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	115
	A. Kesimpulan	115
	B. Saran	116
DAFTAR PUSTAKA		117
LAMPIRAN		122

DAFTAR TABEL

Non	nor	Halaman
1.	Komposisi (Senyawa) Zeolit Alam Toraja Utara	65
2.	Kandungan Logam dari Sampel Air	67
3.	Waktu kontak air terhadap logam timbal (Pb)	68
4.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Pb	69
5.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	70
6.	Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb	70
7.	Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich	72
8.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi	74
9.	Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	75
10.	Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb	76
11.	Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich	77
12.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Pb	79
13.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	80
14.	Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb	81
15.	Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich	82
16.	Pengolahan Air Terhadap Logam Tembaga (Cu)	84
17.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	84
18.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	85
19.	Analisis Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Cu	85
20.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	87
21.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	89

22.	Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	89
23.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	90
24.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	92
25.	Larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	94
26.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	94
27.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	95
28.	Absorbansi Analisis Pengujian Model Langmuir	96
29.	Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	97
30.	Analisis hasil uji air dengan AAS terhadap logam Cu	98
31.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu	99
32.	Hasil Pengolahan Air Terhadap Logam Nikel (Ni)	100
33.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni	101
34.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	101
35.	Analisis Hasil Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Ni	102
36.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	103
37.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni	105
38.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	106
39.	Analisis Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Ni	107
40.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	108
41.	Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni	110
42.	Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	111
43.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	111
44.	Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich	113

DAFTAR GAMBAR

Non	nor Halai	man
1.	Status Kualitas Air Sungai Utama di Indonesia	6
2.	Proses Pengolahan Air Sungai	11
3.	Zeolit	17
4.	Kerangka Utama Zeolit	18
5.	Peta Lokasi Daerah Penelitian	29
6.	Peta geologi Lokasi Penelitian, Peta Geologi Regional Sulawesi Selatan bagian Utara.	31
7.	Stratigrafi Sulawesi Barat	32
8.	Peta Geologi Lokal daerah Penelitian dengan mineral Zeolit dalam batuan Breksi Vulkanik	33
9.	Spektroskopi Serapan Atom	46
10.	Konsep dan Kerangka Pikir Penelitian	50
11.	Peta Wilayah Administratif	51
12.	Pengambilan Sampel Zeolite Alam di Toraja Utara, Sulawesi Selatan	52
13.	Pengambilan Sampel Air Sungai Jeneberang di Tiga Titik. Lokasi, Air Masuk ke Bendungan, Air di Dalam Bendungan, dan Air yang Keluar dari Bendungan	52
14.	Model/ Alat Pengolahan Air	53
15.	Bagan Alir Penelitian	58
16.	DifragtogramZeolit darat dan Zeolit Laut	59
17.	Difragtogram Zeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 100 °C	60
18.	DifragtogramZeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 200°C	61
19.	DifragtogramZeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 300°C	62

20.	DifragtogramZeolit Ukuran 150 Mesh dengan Suhu 400°C	63
21.	DifragtogramZeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 400°C	64
22.	Gabungan Difragtogram Hasil XRD	65
23.	Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive	66
24.	Kurva Standar Pb	69
25.	Grafik hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	70
26.	Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	71
27.	Analisis Uji Model Langmuir	73
28.	Analisis Uji Model Freundlich	74
29.	Kurva Standar Pb	75
30.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	76
31.	Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	77
32.	Analisis Uji Model Langmuir	78
33.	Analisis Uji Model Freundlich	79
34.	Kurva Standar Pb	80
35.	Grafik hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	81
36.	Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	82
37.	Analisis Uji Model Langmuir	83
38.	Kurva Standar Cu	84
39.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	85
40.	Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	86
41.	Analisis Uji Model Langmuir	87
42.	Analisis uji model Freundlich	88
43.	Kurva Standar Cu	89

44.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	90
45.	Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	91
46.	Analisis Uji Model Langmuir	92
47.	Analisis Uji Model Freundlich	93
48.	Kurva Standar Cu	94
49.	Kurva Standar Cu	95
50.	Kurva Standar Cu	96
51.	Kurva Standar Cu	97
52.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	97
53.	Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	99
54.	Analisis uji model Langmuir	100
55.	Kurva Standar Ni	101
56.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	102
57.	Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	103
58.	Analisis Uji Model Langmuir	104
59.	Analisis Uji Model Freundlich	105
60.	Kurva Standar Ni	106
61.	Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	106
62.	Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi	108
63.	Analisis Uji Model Langmuir	109
64.	Analisis Uji Model Freundlich	110
65.	Kurva Standar Ni	111
66.	Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi	112
67.	Analisis Uji Model Langmuir	113

68. Analisis Uji Model Freundlich

114

DAFTAR LAMPIRAN

Non	nor	Halaman
1.	Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 20 gr	123
2.	Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 35 gr	124
3.	Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 50 gr	125
4.	Nilai Ce dan qe untuk logam Tembaga (Cu) 20 gr	126
5.	Nilai Ce dan qe untuk logam Tembaga (Cu) 35 gr	127
6.	Nilai Ce dan qe untuk logam Tembaga (Cu) 50 gr	128
7.	Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni) 20 gr	129
8.	Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni) 35 gr	130
9.	Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni) 50 gr	131
10.	Proses pertukaran ion logam Timbal (Pb) pada Zeolit	132
11.	Proses pertukaran ion logam Tembaga (Cu) pada Zeolit	133
12.	Proses pertukaran ion logam Nikel (Ni) pada Zeolit	134
13.	Gabungan Model Langmuir Logam Pb	135
14.	Gabungan Model Langmuir Logam Cu	136
15.	Gabungan Model Langmuir Logam Ni	137
16.	Dokumentasi penelitian	138

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
TSS	Toxic Shock Syndrome
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
DHL	Daya Hantar Listrik
DO	Dissolved Oxygen
MDGs	Millenium Development Goals
SLHI	Status Lingkungan Hidup Indonesia
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
AAS	Spektroskopi Serapan Atom
SEM	Scanning Electron Microscope
XRD	X-Ray Difraction
ppm	parts per million
рН	Power of Hidrogen / Derajat Keasaman
Pb	Lead / Logam Timbal
Cu	Cupper / Logam Tembaga
Ni	Nickel / Logam Nikel

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini, masalah utama yang dihadapi oleh sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus menerus meningkat. Selain itu, kualitas air untuk keperluan domestik juga semakin menurun. Kegiatan manusia, industri, dan kegiatan domestik lainnya dapat berdampak negatif terhadap kualitas air.

Menurut data status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) (2010), khususnya Sungai Jeneberang di Sulawesi Selatan, kondisi kualitas air yang dipantau masih berada pada keadaan yang buruk. Hal ini dibuktikan dengan adanya beberapa parameter uji yang telah berada di atas baku mutu air yang digunakan seperti parameter: TSS, BOD, COD, H₂S, Cl bebas, PO₄, NO₂, fecal coli dan total coli.

Kondisi seperti tersebut di atas dapat menimbulkan dampak buruk bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya dan menggunakan sumber air tersebut. Sungai Jeneberang adalah salah satu sumber air utama bagi penduduk kota Makassar. Karena itu, diperlukan pengelolaan dan perlindungan yang berkelanjutan agar tetap dapat memberikan manfaat bagi semua masyarakat yang menggunakannya.

Aspek penurunan kualitas hidup dan pengaruhnya, yang memerlukan pengamanan secara konkrit adalah aspek pencemaran

terhadap air permukaan dan air sebagai sumber kehidupan manusia. Mengingat bahwa, tubuh manusia terdiri atas 70 % air, selama hidupnya manusia selalu memerlukan air bersih/air minum (Sumirat, 1994).

Salah satu acuan dalam penyediaan air bersih/air minum di Indonesia adalah tuntutan dalam Millenium Development Goals (MDGs). Tujuan yang ingin dicapai pada tahun 2015 adalah 68% masyarakat harus mendapatkan akses terhadap air bersih/air minum. Kekurangan air bersih, tentu akan berpengaruh pada kualitas hidup terutama dalam hal sanitasi dan kesehatan. Pada tingkat yang ekstrim, tidak adanya akses terhadap air minum akan menyebabkan kematian (Partnership, 2011).

Pencemaran lingkungan perairan, berakibat pada air yang dikonsumsi untuk keperluan sehari-hari tidak sesuai lagi dengan peruntukannya. Sebagian besar, air bersih/air minum yang dimanfaatkan oleh masyarakat perkotaan tidak memenuhi syarat kesehatan, bahkan air di beberapa tempat sudah tidak layak untuk diminum. Air tersebut, mengandung bahan toksik yang berbahaya (logam berat). (Rahman, 2004)

Logam berat jika terakumulasi dalam tubuh manusia dengan jumlah tertentu dan melewati standar yang diperbolehkan, dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan. Contohnya; logam berat Merkuri (Hg), senyawa merkuri bersifat sangat toksik bagi manusia. Garam-garam merkuri terserap dalam usus dan terakumulasi dalam ginjal dan hati.

Kadar merkuri pada air minum sebaiknya tidak melebihi 0,002 mgr/liter.(Davis dan Cornwell, 1991 dalam Efendi 2003)

Pengikatan unsur toksik dan logam berat yang terkandung dalam air baku, memerlukan sarana peralatan dan bahan pengolahan yang mahal. Namun, di Dusun Sangkaropi dan Dusun Kasinggiran di Desa Sangkaropi, Toao dan Mendilla Kecamatan Sa' dang Balusu di Kabupaten Toraja Utara dan Luwu Sulawesi Selatan, ditemukan mineral zeolit, sebagai penukar ion alami yang murah dan mudah didapat. Kemampuan zeolit oleh banyak peneliti, dijadikan sebagai mineral serbaguna yang meliputi; pengdehidrasi, sebagai adsorben dan penyaring molekul, serta katalisator dan penukar ion (ion exchanger).

Untuk mereduksi bahan toksik yang terkandung dalam air baku, metode adsorpsi dan filtrasi merupakan cara alternatif yang digunakan dalam pengolahan ini. Air hasil olahan diharapkan dapat memenuhi syarat kualitas, sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (No.492/MenKes/Per/IV/2010)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1. Bagaimana karakteristik zeolit alam Sulawesi Selatan?
- 2. Bagaimana kemampuan zeolit alam Sulawesi Selatan sebagai bahan filtrasi air baku Sungai Jeneberang?

3. Bagaimana menentukan hubungan antara konsentrasi aktual dan absorbansi zeolit dalam pengolahan air ?

C. Tujuan Penelitian

Mengacu pada latar belakang di atas, tujuan penelitian adalah :

- 1. Menentukan karakteristik zeolit alam Sulawesi Selatan
- Menganalisis kualitas air dengan model pengolahan air baku dengan menggunakan zeolit alam Sulawesi Selatan sebagai bahan filtrasi.
- Menentukan hubungan antara konsentrasi aktual zeolit dan adsorpsi dalam pengolahan air.

D. Kegunaan Penelitian

- Mendapatkan kandungan senyawa mineral zeolit alam Sulawesi Selatan sebagai bahan tambang yang produktif dengan nilai ekonomi rakyat
- 2. Membuat suatu model pengolahan air baku dengan zeolit alam sebagai bahan filtrasi yang dapat digunakan di daerah secara praktis
- Sebagai masukan bagi instansi dalam perencanaan pengolahan air baku untuk menggunakan material zeolit. .

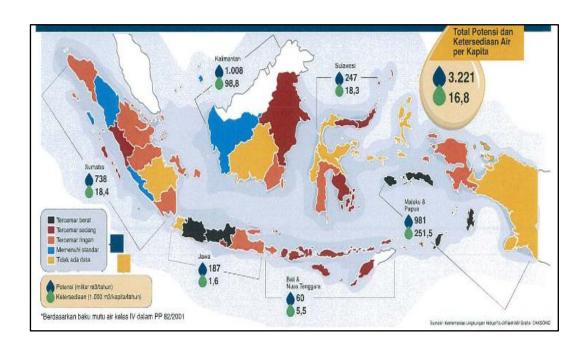
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Kualitas Air Bersih di Indonesia

Laju pertumbuhan penduduk Indonesia diperkirakan rata-rata 1,2 % tiap tahun sehingga pada tahun 2020, jumlah penduduk diperkirakan mencapai 250 juta jiwa. Pesatnya pertumbuhan penduduk tentunya akan berdampak pula terhadap kebutuhan air bersih. Menurut data kementerian kesehatan 60 % sungai di Indonesia tercemar, antara lain oleh; bahan organik, bakteri-bakteri penyebab diare seperti *coliform* dan *fecalcoli*.

Menurut Imaniar (2012), air sungai seharusnya menjadi sumber air bagi masyarakat sekitarnya, namun dengan kondisi seperti ini tentunya menyebabkan pencemaran lingkungan dan menyebabkan buruknya kesehatan masyarakat. Untuk itu masalah pencemaran air saat ini menjadi perhatian yang serius. Menurut data Status Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI), dari Kementerian Lingkungan HidupTahun 2012, data kualitas air adalah seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Status Kualitas Air Sungai Utama di Indonesia

Air merupakan unsur yang mempunyai peran utama dalam kehidupan di bumi ini. Air dikenal sebagai sumber daya yang terbarukan, namun dari segi kualitas maupun kuantitas usaha dibutuhkan agar air tetap dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Kriteria dan standar kualitas air didasarkan atas beberapa hal, antara lain adalah keberadaan logam dan logam berat, tingkat toksisitas, dan teremisinya pencemar ke lingkungan (Imaniar, 2012).

Fardias (1992), mengatakan bahwa beberapa unsur logam berat sering ditemui, dan mencemari lingkungan, serta melebihi nilai ambang batas, berbahaya bagi kehidupan organisme. Contoh logam tersebut adalah; merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr) dan nikel (Ni).

Air adalah pelarut yang baik, oleh sebab itu di dalamnya paling tidak terlarut sejumlah kecil zat-zat anorganik dan organik. Dengan kata lain, tidak ada air yang benar-benar murni dan hal ini menyebabkan dalam setiap analisis air ditemukan zat-zat terlarut (Setiadi, 1993; Wijayanti, 2008).

Salah satu dari materi yang dibutuhkan untuk menjaga kelangsungan hidup mahluk hidup dan juga menjadi salah satu sumber penyebab dari penyakit yang menyerang manusia adalah air. Hal utama yang perlu diperhatikan dalam mengolah air yang akan dikonsumsi adalah menyediakan air yang aman dikonsumsi dari segi kesehatan. Sumber air, baik air permukaan maupun air tanah, akan terus mengalami peningkatan kontaminasi pencemar yang disebabkan oleh meningkatnya kegiatan atau aktivitas manusia, dalam bidang pertanian dan industri.

Air hasil produksi yang diharapkan konsumen adalah air yang bebas dari warna, kekeruhan, rasa, bau, nitrat, ion logam berbahaya dan berbagai macam senyawa organik seperti pestisida. Permasalahan kesehatan yang berkaitan dengan kontaminan tersebut di atas antara lain, penyakit, kanker, gangguan pada bayi yang lahir, kerusakan jaringan saraf pusat, dan penyakit jantung (Sawyer, 1994).

Kebutuhan air setiap harinya akan terus meningkat baik dari segi kuantitas dan kualitas maupun jenis pemakaiannya. Terpenuhinya kebutuhan air untuk masyarakat akan semakin bergantung pada kualitas

daerah aliran sungai (DAS) bagian hulu sebagai penangkap, penyimpan dan pengatur air.

Hasil dari pusat penelitian Sumber Daya Air, mengenai kualitas air Waduk di Indonesia menunjukkan bahwa untuk periode 1996-2010. Proses tersebut juga terjadi pada Waduk Bili-bili di Sulawesi Selatan, waduk mengalami tingkat sedimentasi yang tinggi. Bendungan mengalami kekeruhan air mulai dari 29.000-152.000, yang melebihi nilai ambang batas, yaitu 6000 NTU (*Nhepelometric Turbidity Unit*) (Jurnal SEPLH dalam Hamzah, 2010).

Menurut Nusa dan Satmoko (2008), permasalahan utama yang masih dihadapi dalam penyediaan air bersih di Indonesia adalah :

- tingkat pelayanan yang masih rendah
- fluktuatif debit air baku pada musim hujan dan musim kemarau
- teknologi yang digunakan untuk proses pengolahan yang kurang sesuai dengan kondisi air baku.

Air yang layak diminum mempunyai persyaratan tertentu yakni persyaratan fisis, kimia dan bakteriologis, yang mana syarat tersebut merupakan satu kesatuan. Jika ada satu saja parameter yang tidak memenuhi syarat yang tercantum pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (No.492/MenKes/Per/IV/2010), maka air tersebut tidak layak untuk diminum.

B. Pengolahan Air

Menurut Joko (2010), secara umum ada beberapa persyaratan utama yang harus dipenuhi dalam sistem penyediaan air bersih antara lain :

- a. persyaratan kualitatif
- b. persayaratan kuantitatif
- c. persyaratan kontinuitatif
- d. mudah diperoleh oleh konsumen
- e. harga air relatif murah

a. Persyaratan Kualitatif

Persyaratan kualitatif menggambarkan mutu/kualitas dari air bersih.

Parameter-parameter yang digunakan sebagai standar kualitas air antara lain:

- parameter fisik, yang meliputi; padatan terlarut, kekeruhan, warna, rasa, bau dan suhu
- parameter kimia, yang meliputi; total padatan terlarut TDS (*Total Dissolved Solids*), alkalinitas, flourida, logam, kandungan organik dan nutrien
- parameter biologi, yang meliputi; mikroorganisme yang dianggap pathogen yaitu; bakteri, virus, protozoa, dan cacing parasit (Helminths).

 parameter radiologis, dimana air bersih/minum tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan yang mengandung radioaktif, seperti sinar alfa, beta dan gamma.

b. Persyaratan Kuantitatif

Persyaratan ini harus mampu melayani semua penduduk yang ada dalam suatu wilayah atau daerah pelayanan. Persyaratan kuantitatif ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air baku yang tersedia, serta kapasitas produksi dari instalasi pengolahan air. Pada umumnya debit air dari tiap sumber air akan mengalami perubahan-perubahan atau berfluktuasi dari waktu ke waktu yang lain.

c. Persyaratan Kontunuitatif

Arti kontinuitatif disini adalah, bahwa air baku untuk air bersih tersebut dapat diambil secara terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada musim hujan maupun musim kemarau.

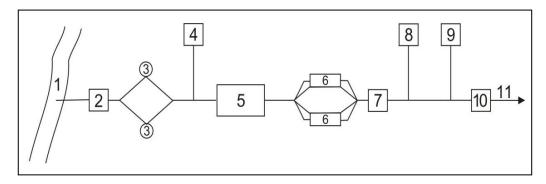
Menurut Joko ((2010), ada 2 (dua) macam proses pengolahan air yang biasa digunakan selama ini, yaitu: pengolahan lengkap dan pengolahan sebagian.

 Pengolahan lengkap; disini air baku mengalami pengolahan lengkap yaitu; pengolahan fisik, kimiawi dan bakteriologis. Pengolahan ini dilakukan untuk air baku dari sungai yang keruh/kotor.

Pada proses pengolahan lengkap terdapat 3 (tiga) tingkat pengolahan, yaitu :

- a. pengolahan fisik; untuk mengurangi/menghilangkan kotorankotoran kasar, penyisihan lumpur dan pasir, mengurangi zat-zat organik yang ada pada air yang akan diolah. Proses pengolahan secara fisik dilakukan tanpa tambahan zat kimia.
- b. pengolahan kimia; tujuan pengolahan ini membantu proses
 pengolahan selanjutnya, misalnya pembubuhan tawas untuk
 mengurangi kekeruhan yang ada.
- c. pengolahan biologi; bertujuan untuk membunuh/memusnahkan bakteri-bakteri terutama bakteri penyebab penyakit yang terkandung dalam air misal; bakteri coliform yang menyebabkan sakit perut. Salah satu proses pengolahannya adalah dengan penambahan desinfektan.
- Pengolahan sebagian; air baku hanya mengalami proses pengolahan kimia dan/atau pengolahan bakteriologis.

Unit operasi yang umum dipergunakan, dalam sistem pengolahan air baku dari sungai, dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2. Proses Pengolahan Air Sungai

Keterangan: 1) Tempat penyadapan air (sungai), 2) Pompa 3) Bak pengendapan I, 4) Pembubuhan bahan kimia (tawas), 5) Bak pencampuran accelerator, 6) Bak pengendapan II, 7) Saringan pasir, 8) Pembubuh kapur, 9) Disinfektan, 10) Tandon air/reservoir dan 11) Saluran distribusi.

C. Filtrasi dengan Zeolit Alam

Filtrasi adalah proses yang digunakan pada pengolahan air bersih untuk memisahkan bahan pengotor (partikulat) yang terdapat dalam air. Pada prosesnya air merembes dan melewati media filter sehingga akan terakumulasi pada permukaan filter dan terkumpul sepanjang ke dalaman media yang dilewatinya. Filter juga mempunyai kemampuan untuk memisahkan partikulat semua ukuran termasuk algae, virus dan koloid-koloid tanah (Selintung, 2012).

Beberapa jenis media filter, diantaranya adalah: (Reynolds, 1982)

- single-media filter, proses filtrasi yang memerlukan satu jenis media, biasa pasir atau antrasit (batu bara hancur).
- dual-media filter, proses filtrasi yang memerlukan dua jenis media, biasanya pasir dan antrasit.
- multi-media filter, proses filtrasi yang memerlukan tiga atau lebih jenis media, biasanya menggunakan pasir, antrasit dan granit.

Menurut Tyoso (1988) dalam Ansori (2009), filtrasi adalah pemisahan partikel padat dari cairan dengan cara mengalirkan campuran

melalui pori-pori yang cukup halus sehingga mampu menahan partikelpartikel padat, namun dapat melewatkan atau meloloskan cairan yang ada.Prinsip filtrasi salah satunya adalah menahan partikel yang tersuspensi dalam celah saringan.

Pemilihan media filter yang akan digunakan dianalisis menggunakan ayakan untuk mencari ukuran efektif dan keseragaman media yang diinginkan. Ukuran efektif media filter adalah ukuran media filter bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10 % dari total kedalaman lapisan media filter atau 10 % dari fraksi berat yang sering dinyatakan dengan d₁₀ (diameter pada persentil 10).

Penyaringan air, selain menghilangkan padatan dan koloid, juga menghilangkan kontaminan, termasuk logam berat dan zat toksik lainnya, bakteri serta parasit lainnya. Sistem saringan pasir konvensional tidak menghilangkan semua kontaminan.

Kemampuan aktivasi zeolit, penyaringan baik bentuk alami maupun modifikasi merupakan serbaguna dan ramah lingkungan. Untuk menyerap sebagian besar kontaminan yang ditemukan dalam sistem pengolahan air.

Alternatif penyaringan dengan zeolit ini, diperlukan untuk mendapatkan kualitas air yang memenuhi syarat kesehatan. Aktivasi zeolit alami dapat melakukan fungsi ini karena kapasitasnya tinggi dalam pertukaran ion. Energi adsorpsi-desorpsi dan kemampuan untuk modifikasi aktivasi zeolit memiliki kerangka kristal biasa terbuka yang

menghasilkan medan listrik yang berinteraksi menarik dan mengikat berbagai kation.

D. Ion Renik (Trace) di Perairan

Ion renik (*trace*) adalah ion yang terdapat di perairan dalam jumlah yang sangat sedikit, biasanya dinyatakan dalam satuan nanogram/liter-mikrogram/liter.Ion-ion renik di perairan yang meliputi timbal (Pb), tembaga (Cu), nikel (Ni) dan lain-lain.

1. Timbal (Pb)

Timbal/timah hitam pada perairan ditemukan dalam bentuk terlarut dan tersuspensi. Kelarutan timbal cukup rendah sehingga kadar timbal dalam air relatif sedikit. Kadar dan toksisitas timbal dipengaruhi oleh kesadahan, pH, alkalinitas, dan kadar oksigen. Timbal diserap dengan baik oleh tanah sehingga pengaruhnya terhadap tanaman relatif kecil. Bahan bakar yang mengandung timbal memberikan kontribusi yang berarti bagi keberadaan timbal di dalam air. Di perairan tawar, timbal membentuk senyawa kompleks dengan beberapa anion, misalnya hidroksida, karbonat, sulfida, dan sulfat. Senyawa kompleks tersebut sulit larut dalam air.

Akumulasi timbal dalam tubuh manusia mengakibatkan gangguan pada otak dan ginjal, serta kemunduran mental pada anak yang sedang tumbuh. Perairan tawar alami biasanya memiliki kadar timbal

0,05 mg/liter. Pada perairan laut, kadar timbal sekitar

0,25mg/liter. Kelarutan timbal pada perairan lunak adalah sekitar 0,5 mg/liter, sedangkan pada perairan sadah sekitar 0,003 mg/liter.

Timbal tidak termasuk unsur yang esensial bagi mahluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan unsur renik yang lain.

Pada perairan yang diperuntukkan untuk air minum, kadar maksimum timbal adalah 0,05 mg/liter. Untuk melindungi ternak, kadar timbal sebaiknya tidak melebihi 0,1 mg/liter. Kadar timbal diperairan yang diperuntukkan untuk lahan pertanian pada tanah yang bersifat netral dan alkalis adalah 10 mg/liter, sedangkan pada tanah yang bersifat asam adalah 5 mg/liter.

2. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan logam berat yang dijumpai pada perairan alami dan merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan dan hewan. Garam-garam tembaga misalnya tembaga klorida, tembaga sulfat, dan tembaga nitrat sangat mudah larut dalam air, sedangkan tembaga karbonat, tembaga hidroksida, dan tembaga sulfida bersifat tidak mudah larut dalam air. Apabila air masuk ke dalam perairan alami yang bersifat alkalis, ion tembaga akan mengalami presipitasi dan mengendap sebagai tembaga hidroksida dan tembaga karbonat.

Pada perairan alami, kadar tembaga biasanya < 0,01 mg/liter.

Air tanah dapat mengandung tembaga sekitar 12 mg/liter. Pada

perairan laut, kadar tembaga berkisar antara 0,001-0,025 mg/liter. Kadar tembaga maksimum pada air minum adalah 0,1 mg/liter. Defisiensi tembaga dapat menyebabkan anemia, jika berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan pada hati.

3. Nikel (Ni)

Di dalam perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid. Pada kondisi aerob dan pH < 9, nikel membentuk senyawa kompleks dengan hidroksida, karbonat dan sulfat. Pada pH > 9 nikel membentuk senyawa kompleks dengan hidroksida dan karbonat, dan selanjutnya mengalami presipitasi. Demikian juga pada kondisi anaerob, nikel bersifat tidak larut.

Kadar nikel pada perairan tawar alami adalah 0,001 sampai dengan 0,003 mg/liter. Sedangkan pada perairan laut berkisar antara 0,005 - 0,007 mg/liter. Kontal langsung dengan larutan yang banyak mengandung garam-garam nikel dapat mengakibatkan dermatitis, sedangkan mengisap nikel terus-menerus dapat mengakibatkan kanker paru-paru. Kadar nikel pada air minum sebaiknya tidak melebihi 0,1 mg/liter. Urutan toksisitas beberapa logam dari yang sangat rendah sampai yang sangat tinggi yaitu: Sn < Ni < Pb < Cr < Co < Zn < Cu < Ag < Hg

.

E. Mineral Zeolit



Gambar 3.Zeolit

1. Pengertian Zeolit

Menurut Agung.e*t.al* (2007), zeolit pertama kali ditemukan oleh seorang ahli mineral bangsa Swedia pada tahun 1756, yang bernama A.F Cronstedt. Penamaan zeolit berasal dari bahasa Yunani, yang berarti "batu membuih", sesuai sifatnya yang akan membuih bila dipanaskan pada temperatur 100m °C – 150°C.

Menurut Perdana (2010), zeolit adalah kelompok mineral yang dalam pengertian/penamaan bahan galian, merupakan salah satu jenis bahan galian non logam atau bahan galian mineral industri seperti pada Gambar 3.

Mineral zeolit merupakan mineral hasil tambang yang bersifat lunak dan mudah kering. Warna dari zeolit adalah putih keabu-abuan, putih kehijau-hijauan, atau putih kekuning-kuningan (Sutarti, 1994).

Menurut Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral 2001, komposisi zeolit alam terdiri atas, senyawa alumino silikat hidrat dan unsur logam alkali. Zeolit memiliki sifat fisika dan kimia seperti derajat hidrasi yang tinggi, kerapatan ruang yang rendah, kemampuan untuk melakukan pertukaran kation, saluran molekul yang seragam dalam kristal terhidrasi, kemampuan sebagai katalis dan konduktifitas terhadap aliran listrik.

2. Struktur Zeolit

Kerangka dasar struktur zeolit terdiri atas unit-unit tetrahedral [AlO₄] dan [SiO₄] yang saling berhubungan melalui atom O (Barrer, 1987) seperti pada Gambar 4

Gambar 4.Kerangka Utama Zeolit

Dalam struktur tersebut Si ⁴⁺ dapat diganti Al ³⁺ sehingga rumus umum komposisi zeolit dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\mathbf{M_{n/m}^m}$$
 [Si_{1-n}Al_nO₂] $\mathbf{nH_2O}$ (Auerbach, at al 2003)
(1) (2) (3)

- 1) Kerangka ekstra berisi kation (extraframework kation)
- 2) Kerangka [Si, 1-nAlnO2]
- 3) Fasa diadsorpsi (nH₂O)

3. Sifat-sifat Zeolit

Zeolit mempunyai sifat-sifat kimia, diantaranya: dehidrasi, penjerapan, penukar ion, katalis, dan penyaring atau pemisah.

a. Dehidrasi

Menurut Barrer (1992), sifat dehidrasi zeolit berpengaruh terhadap sifat jerapannya. Keunikan zeolit terletak pada struktur porinya yang spesifik. Kation-kation atau molekul air terdapat dalam pori-pori zeolit alam. Bila kation-kation atau molekul air tersebut dikeluarkan dari dalam pori dengan suatu perlakuan tertentu maka zeolit akan meninggalkan pori yang kosong.

b. Penjerapan

Menurut Khairinal (2000), dalam keadaan normal, ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air yang berada di sekitar kation. Bila zeolit dipanaskan maka air tersebut akan keluar. Zeolit yang telah dipanaskan dapat berfungsi sebagai penjerap gas atau cairan.

c. Penukar Ion

Menurut Bambang, et al (1995), ion-ion pada rongga berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi bergantung pada ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain bergantung pada sifat kation, suhu, dan jenis anion.

d. Katalis

Menurut Bambang, et al (1995), zeolit sebagai katalis hanya mempengaruhi laju reaksi tanpa mempengaruhi kesetimbangan reaksi karena mampu menaikkan perbedaan lintasan molekular dari reaksi. Katalis berpori dengan pori-pori sangat kecil akan memuat molekul-molekul kecil tetapi mencegah molekul besar masuk. Selektivitas molekuler seperti ini disebut penyaring molekul (molecular sieve) yang terdapat dalam substansi zeolit alam.

e. Penyaring/pemisah

Menurut Bambang, et al (1995), zeolit sebagai penyaring molekul maupun pemisah didasarkan atas perbedaan bentuk, ukuran, dan polaritas molekul yang disaring. Sifat ini disebabkan zeolit mempunyai pori yang cukup besar. Molekul yang berukuran lebih kecil dari pori dapat melintas sedangkan yang berukuran lebih besar dari pori akan ditahan.

4. Manfaat Zeolit

Menurut Perdana (2010), sampai saat ini lebih dari 50 jenis mineral pembentuk zeolit alam sudah diketahui, diantaranya yang sering ditemukan, adalah jenis; klinoptilolit, mordenit, erionit, ferriet, heulandit, laumontit, filipsit, dan faujasit.

Menurut, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (2001), zeolit dapat dimanfaatkan sebagai bahan:

- a. pupuk untuk pertanian
- b. bahan aditif ("additive") makanan ternak;
- c. bahan penyerap ("adsorben") ammonium dalam kolam perikanan/tambak;
- d. bahan penyerap ("adsorben") ammonium dan racun lainnya dalam tanah, atau remediasi lahan bekas tambang, serta "penyaring" unsur-unsur pengotor pada sistem instalasi pengolahan air.

Zeolit menurut proses pembentukannya dibagi 2, yaitu : zeolit alam (natural zeolit) dan zeolit sintetis (synteticzeolit). Sedangkan berdasarkan ukuran porinya, zeolit dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan, yaitu: zeolit dengan pori kecil (small pore zeolit), zeolit dengan pori medium (medium pore zeolit), dan zeolit dengan pori besar (large pore zeolit). Zeolit alam biasanya mengandung kationkation K⁺, Na⁺, Ca²⁺ atau Mg²⁺ sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K⁺ atau Na⁺. Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan

molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl dan H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori.

Indonesia berada dalam wilayah rangkaian gunung berapi, mulai dari Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku, sampai Sulawesi. Beragam jenis batuan gunung yang dihasilkan, diantaranya beberapa batuan piroklastik tuf berbutir halus yang bersifat asam dan bersusunan dasit-vcolit atau bermassa kaca gunung api. Tuf halus ini tersebar luas mengikuti jalur gunung api tersebut yang sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses ubahan atau diagnesis menjadi zeolit karena secara geologi Indonesia berpotensi besar menghasilkan zeolit, seperti yang terdapat di Sumatera (Lampung), Jawa (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Timur), dan Sulawesi.

Zeolit telah dieksplorasi dan digunakan untuk keperluan berbagai industri, zeolit tersebut dijumpai di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara, sedangkan zeolit yang terdapat di Sulawesi hingga saat ini belum banyak diteliti, yang mana tuf yang terubah sebarannya cukup luas.

Zeolit adalah salah satu kelompok mineral alumina silikat yang mempunyai sifat multi struktur, karena memperlihatkan struktur sarang tikus dan serat yang sangat baik. Secara kimia, mineral zeolit mengandung ion alkali dan mempunyai air kristal. Apabila dipanaskan, air kristalnya mudah menguap, sehingga bekas air dalam zeolit merupakan lubang-lubang atau saluran mikro ke segala arah. Struktur yang memiliki pori ini menyebabkan zeolit mempunyai kemampuan menyerap dan menyaring molekul.

Selain itu zeolit sering disebut juga sebagai mineral multifungsi, karena banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti untuk adsorben, penukar ion, penyaring molekuler dan katalis, pembebas nitrogen-amonia dari pabrik, pembebas ion logam dari air, aditif pada pakan ternak, tambak ikan atau udang, penyerap limbah, dan lain-lain, oleh sebab itu mineral zeolit merupakan salah satu mineral "primadona" saat ini.

Batuan induk zeolit di daerah Sangkaropi-Mendilla berupa tuf litik dan tuf gelas yang berubah dan sebagian termineralisasi termasuk ke gunung Api Lamasi berumur oligosen. Hal ini ditunjukkan oleh hadirnya mineral ubahan hidrotermal, sepeti klonit, epidot, karbonat, dan silika, serta logam-logam dasar.

Zeolit Sangkaropi-Mendilla dengan sumber daya sekitar 168.480.000 ton pada daerah seluas 360.000 m² ini dapat digunakan dalam bidang perikanan (budi daya udang), pertanian, penyerap limbah, penyaring unsur-unsur pengotor pada sistem instalasi air, dan bidang industri lainnya.

Dalam pemanfaatannya zeolit telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industri dan pertanian, juga bagi lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, HS dan lainnya. Zeolit merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator (Eddy, 2000).

Zeolit merupakan salah satu mineral yang melimpah di Indonesia, bukan merupakan mineral tunggal melainkan sekelompok mineral tunggal yang terdiri atas beberapa jenis. Secara umum mineral ini merupakan senyawa alumino silikat hidrat dengan logam alkali, mempunyai sifat porositas dan kemampuan mengadsorpsi yang relatif tinggi. Pemanfaatan zeolit didasarkan pada sifat fisika dan kimia dari zeolit. Sifat fisika dan kimia dari zeolit alam memberikan kemungkinan untuk memperluas penggunaanya dalam bidang peternakan, pertanian, industri minyak dan lain-lain (Marwati, 2011).

Zeolit dapat berfungsi sebagai agen pendehidrasi. Kristal zeolit normal mengandung molekul air yang berkoordinasi dengan kation penyeimbang. Zeolit dapat didehidrasi dengan memanaskannya. Pada keadaan ini, kation akan berpindah posisi, sering kali menuju tempat dengan bilangan koordinasi lebih rendah. Zeolit terdehidrasi merupakan bahan pengering (drying agents) yang sangat baik.

Penyerapan air akan membuat kation kembali menuju keadaan koordinasi tinggi (Marwati, 2011).

Zeolit dapat berfungsi sebagai penukar ion. Kation Mn⁺ pada zeolit dapat ditukarkan oleh ion lain yang terdapat pada larutan yang mengelilinginya. Dengan sifat ini zeolit-A dengan ion Na⁺ dapat digunakan sebagai pelunak air (water softener) dimana ion Na⁺ akan digantikan oleh ion Ca²⁺ dari air sadah. Zeolit yang telah jenuh Ca²⁺ dapat diperbarui dengan melarutkannya ke dalam larutan garam Na⁺ atau K⁺ murni. Zeolit-A sekarang ditambahkan ke dalam deterjen sebagai pelunak air menggantikan polipospat yang dapat menimbulkan kerusakan ekologi. Produksi air minum dari air laut menggunakan campuran Ag dan Ba zeolite merupakan proses desalinasi yang baik walaupun proses ini tergolong mahal (Marwati, 2011).

Zeolit dapat berfungsi sebagai adsorben. Zeolit yang terdehidrasi akan mempunyai struktur pori terbuka dengan luas permukaan dalam yang besar sehingga kemampuan mengadsorpsi molekul selain air semakin tinggi. Ukuran cincin dari jendela yang menuju rongga menentukan ukuran molekul yang dapat teradsorpsi. Sifat ini yang menjadikan zeolit mempunyai kemampuan penyaringan yang sangat spesifik yang dapat digunakan untuk pemurnian dan pemisahan. Chabazite (CHA) merupakan zeolit pertama yang diketahui dapat mengadsorpsi dan menahan molekul kecil seperti asam formiat dan metanol tetapi tidak dapat menyerap benzena dan molekul yang

lebih besar. *Chabazite* telah digunakan secara komersial untuk mengadsorpsi gas polutan SO₂ yang diemisi dari cerobong asap. Hal yang sama terdapat pada zeolit-A dimana diameter jendela berukuran 410 pm yang sangat kecil dibandingkan diameter rongga dalam yang mencapai 1140 pm sehingga molekul metana dapat masuk rongga dan molekul benzena yang lebih besar tertahan diluar (Marwati, 2011).

5. Selektifitas Zeolit

Kation-kation dalam kerangka zeolit dapat ditukar dan disubstitusi tanpa merubah struktur kerangka (isomorfis) dan dapat menimbulkan gradien medan listrik dalam kanal-kanal dan ruangan-ruangan zeolit (Smith, 1992). Gradien ini akan dialami semua adsorbat yang masuk ke pori zeolit, karena kecilnya diameter pori yang ukurannya beberapa angstrom. Sebagai akibatnya, sifat zat teradsorpsi seperti tingkat disosiasi, konduktivitas dan lain-lain akan berbeda dari sifat zat yang bersangkutan dalam keadaan normalnya. Molekul yang polar (misalnya: amoniak atau air) akan berinteraksi lebih kuat dengan gradien medan elektronik intrakristal, dibanding molekul-molekul non polar. Zeolit banyak mengalami substitusi kerangka isomorfis, sehingga cenderung memilih molekul-molekul yang polar untuk diadsorpsi. Sebaliknya molekul-molekul non polar akan diserap oleh zeolit dengan rasio Si/Al tinggi.

6. Luas Permukaan Zeolit

Struktur yang khas dari zeolit, yakni hampir sebagian besar merupakan kanal dan pori yang menyebabkan zeolit memilki luas permukaan yang besar. Keadaan ini dapat dijelaskan bahwa masing masing pori dan kanal dalam maupun antar kristal dianggap berbentuk silinder, maka luas permukaan total zeolit adalah akumulasi dari luas permukaan (dinding) pori dan kanal-kanal penyusun zeolit. Semakin banyak jumlah pori yang dimiliki, semakin besar luas permukaan total yang dimiliki zeolit. Menurut Dyer (1988), luas permukaan internal zeolit dapat mencapai puluhan bahkan ratusan kali lebih besar dibanding bagian permukaaan luarnya. Luas permukaan yang besar ini sangat menguntungkan dalam pemanfaatan zeolit baik sebagai adsorben ataupun sebagai katalis heterogen.

7. Rasio Si/Al dalam Zeolit

Rasio Si/Al merupakan perbandingan jumlah atom Si terhadap jumlah atom Al dalam kerangka zeolit. Zeolit A merupakan zeolit sintetik yang mempunyai rasio Si/Al satu. Beberapa zeolit mempunyai rasio Si/Al yang tinggi, seperti zeolit ZK-4 (LTA) yang mempunyai struktur kerangka seperti zeolit A, mempunyai rasio 2,5. Banyak zeolit sintetik yang dikembangkan untuk katalis mempunyai kadar Si yang tinggi seperti ZMS-5V(MFI) (zeolit zocory-MO) dengan rasio Si/Al antara 20 sampai tak terhingga (murni SiO₂) ini jauh melebihi mordenit

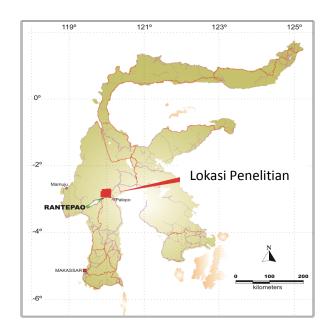
(rasio Si/Al = 5,5) yang merupakan zeolit alam yang dikenal paling banyak mengandung Si.

Perubahan rasio Si/Al dari zeolit alam mengubah muatan zeolit sehingga pada akhirnya akan mengubah jumlah kation penyeimbang lebih sedikit atom Al artinya lebih sedikit muatan negatif pada zeolit sehingga lebih sedikit pula kation penyeimbang yang ada. Zeolit berkadar Si tinggi bersifat hidrofobik, dan mempunyai afinitas terhadap hidrokarbon.

F. Manfaat Zeolit Alam Sulawesi Selatan

1. Morfologi dan Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian (Gambar 5) terletak di sayap timur dari komplek stratovolkano Tersier yang terletak di bagian tengah pulau Sulawesi, dan terdapat pada Mandala Geologi Sulawesi Barat, dengan topografi dominan pegunungan dengan topografi yang terjal. Mandala ini dicirikan oleh batuan sedimen bawah laut dalam berumur Kapur – Paleogen yang kemudian berkembang menjadi batuan gunung api bawah laut dan akhirnya gunung api darat di akhir tersier. Rekonstruksi tektonik memperkirakan bahwa pembentukan batuan dari Miosen Tengah hingga pliosen (Djuri, Sujadmiko, 1998).

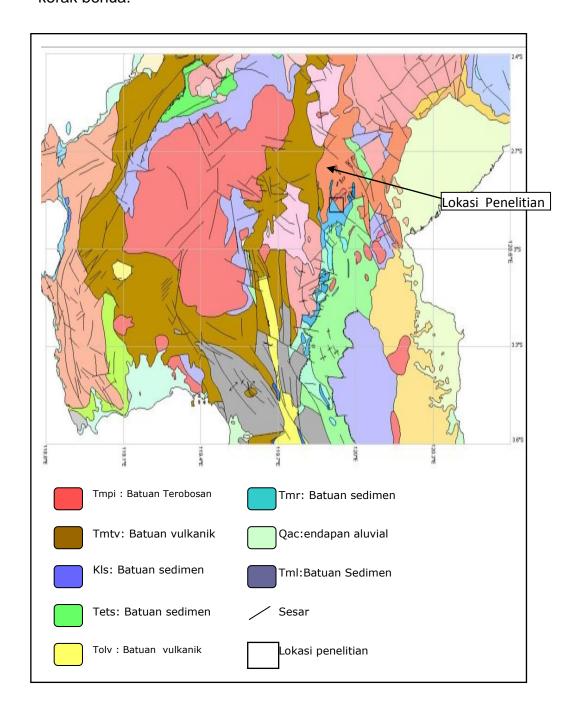


Gambar 5. Peta Lokasi Daerah Penelitian

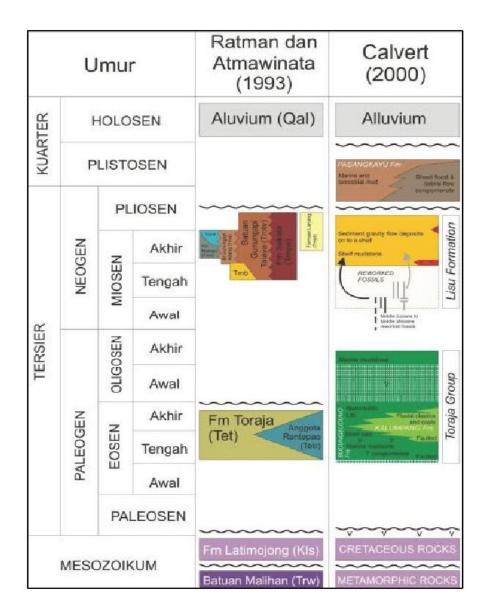
2. Geologi Regional Daerah Penelitian

Hasil rekonstruksi tektonik Pulau Sulawesi diperkirakan bahwa bagian kontinental Sulawesi sebelah barat bersatu dengan Kalimantan pada zaman pra-Kenozoik. Batuan-batuan asal kontinental Sulawesi bagian barat selanjutnya dikelompokkan kedalam "Sundaland terrain", yang merupakan bagian dari lempeng Eurasia. Hasil rekonstruksi tektonik lainnya, menafsirkan bahwa pada saat ini lengan barat dan utara membentuk segmen busur yang menerus (Hall, 1996; Leeuwen Van, 1995; Nishimura dan Suparka ,1995) dan beranggapan bahwa Sulawesi Barat terletak di barat laut Sulawesi Utara, yang membentuk busur gunungapi-dalam. Rekonstruksi perbedaan proses volkanisme di bagian utara dan barat Sulawesi ditafsirkan berdasarkan data geokimia yang sangat terbatas.

Kegiatan tektonik terakhir mengindikasikan bahwa Sulawesi bagian barat telah membentuk suatu busur sejak zaman Kapur. Penunjaman terjadi pada Kapur tengah diperkirakan 110 juta tahun yang lalu, ketika fragmen benua masuk kedalam zona penunjaman. Busur kegunungapian di Sulawesi Selatan diperkirakan berumur 60 juta tahun, dan hal tersebut memberikan umur minimum untuk penunjaman yang diperbarui. Pengulangan sejarah terjadi lagi ketika fragmen benua dari Buton dan Sula menunjam kearah busur tersebut. Benua mikro tersebut diperkirakan merupakan bagian dari New Guinea Tengah. Ofiolit di Sulawesi bagian timur diduga telah dialihtempatkan sebelum peristiwa tumbukan dengan Buton dan Sula, pengangkatan ofiolit bagian barat ke Sulawesi terjadi pada zaman Oligosen, sementara itu ofiolit tersesar naik ke arah sisi barat dari Sula yang terjadi pada zaman Miosen Akhir. Tumbukan benua menghasilkan busur kegunungapian di bagian selatan yang terjadi pada zaman Miosen Tengah-Akhir, dan membentuk busur Sunda-Banda seperti halnya teramati sekarang. Walaupun proses penunjaman telah berakhir, kegiatan magmatik menerus hingga 1-2 juta tahun yang lalu di Sulawesi Selatan dan Tengah. Kegiatan magmatik pasca-Miosen di Sulawesi Utara berkaitan dengan penunjaman palung Sulawesi Utara yang mempunyai kemiringan ke arah selatan, dan penunjaman lempeng samudera Maluku yang mempunyai kemiringan kearah barat. Kegiatan magmatik pasca-Miosen di bagian kontinental masih belum jelas penyebabnya, kemungkinan terkait dengan pensesaran mendatar, ataupun dengan peningkatan temperatur astenosfir dibawah kerak benua.

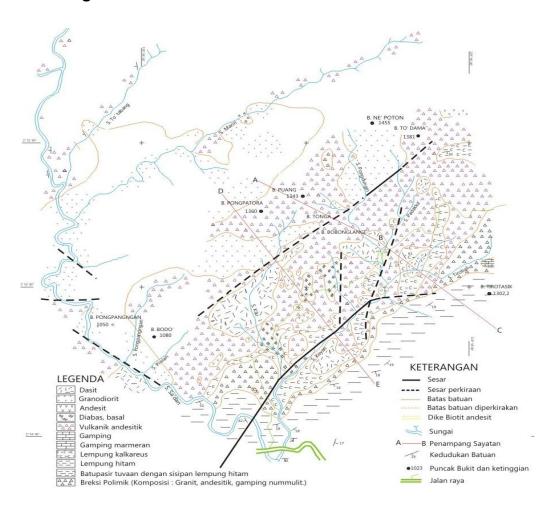


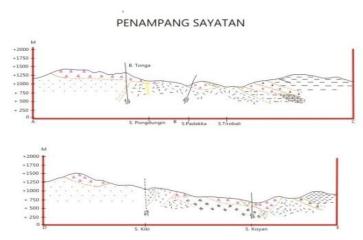
Gambar 6. Peta geologi Lokasi Penelitian, Peta Geologi Regional Sulawesi Selatan bagian Utara.



Gambar 7. Stratigrafi Sulawesi Barat

3. Geologi Lokal





Gambar 8. Peta Geologi Lokal daerah Penelitian dengan mineral Zeolit dalam batuan Breksi Vulkanik.

4. Tatanan Geologi (Stratigrafi)

Batuan tersier di daerah Sangkaropi terbagi ke dalam delapan anggota, urutannya, ke atas, sebagai berikut (peta geologi pada Gambar 8):

- 1) Batuan granitik: hanya tersingkap di bagian utara endapan Sangkaropi. Berwarna abu-abu terang sampai gelap, masif, faneritik, tersusun oleh veinlet-veinlet kuarsa, dan teralterasi oleh argilitisasi, serisitisasi, dan kloritisasi. Tidak ditemukan kontak metamorfisme pada batuan-batuan yang berbatasan dengan granit ini.
- 2) Breksi-tufa andesitik; terutama terdiri atas tufa andesitik, breksi, dan tufa lapilli yang berinterkalasi dengan tufa pasiran, tufa halus, batulempung atau batulumpur (mudstone) dan batuan tersilisifikasi.
- Batuan dasit; Berwarna hijau dan teralterasi, dan terdistribusi di bagian atas (puncak) breksi tufa asam yang merupakan anggota dari layer-layer aliran.
- 4) Tufa asam; terdiri atas tufa asam, breksi tufa, breksi, dan lempung yang berwarna abu-abu sampai hijau muda, dan fanerik. Breksinya mengandung fragmen-fragmen dasit, granit, andesit, dan pumis.
- 5) Piroklastika riolitik dan lava; berstruktur masif dan terutama tersusun oleh tufa riolitik sampai dasitik, breksi dan lava. Di lapangan, batuan-batuan ini teralterasi dan menampakkan efek silisifikasi.

- Batuan basal; tersingkap di sekitar sekeliling endapan Sangkaropi.
 Basal segarnya berwarna hijau tua sampai hitam.
- Serpih kalkareus; terutama tersusun oleh serpih dan batulempung, batulempung kecoklatan berinterkalasi dengan serpih.
- 8) Piroklastika andesitik dan lava; terutama lava andesitik dan piroklastika. Lava andesitik berwarna hijau, masif; batuan piroklastika andesitik terdiri atas breksi volkanik dengan sejumlah kecil lempung dan batuan tersilisifikasi.

5. Endapan Bijih dan Mineralisasi Zeolit

a. Endapan Bijih Type Kuroko.

Endapan bijih di daerah Sangkaropi diperkirakan merupakan tipe Kuroko (bijih hitam), yang merupakan campuran mineralmineral sfalerit, galena, barit, kalkopirit, tetrahedrit, dan pirit. Genesisnya adalah terjadinya sirkulasi konveksi panas dari air laut yang masuk ke batuan volkanik (yang panas). Tingkat kelarutan bertambahnya gipsum menurun dengan temperatur, mengakibatkan terpresipitasinya gipsum dan anhidrit secara langsung dari air laut. Air laut yang tersirkulasi ke dalam batuan volkanik panas tersebut, menyebabkan terbentuknya larutan bijih, akibat terjadinya penurunan tingkat oksidasi dan pelarutan logamlogam dari batuan volkanik. Sedikit air magmatik atau air meteorik juga akan tercampur dengan sirkulasi air laut.

Berdasarkan penampang (profil) geologi dan hasil analisis sinar-x, terlihat bahwa endapan bijih Kuroko tersingkap di dua lokasi, yaitu Rumanga dan Sangkaropi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa posisi stratigrafi endapan Kuroko di daerah Sangkaropi ini adalah terletak di antara serpih coklat yang berinterkalasi dengan andesit (di bagian bawah) dan breksi tufa andesit (di bagian atas), sedangkan endapan Kuroko di daerah Rumanga terletak di antara breksi tufa andesit di bagian bawah dan tufa hijau di bagian atas.

b. Mineralisasi zeolit

Mineralisasi endapan Zeolit di daerah Sangkaropi berhubungan magmatisme dan volkanisme pada saat Miosen-Pliosen, berupa batuan basaltik dan asidik. Di daerah Sangkaropi, endapan zeolit ditemukan pada endapan laut tufa hijau di sekeliling batuan granitik dan dasitik. Mineralisasi zeolit hidrotermal ini berhubungan dengan sesar, karena endapannya ditemukan melimpah dan tersebar di sepanjang zona sesar.

Zeolit berdasarkan hasil analisis sinar-x, tufa hijau dengan kisaran kadar zeolit 60-70% tersingkap di daerah Bisosa. Secara umum lapisan (bed) ini tersingkap di 3 (tiga) lokasi, yaitu; To'ao, Bisosa, dan Rumanga. Secara stratigrafi, bagian bawah bed tufa hijau dibatasi oleh tufa riolit putih yang interkalasi dengan batu lempung, sedangkan bagian atasnya dibatasi oleh breksi tufa riolit

putih. Mineral kaolin juga ditemukan dalam tufa hijau dengan kisaran kadar zeolit 10-30 %, dari hasil analisis sinar-x dari To'ao dan Bisosa.

G. Adsorpsi

Adsorpsi adalah serangkaian proses yang terdiri atas reaksi-reaksi permukaan zat padat (adsorben) dengan zat pencemar (adsorbat), pada fase cair maupun gas, sehingga kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben merupakan fungsi luas permukaan spesifik. Secara umum adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi; adsorpsi fisik, adsorpsi kimiawi, dan adsorpsi pertukaran (Sawyer, et. al, 1994).

Menurut Mangallo (2013), adsorpsi dibagi dalam 3 (tiga) tipe yaitu :

1. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia disebut juga kemisorpsi, adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya interaksi kimia yang disertai dengan reaksi kimia.

2. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi yang terjadi berdasarkan gaya Van der Walls, yaitu dua atau lebih partikel dalam bentuk suspensi yang masing-masing mempunyai parameter berbeda kemudian bergabung menjadi satu, sehingga bentuk dan berat molekulnya bertambah.

3. Adsorpsi dengan pertukaran ion

Padatan dapat mengadsorpsi ion dari suatu larutan dengan cara ion dalam larutan mengganti tempat ion yang ada dalam

padatan. Adsorpsi ini sering digunakan untuk pemurnian atau ekstraksi suatu logam. Proses penyerapan sangat penting untuk menghilangkan kontaminan di lingkungan dan untuk menghilangkan kontaminan dalam reaktor buatan.

Adsorpsi pengotor yang terdapat pada udara atau air ke karbon aktif sering digunakan untuk pemurnian udara atau air. Materi yang terkonsentrasi adalah adsorbat, permukaan padat penyerap disebut adsorben. Adsorpsi fisik relatif nonspesifik yang disebabkan oleh lemahnya interaksi molekul Van der Walls. Di sini, molekul yang teradsorpsi tidak ditempatkan ke situs tertentu pada permukaan padat tetapi bebas untuk bergerak di atas permukaan. Selain itu,material terserap dapat mengembun dan membentuk lapisan pada permukaan adsorben (Sawyer, et. al, 1994).

Adsorpsi dengan karbon aktif banyak digunakan dalam pengolahan air untuk menyisihkan senyawa yang menyebabkan rasa, bau, atau warna; dalam pengolahan air limbah tingkat lanjut untuk mengadsorpsi senyawa organik; dan dalam pengolahan air limbah industri untuk mengadsorpsi senyawa organik yang toksik. Pada proses adsorpsi, model model pengujian yang umum digunakan, yaitu model Langmuir dan model Freundlich (Faust, 1998).

H. Model Isotermal Langmuir dan Freundlich

1. Kesetimbangan Adsorpsi

(Isotermal) adsorpsi adalah Kesetimbangan hubungan kuantitatif yang menggambarkan keseimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam larutan (massa/volume) dan konsentrasi diserapnya (massa adsorben/massa adsorbat). Isotermal adsorpsi digunakan untuk menandakan bahwa hubungan terjadi pada suhu tertentu. Empat isotermal umum digunakan adalah Linear, Freundlich, dan BET. Isotermal yang digunakan bergantung pada berbagai faktor seperti situasi (misalnya, rekayasa reaktor terhadap lingkungan alam); sifat, konsentrasi, dan jumlah adsorbat (misalnya, hidrofobik versus hidrofilik, senyawa organik versus logam, spesies spesies bermuatan, konsentrasi netral versus tinggi konsentrasi rendah. kontaminan tunggal versus beberapa kontaminan); jenis adsorben misalnya, karbonaktif granular (GAC) versus resin pertukaran ion versus besi oksida mineral versus bahan akuifer]; jenis cairan (misalnya, gas *versus* air *versus* pelarut organik); dan faktor lingkungan lainnya (misalnya, pH, kekuatan ion). Isotermal linear adalah kasus terbatas, khusus dari isotermal Freundlich. Hal ini sering digunakan untuk menggambarkan penyerapan bahan kimia organik dalam lingkungan alam.

2. Model Langmuir

Kesetimbangan (Isoterm) ini mengasumsikan bahwa adsorbat tunggal mengikat ke situs tunggal pada adsorben dan bahwa semua situs permukaan adsorben memiliki afinitas yang sama untuk adsorbat.

Asumsi dasar yang mendasari model Langmuir yang juga disebut model monolayer adalah ;

- molekul teradsorpsi pada tempat tertentu pada permukaan adsorben.
- setiap situs hanya dapat mengakomodasi satu molekul adsorbat (monolayer).
- tidak ada interaksi antara molekul yang teradsorpsi dengan sisi aktif sekitarnya.
- 4. proses penyerapan energi sama pada semua situs.

Model keseimbangan (isotherm) Langmuir dinyatakan dengan :

$$q = q_m \frac{K_{ads}C}{1 + K_{ads}C} \tag{1}$$

dimana:

- q = (beberapa teks menggunakan I) konsentrasi diserap (massa adsorben/massa adsorbat) (kadang-kadang disebut kerapatan adsorpsi)
- q_m = kapasitas maksimum adsorben untuk adsorbat (massa adsorben/massa adsorbat)

c = konsentrasi cair dari adsorbat (massa/volume)

 $K_{ads} = ukuran afinitas adsorbat untuk adsorben$

Persamaan 1 dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K_{ads}} \left(\frac{1}{C}\right) + \frac{1}{q_m} \tag{2}$$

Isotermal Langmuir dapat dimodifikasi untuk adsorpsi kompetitif dengan lebih dari satu adsorbat dan adsorben untuk yang memiliki situs dengan afinitas yang berbeda untuk adsorbat yang diberikan.

3. Model Freundlich

Kesetimbangan (isotermal) Freundlich mempelajari fenomena adsorpsi luas dan menunjukkan bahwa adsorpsi dari larutan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$q = KC^{Mn} \tag{3}$$

Isotermal Freundlich dapat diturunkan dari isotermal Langmuir dengan mengasumsikan bahwa terdapat distribusi situs di adsorben yang memiliki afinitas yang berbeda untuk adsorbat yang berbeda dengan masing-masing situs berperilaku sesuai dengan isotermal Langmuir. Di sini, K adalah ukuran kapasitas adsorben (massa adsorben/massa adsorbat) dan n adalah ukuran dari bagaimana afinitas untuk perubahan adsorbat dengan perubahan densitas adsorpsi. Ketika n=1, isoterm Freundlich menjadi isoterm linear dan menunjukkan bahwa semua situs di adsorben memiliki afinitas yang sama untuk adsorbat. Nilai dari n>1 menunjukkan bahwa afinitas menurun dengan meningkatnya kepadatan

adsorpsi. Evaluasi koefisien K dan n dapat dicapai dengan menggunakan bentuk linierisasi dari persamaan (4)

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \tag{4}$$

Evaluasi koefisien untuk kedua isotermal Langmuir dan Freundlich dapat dilakukan dengan menggunakan data eksperimen yang sama. Dengan mengetahui konsentrasi awal, q (massa adsorben/massa adsorbat) dapat dihitung. Persamaan (7) dan (8) kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai dan teknik seperti kuadrat-regresi linear. Analisis statistik regresi tersebut harus memungkinkan penentuan yang isoterm yang terbaik untuk situasi tertentu.

I. Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom (Gambar 9) adalah salah satu alat yang pengukurannya didasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom-atom bebas dalam keadaan dasar. Atom dalam keadaan gas akan menyerap sejumlah energi sinar tertentu. Sinar yang diserap biasanya masih berada dalam spektra sinar tampak dan ultra lembayung. Dengan demikian, molekul-molekul akan mengalami dissosiasi dan direduksi menjadi atom-atom bebas. Spektroskopi serapan atom sangat penting untuk menganalisis logam-logam renik karena mempunyai kepekaan yang sangat tinggi (kadar logam kurang dari 1 ppm dapat ditentukan).

Dalam analisis dengan AAS, unsur yang akan dianalisis harus berada dalam keadaan gas sebagai atom-atom yang netral, dalam keadaan gas, atom-atom disinari oleh berkas sinar dari sumber sinar. Proses ini dapat dilakukan dengan jalan menghisap larutan cuplikan dan menyemprotkan ke dalam nyala api tersebut sama seperti sel (kuvet) dari larutan pada spektrofotometri serapan molekul.

Pada perkembangan terakhir, alat atomisasi yang digunakan dalam AAS adalah menggunakan tabung grafit yang dipanaskan dengan listrik (electrothermal atomizer). Pembentukan populasi atom-atom bebas atau atomisasi itu biasanya dilakukan dalam 3 (tiga) tahap yang berlangsung secara atomatis, sesuai dengan urutan program yaitu: pengeringan, pengabuan, dan atomisasi.

- Tahap pengeringan; pemanasan pada suhu rendah (di bawah 100 °C) untuk menghilangkan pelarut.
- 2. Tahap pengabuan; suhu dinaikkan menjadi 150 °C, sehingga molekul-molkeul senyawa organik dan senyawa-senyawa anorganik mengalami proses pirolisis keluar dari alat atomisasi dan yang tinggal ialah senyawa-senyawa anorganik yang stabil dan atom yang bebas.
- 3. Tahap atomisasi; pada tahap ini, tabung atomisasi dipanaskan sampai suhu yang lebih tinggi lagi (1700°C) untuk menguraikan senyawasenyawa yang belum terurai dan untuk menggerakkan atom-atom bebas ke dalam berkas sinar supaya absorbansi atom-atom dapat diukur.

Dalam keadaan ini hampir semua atom dalam keadaan dasar. Jika atom diradiasi dengan cahaya, atom tersebut akan menyerap cahaya yang mempunyai panjang gelombang yang sangat spesifik untuk logam berat dan atom akan mengalami oksidasi (Hadisuwoyo, 1996). Penyerapan cahaya ini sebanding dengan konsentrasi atom-atom logam. Pengukuran serapan cahaya oleh atom-atom dalam nyala, maka konsentrasi logam dalam contoh dapat ditentukan. Hubungan antara serapan cahaya dengan konsentrasi logam pada panjang gelombang tertentu dinyatakan oleh hukum Lambert-Beer sebagai berikut:

$$P = P_o \cdot e^{-kbc}$$
(5)

dimana A = $\log P_0/P$ = abc, dimana a = k/2,303

P = Intensitas cahaya yang sampai pada detektor

Po = Intensitas cahaya dari sumber cahaya

A = Absorbans

a = Konstanta absorptivitas

b = Panjang medium adsorpsi

C = konsentrasi

Dalam analisis dengan panjang gelombang tertentu, absorptivitas (a) dan panjang medium (b) telah tertentu pula, sehingga nilai a dan b dalam persamaan di atas adalah tetap. Dengan demikian maka A sebanding dengan konsentrasi (C).

Cara untuk menentukan konsentrasi larutan cuplikan tersebut dengan nilai absorbansi (A) dari larutan baku yang telah diketahui

konsentrasinya. Selanjutnya kurva baku dibuat dari (A). Larutan baku tersebut sebagai fungsi absorbansi yang akan menghasilkan kurva garis lurus. Nilai absorbansi cuplikan dialurkan pada kurva baku tersebut, sehingga larutan cuplikan dapat ditentukan (Hadisuwoyo, 1996).

Menurut Cantle (1982) dan Hadisuwoyo (1996), bagian-bagian terpenting pada alat AAS adalah sumber cahaya, medium penyerap (sumber atom), monokromator, detektor, amplifier dan instrumen pembacaan.

1. Sumber Cahaya

Sumber cahaya ini harus dapat memancarkan spektrum garis yang sempit dan karakteristik dari unsur yang akan dianalisis.

2. Medium penyerap atau sumber atom

Pada analisis dengan harus diuraikan menjadi atom-atom netral dalam keadaan dasarnya. Atom-atom tersebut dihasilkan dengan cara dissosiasi termal dan biasanya digunakan nyala.

- Monokromator, berfungsi untuk mendispersi cahaya menjadi cahayacahaya yang mempunyai panjang gelombang yang berbeda dan setelah melalui celah yang lebarnya dapat diatur sehingga memungkinkan pemilihan panjang gelombang.
- 4. Detektor, berfungsi untuk mengubah foton-foton cahaya menjadi sinyal-sinyal listrik
- Amplifier, berfungsi untuk mengubah sinyal listrik yang berasal dari detektor

6. Instrumen pembacaan.

Dalam analisis dengan AAS terdapat tahapan penting yang harus diperhatikan penyiapan contoh dan pembuatan kurva baku.

1. Penyiapan Contoh

Penyiapan contoh merupakan tahapan yang sangat menentukan keberhasilan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

- a. jenis unsur yang akan dilakukan
- b. sifat fisik dari contoh

2. Pembuatan Kurva Baku

Untuk mendapatkan kurva kalibrasi yang sesuai dengan perumusan Lamber Beer, maka harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. kondisi parameter analisis
- b. jenis unsur dan sifat fisik dari contoh.



Gambar 9. Spektroskopi Serapan Atom

J. Penelitian Terdahulu

Beberapa peneliti, telah melakukan uji kemampuan zeolit sebagai adsorben logam berat. Rahman dan Hartono (2004) melaporkan bahwa, zeolit alam asal Bayah Kabupaten Lebak Provinsi Banten cukup efektif menurunkan kadar Fe 55 % dan kadar Mn 44 % dalam air tanah yang mengandung 3,6mg/l Fe dan 0,7 mg/l Mn.Gustian dan Suharto (2005), menunjukkan bahwa zeolit alam yang berasal dari Bengkulu cukup efektif menurunkan kadar garam dalam air. Zeolit dimodifikasi dengan cara penukaran kation dengan larutan ammonium nitrat dan dikalsinasi dalam oven pada suhu 450–550 °C selama 4 jam. Ini menunjukkan penurunan kadar garam sampai 80 %.

Srihapsari (2006) melaporkan bahwa, kemampuan penjerapan zeolit alam sebesar 130,285 mg/l, pada konsentrasi HCl 2 M dan berat zeolit yang digunakan adalah 8 gram. Fathul (2008) menyatakan bahwa, zeolit alam efektif digunakan sebagai agen pengikat pada proses flotasi, dengan konsentrasi optimum sebesar 2 gr/Lyang menghasilkan persentase pemisahan untuk kadar; besi (Fe) 99,7 %, tembaga (Cu) 88,98 %, nikel (Ni) 98,46 %. Susetyaningsih, (2009), menggunakan zeolit alam Bayah dari jawa Barat, dan melaporkan bahwa setelah proses pemanasan pada 150 °C dapat diaplikasikan untuk sorpsi logam krom (Cr) dalam limbah B3 cair industri kulit dengan nilai efisiensi sorpsi sebesar 92,60 %.

Mifbakhuddin (2010) melaporkan bahwa, efektifitas penggunaan karbon aktif sebagai media filter diperoleh pada ketebalan 80 cm (86 %), sedangkan nilai yang terendah diperoleh pada ketebalan 60 cm (59 %). Selanjutnya Hardyanti, dkk., (2006), mempelajari evaluasi instalasi pengolahan air bersih untuk kebutuhan domestik dan non domestik dengan menggunakan desain koagulasi, flokulasi, dan clarifier, dan mendapatkan hasil yang kurang optimal dalam pengolahan air (warna air olahan tidak memenuhi standar mutu).

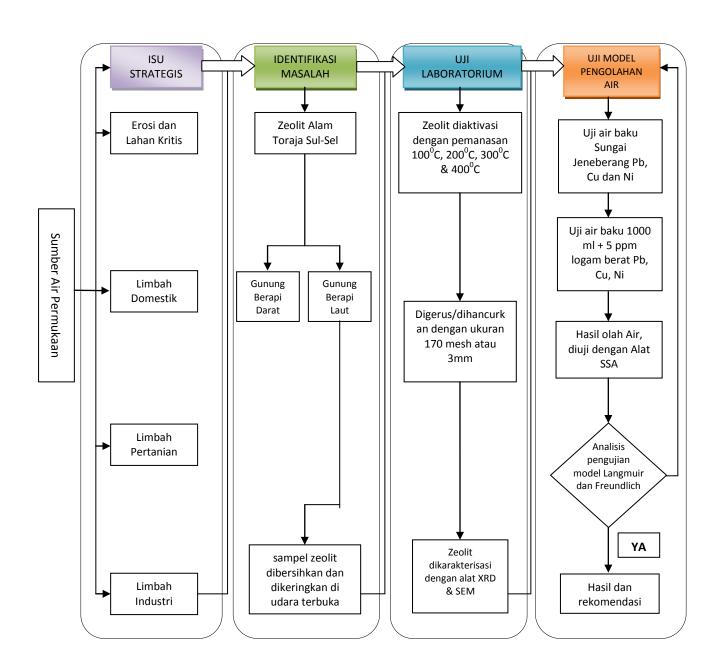
Supriyo (2003) melaporkan bahwa, zeolit alam lebih efektif dalam menurunkan kesadahan air yang mengandung CaCO₃, jika dibandingkan dengan zeolit sintesis. Agustianingsih, dkk., (2012), mempelajari kualitas air Sungai Blukar Kabupaten Kendal, dan menunjukkan bahwa nilai indeks pencemaran berkisar 0,49 sampai 3,28. Status mutu air Sungai Blukar tercemar ringan. Atastina, dkk., (2009) menggunakan zeolit alam Lampung sebagai penukar kation. Hasil menunjukkan bahwa, ketinggian unggun 5 cm mampu menurunkan kesadahan air yang mengandung ion Ca²⁺ hingga 500 ppm. Suardana (2008), temperatur aktivasi zeolit yang efektif untuk adsorpsi ion Cr³⁺ yaitu pada suhu 100 °C dengan daya adsorpsi sebesar 2,7061 mg/g. Proses adsorpsi mengikuti pola isotermal Langmuir.

Djatmiko, dkk., (2004) melaporkan bahwa, melalui media zeolit dapat digunakan kembali setelah kejenuhannya. Diameter ukuran zeolit sebesar 40 mesh merupakan diameter yang paling efektif dalam

penurunan kadar besi. Ginting, dkk., (2007), mengkarakterisasi zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung, dan mendapatkan bahwa uji F tidak memberikan komposisi kimia dan karakter termal yang signifikan, namun terjadi perubahan luas permukaan, jari-jari pori dan besar adsorpsi dari ketiga jenis zeolit. Nurulita, dkk., (2010) menyatakan bahwa, lama kontak 40 menit merupakan waktu yang memberikan penurunan kesadahan air yang mengandung CaCO₃ tertinggi 475,6 mg/l. Hasil uji Anova didapat nilai p=0,000.

Selanjutnya Siswoyo (2009) melaporkan bahwa, pada menit ke 90, penggunaan aerokarbonfilter mampu menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) sebesar 78,39 %. Gustian, dkk., (2005) menggunakan zeolit alam Bengkulu yang direndam dalam ammonium nitrat dan dapat menurunkan kadar garam NaCl sebesar 80 %. Zeolit tanpa perendaman dan hanya dikalsinasi mampu menurunkan kadar garam sebesar 80 %. Kartini (2007) meneliti kesadahan dan penjernihan air sehingga memenuhi kriteria mutu diperoleh pada perbandingan komposisi zeolit 20 % dan abu 80 %, dengan waktu kontak penyerapan yang paling baik adalah pada waktu perendaman 10 menit. Nilai penurunan sebesar 149,2 mg/l. Sedangkan kesadahan sebesar 719 mg/L, dan penurunan kekeruhan sebesar 3,78 NTU.

K. Konsep dan Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 10. Konsep dan Kerangka Pikir Penelitian

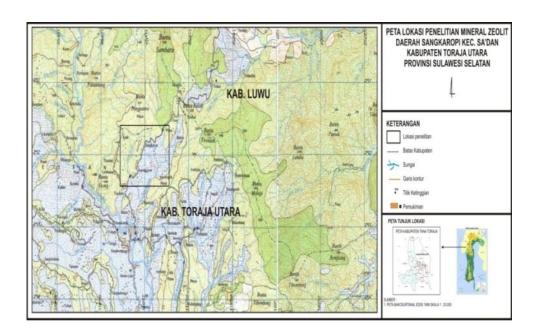
BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel zeolit alam Toraja Sulawesi Selatan, sampel air Sungai Jeneberang dan pembuatan model /alat filtrasi masing-masing:

Pengambilan sampel zeolit di Dusun Sangkaropi, Desa Sangkaropi
 Kecamatan Sa'dang Balusu Kabupaten Toraja Utara Sulawesi
 Selatan (Gambar 11 dan 12) pada bulan Maret 2013.



Gambar 11.Peta Wilayah Administratif



Gambar 12. Pengambilan Sampel Zeolite Alam di Toraja Utara, Sulawesi Selatan

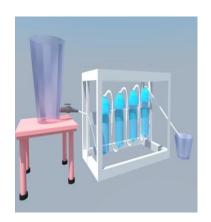
 Pengambilan sampel air di sungai Jeneberang, diambil pada 3 tempat yaitu; air yang masuk kebendungan, air dalam bendungan, dan air yang keluar dari bendungan (Gambar 13). Pengambilannya dilakukan pada bulan Oktober 2013



Gambar 13. Pengambilan Sampel Air Sungai Jeneberang di Tiga Titik Lokasi, Air Masuk ke Bendungan, Air di Dalam Bendungan, dan Air yang Keluar dari Bendungan.

3. Pembuatan Model/ Alat Pengolahan Air

Pembuatan alat pengolahan air dimulai dengan menyediakan reservoir yang berukuran 20 liter, kemudian dipasang atau dilengkapi dengan sebuah kran. Alat filter dibuat dengan tabung yang terbuat dari bahan plastik yang tebal dan keras dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 6 cm sebanyak 4 (empat) buah. Keempat buah tabung tersebut mempunyai ukuran dan bentuk yang sama besarnya, tabung kemudian dipasang sejajar pada rakitan yang terbuat dari bahan aluminium, seperti pada Gambar 14





Gambar 14. Model/ Alat Pengolahan Air

B. Bahan dan Alat-alat Laboratorium

a. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1. Zeolite alam Toraja Sulawesi Selatan
- 2. Air baku Sungai Jeneberang
- 3. Larutan induk Pb, Cu, dan Ni
- 4. Aquabidest

- 5. Kertas saring teknis
- 6. Kertas saring Whatman no. 42
- 7. Kertas PH.
- b. Alat-alat Laboratorium yang Digunakan:
 - 1. XRD (X-Ray Diffraction) MINIFLEX Rigaku Type II
 - 2. SEM (Scanning Electron Microscop), Type 3 VEGA Tescan
 - Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) tipe Shimadzu AA 7000
 - 4. Timbangan digital merek Shimadzu
 - 5. Tanur merek Neycraft (untuk pemanasan 300°C dan 400°C)
 - 6. Oven merek Memmert (untuk pemanasan 100°C dan 200°C)
 - 7. Teskit BOD Lamotte
 - 8. Alat sampling air merek ay-100
 - 9. Labu ukur 500 mL dan 1000 MI
 - 10. Pipet volume
 - 11. Saringan ukuran 170 mesh
 - 12. Lumpang dan alu
 - 13. Stopwatch
 - 14. Gunting
 - 15. Jerigen
 - 16. Model/alat pengolahan air

C. Desain (Rancang) Penelitian

- 1. Jenis penelitian adalah penelitian eksperimental murni laboratorium
- 2. Tempat penelitian
 - a. Laboratorium Universitas Negeri Makassar

Di laboratorium ini, sampel zeolit yang sudah diaktivasi diuji karakteristiknya dengan alat :

- XRD (X-Ray Diffraction) MINIFLEX Rigaku Type II
- SEM (Scanning Electron Microscope), Type 3 VEGA Tescan
- b. Laboratorium Pertambangan

Di laboratorium ini, dilakukan uji sampel:

- Aktivasi sampel dengan pemanasan 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C.
- Uji model/alat pengolahan air
- Pengujian sampel zeolite sebagai bahan filter dengan berat
 50 gr
- Hasil olah air diuji dengan alat Atomic Absorption

 Spectrophotometer (AAS) tipe Shimadzu AA-7000
- c. Laboratorium Peternakan Universitas Hasanuddin

Di laboratorium ini, dilakukan:

- Uji model/alat pengolahan air
- Pengujian sampel zeolit sebagai bahan filter dengan berat 20 gr dan 35 gr

- Hasil olah air diuji dengan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) tipe Shimadzu AA-7000.

D. Langkah-langkah Penelitian

Sampel zeolite dibersihkan kemudian dikeringkan di udara terbuka. Sampel diaktivasi dengan variasi pemanasan ; 100 °C, 200 °C, 300 °C, dan 400 °C. Selanjutnya sampel zeolit ditumbuk atau digerus lalu disaring dengan saringan 170 Mesh untuk memperoleh ukuran butir 170 Mesh atau dengan ukuran 3 mm.

Sampel zeolite yang sudah di Aktivasi diambil seukupnya untuk dikarakterisasi dengan alat X-Ray Difraction tipe RIGAKU MINIFLEX II dan alat SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope*). Selanjutnya sampel zeolite ditimbang dengan variasi berat masing-masing; 20gr, 35 gr dan 50 gr. Air baku Sungai Jeneberang diuji, untuk diketahui kandungan nya yaitu selain kandungan logam berat Pb, Cu dan Ni juga diamati parameter, DO, DHL, BOD5, dan COD.

Air baku Sungai Jeneberang diisi ke dalam labu ukur sebanyak 1000 ml kemudian disuntik dengan logam berat masing-masing logam (Pb, Cu dan Ni), sebanyak 5 ppm. Perlakuan sama untuk setiap logam. Dibuat 8 liter air baku dengan konsentrasi 5 ppm kemudian diisi ke dalam reservoir lalu dialirkan atau dirunning ke dalam alat pengolahan air dan dihitung waktu kontaknya sampai menghasilkan air bersih sebanyak 1000 ml. Perlakuan sama untuk masing-masing variasi berat zeolit serta variasi

pemanasan. Air hasil olahan diuji dengan alat AAS (Atomic absorption Spectroscope).

E. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Model Freundlich

1. Model Langmuir

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K_{ads}} \left(\frac{1}{C}\right) + \frac{1}{q_m} \tag{2}$$

$$\frac{1}{q_m K_{ads}} \left(\frac{1}{C}\right) = \frac{1}{q} - \frac{1}{q_m}$$

$$\frac{1}{q_m K_{ads}} = \frac{\frac{1}{q} - \frac{1}{q_m}}{\frac{1}{C}}$$

$$\frac{1}{q_m K_{ads}} = \left(\frac{1}{q} - \frac{1}{q_m}\right) \cdot C$$

$$\frac{1}{q_m K_{ads}} = \frac{C}{q} - \frac{C}{q_m}$$

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{q_m K_{ads}} + \frac{1}{q_m} C$$

Pengujian model Langmuir ini diperoleh dengan cara menghubungkan antara Ce *versus* Ce/qe.

2. Model Freundlich

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \tag{4}$$

Pengujian model Freundlich ini diperoleh dengan cara menghubungkan antara log Ce *versus* log qe.

F. Bagan Alir Penelitian Mulai Kajian Literatur Identifikasi Masalah Pengambilan sampel zeolit di Toraja Utara Pengambilan sampel air baku sungai Jeneberang Pembuatan model/alat pengolahan air Persiapan laboratorium Persiapan alat dan bahan Laboratorium Uji sampel air baku Sungai Sampel zeolit dibersihkan dan Jeneberang dikeringkan diudara terbuka Zeolit diaktivasi dengan Air baku (1 liter) disuntik dengan 5 pemanasan 100°C, 200°C, 300°C ppm logam berat masing-masing Pb, & 400°C Cu, dan Ni Digerus/dihancurkan dengan ukuran 170 mesh atau 3mm Reservoir di isi dengan 8 liter air baku yang sudah disuntik. (perlakuan sama untuk semua Karakterisasi dengan logam berat : Pb. Cu. dan Ni) XRD & SEM Uji Model Dimasukan Ditimbang dengan variasi berat Pengolahan air 20 gr, 35 gr, dan 50 gr Dialirkan / di running sampai diperoleh 1000 ml air bersih Hasil olah air diuji dengan alat SSA Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich Hasil dan rekomendasi

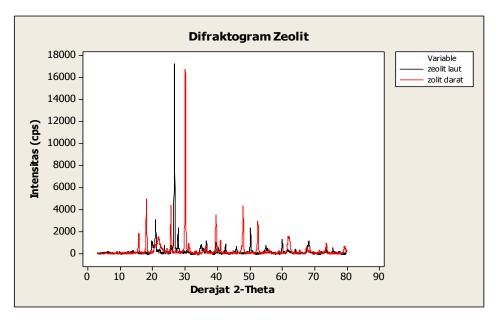
Gambar 15. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Karakteristik Zeolit Alam Toraja Sulawesi Selatan

Pengujian dengan X-Ray Difraction tipe RIGAKU MINIFLEX II
 Difraktogram Zeolit Darat dan Zeolit Laut ditunjukkan pada
 Gambar 16.



Gambar16.Difragtogram Zeolit darat dan Zeolit Laut

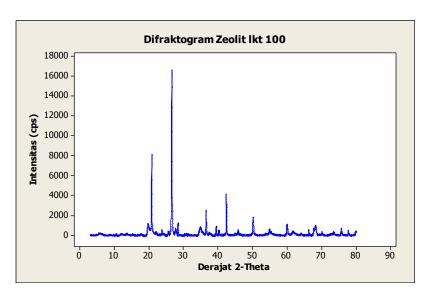
Difragtogram Zeolit Darat

Gambar 16 menunjukkan bahwa puncak yang muncul pada 2θ 21,83° merupakan puncak untuk Critobalite-beta high. Puncak pada 2θ, 30,0489° merupakan puncak dari Alunite. Dalam RIR, terkandung sebanyak 4,8 % Critobalite-beta high, 95,2 % Alunite.

Difragtogram Zeolit Laut

Puncak yang muncul pada difragtogram zeolit laut adalah pada sudut 2θ 20,903° dan 37,60° yang merupakan puncak untuk Sodium Alumosilikat. Puncak pada 2θ, 6,15°, 20,903°, dan 24,38° merupakan puncak dari Zeolit Nu. Dalam RIR, terkandung sebanyak 8,3 % Sodium Alumosilikat, dan 97,3 % Zeolit Nu.

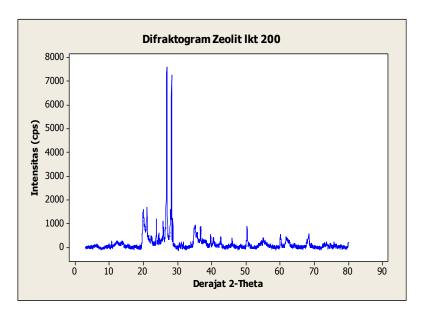
a. Difraktogram zeolit ukuran 170 Mesh pada suhu 100°C ditunjukkan pada Gambar 17



Gambar17.Difragtogram Zeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 100°C

Puncak yang muncul pada 20 26,642° merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz). Puncak pada 20 37,15° merupakan puncak dari KCI (Pottasium Chloride). Puncak pada 20 7,34°, 23,776°, 27,68°, 28,422°, 34,86°, 35,53° merupakan puncak untuk Zeolit P (Na). Dalam RIR, terkandung sebanyak 90 % Quartz, 3,9 % Potasium Klorida, 5,7 % Zeolit P.

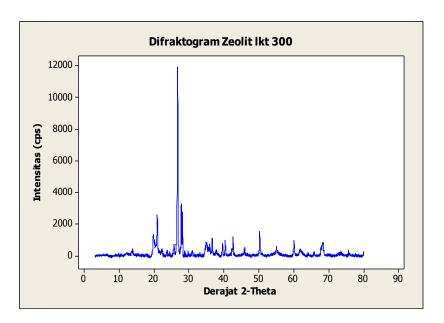
 b. Difraktogram zeolit ukuran 170 Mesh pada suhu 200°C dapat dilihat pada Gambar 18



Gambar 18. Difragtogram Zeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 200°C

Dari Gambar 18 menunjukkan bahwa puncak yang muncul pada 20 28,116° merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz). Puncak pada 20, 20,998°, 23,672°, 23,48°, 25,70°, 26,772°, 27,891° merupakan puncak dari Muscovite-2M1. Puncak pada 20 22,36°, 35,00°, 35,63°, 37.918°, merupakan puncak untuk Zeolit P (Na). Dalam RIR, terkandung sebanyak 2,98 % Quartz, 71,1 % Muscovite-2M1, 25,9 % Zeolit P.

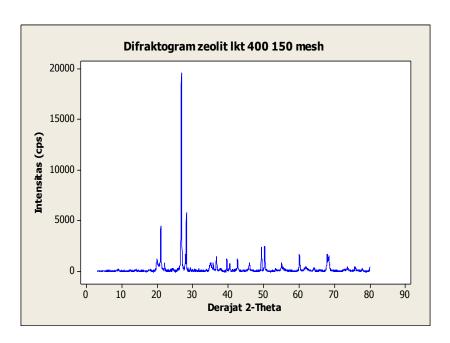
c. Difraktogram zeolit ukuran 170 Mesh pada suhu 300°C diberikan pada Gambar 19.



Gambar 19.Difragtogram Zeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 300°C

Dari Gambar 19, puncak yang muncul pada 2θ 26,733° merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz). Puncak pada 2θ, 19,772°, 20,951°, 22,22°, 25,71°, 26,773°, 27,773°, 29,714°, 30,994°, 34,97°, 35,988°, 36,631°, 37,80° merupakan puncak dari Muscovite-2M1. Puncak pada 2θ 13,907°, 28,104°, merupakan puncak untuk Zeolit P (Na). Dalam RIR, terkandung sebanyak 66,1% Quartz, 20% Muscovite-2M1, 13,9 % Zeolit P.

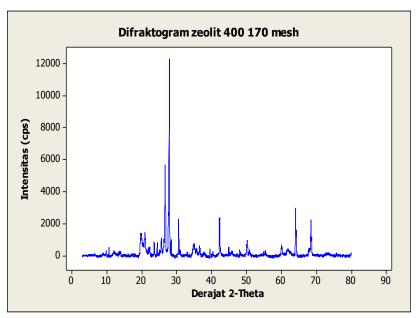
d. Difraktogram zeolit ukuran 150 Mesh pada suhu 400° C dapat dilihat pada Gambar 20



Gambar 20. Difragtogram Zeolit Ukuran 150 Mesh dengan Suhu 400° C

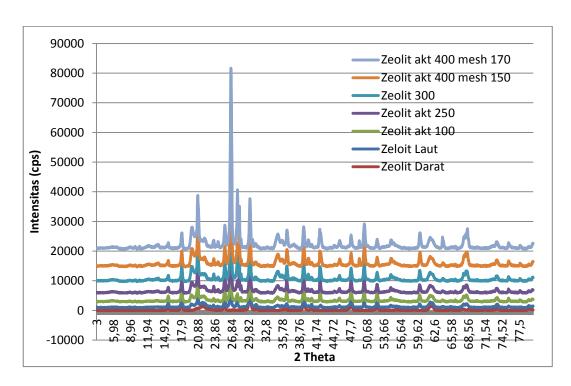
Dari Gambar 20, puncak yang muncul pada 20 26,812° merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz). Puncak pada 20, 19,804°, 27,813°, 27,694°, 28,209°, 29,304°, 35,753°, 37,79°, 64,15°, merupakan puncak dari Muscovite-2M2. Puncak pada 20 20.990°, 36.676°, merupakan puncak untuk Sodium Alumosilicate. Puncak untuk Sodium Persulfide, 22,08°, 28,594°, 34,928°, 39,617°. Dalam RIR, terkandung sebanyak 72 % Quartz, 12 % Muscovite-2M2, 5 % Sodium Alumosilicate, dan 11 % Sodium Persulfida.

e. Difraktogram zeolit ukuran 170 Mesh pada suhu 400°C dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Difragtogram Zeolit Ukuran 170 Mesh dengan Suhu 400° C

Dari Gambar 21, puncak yang muncul pada 2θ 27,620° merupakan puncak untuk kuarsa (Quartz). Puncak pada 2θ, 28,399° merupakan puncak dari Albite. Puncak untuk Potasium tecto-alumotrisilicate pada 2θ, 30,90° dan 44,836°. Puncak dari 2θ unutk Zeolit Na adalah 19,716°. Puncak pada 2θ, 9,78°, 20,891°, 23,523°, 24,419°, 25,63°, 26,686°, merupakan puncak dari Muscovite-2M1. Puncak pada 2θ 22,209°, merupakan puncak untuk Sodalite. Dalam RIR, terkandung sebanyak 45 % Quartz, 26 % Albite, 9 % Potasium tecto-alumotrisilicate, 2,5 % Zeolit Na, 14 % Muscovite-2M1, dan 3,1 % Sodalit. Gabungan difragtogram hasil XRD ditunjukkan pada Gambar 22, dan komposisi zeolit alam Tanah Toraja diberikan dalam Tabel 1.



Gambar 22. Gabungan Difragtogram Hasil XRD

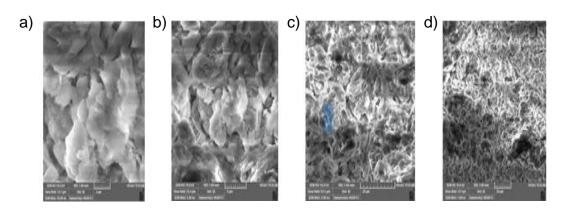
Tabel 1.Komposisi (Senyawa) Zeolit Alam Toraja Utara

Komposisi zeolit	Suhu aktivasi					
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C		
	(%)	(%)	(%)	(%)		
Quartz, syn	90			45		
Potassium Chloride	3,9					
Zeolite P, (Na)						
Quartz low HP, syn		2,98				
Muscovite-2M1		71,1				
Zeolite P, (Na)		25,9				
Quartz low, syn			66,1			
Muscovite-2M1			20	14		

Komposisi zeolit	Suhu aktivasi				
Zeolite F (Na), Pentasodiumtecto- pdentaalumo pentasilicate nonahydrate	13,9				
Albite, ordered		26			
Potassium Tecto- Alumotrisilicate		9			
Zeolite Nu-6(2), Silicon Dioxide		2,5			
Sodalite		3,1			

2. Uji dengan Scanning Electron Microscope (SEM-EDX)

Gambar permukaan pori hasil SEM zeolit alam Toraja Sulawesi Selatan dengan aktivasi pemanasan 100 °C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive a) 100°C b) 200°C c) 300°C d) 400°C. Permukaan pori zeolit terbuka pada 300°C dan 400°C.

B. Hasil Pengujian Air Baku Sungai Jeneberang

Sampel Air diambil dari Sungai Jeneberang. Kandungan timbal (Pb), nikel (Ni), tembaga (Cu) ditentukan dengan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectroscope), dan hasilnya diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Logam dari Sampel Air

Jeneberang River Bili-bili	Kadar Hasil AAS (ppm)			DO	DHL	BOD ₅	COD	рН
Dam	Pb	Ni	Cu	(ppm)	(Ω ⁻¹)	(mg/L)	(mg/L)	μ
Air yang masuk ke bendungan	-0,001	+0,000	+0,000	9,2	114,4	1,76	2,46	5,8
Air dibendungan	-0,000	+0,001	+0,001	10,8	103,9	1,36	2,10	9
Air yang keluar dari bendungan	-0,001	+0,001	+0,001	9,8	128,2	1,76	3,20	5,5

C. Hasil Pengujian Model Pengolahan Air

1. Logam Berat Timbal (Pb)

Hasil olah air baku 1000 ml, ditambah dengan 5 ppm logam berat timbal (Pb). Pengujian air dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectroscope*). Untuk setiap kali *running* atau pengaliran digunakan variasi berat zeolit: 20 gr, 35 gr dan 50 gr, dengan variasi aktivasi suhu masing-masing: 100 °C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C. Waktu kontak juga dihitung sampai mencapai volume 1000 ml.

Waktu kontak air pada zeolit, pada filtrasi logam timbal sebagai fungsi suhu aktivasi dan jumlah zeolit yang digunakan diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3.Waktu kontak air terhadap logam timbal (Pb)

No.	AKTIVASI (⁰C)	Berat Zeolit (gram)	TEBAL (cm)	pH Awal	pH AKHIR	Volume Air (ml)	Waktu kontak (menit)
1.	100	20	1	5	6	1000	38
		35	2	5	6	1000	44
		50	3	5	5	1000	50
2.	200	20	1	5	6	1000	28
		35	2	5	6	1000	32
		50	3	5	5	1000	60
3.	300	20	1	5	6	1000	26
		35	2	5	6	1000	39
		50	3	5	5	1000	45
4.	400	20	1	5	6	1000	44
		35	2	5	6	1000	60
		50	3	5	5	1000	77

Hasil pengolahan air dengan menggunakan AAS

Air hasil olahan diambil sebanyak 100 ml untuk diuji atau diinjeksi ke dalam alat AAS, sebelum diinjeksi terlebih dahulu dibuat larutan standar atau kurva standar sehingga diperoleh hasil uji sebagai berikut :

a. Berat Zeolit : 20 gr

Nilai absorbansi larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi diberikan pada Tabel 4.

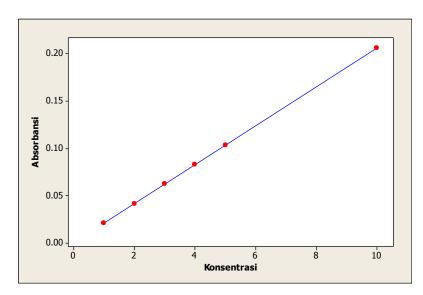
Persamaan Regresi: y = 0.0205x + 0.0007

Tabel 4. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Pb

Konsentrasi	Absorbansi
(x)	(y)
1	0,0212
2	0,0417
3	0,0622
4	0,0827
5	0,1032
10	0,2057

Kurva Standar

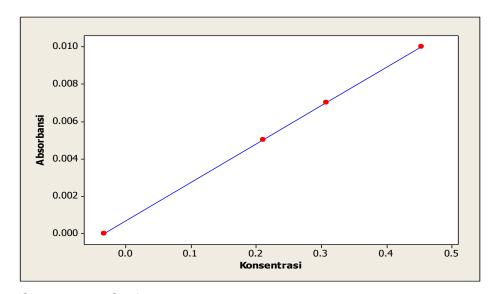
Larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 24



Gambar 24. Kurva Standar Pb

Tabel 5. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	0,2097	0,005	180
200	0,3073	0,007	180
300	0,4536	0,010	180
400	-0,0341	0,000	180



Gambar 25. Grafik hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Tabel 6. Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	Ce (ppm)	Co - Ce	<i>qe</i> (mg/gr)
100	6	0,005	0,2097	5	0,2097	5,2097	0,0239
200	6	0,007	0,3073	5	0,3073	4,6927	0,0234
300	6	0,010	0,4536	5	0,4536	4,5464	0,0227
400	6	0,000	-0,0341	5	-0,0341	5,0341	0,0251

Banyaknya ion logam Pb yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V \tag{6}$$

dimana:

qe = Banyaknya ion logam *Pb* yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Pb sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L)

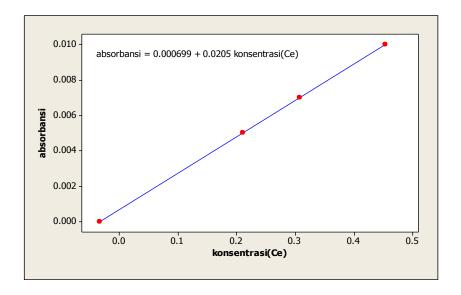
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorben (zeolit) yang digunakan (gram)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1
Proses pertukaran ion logam Timbal (Pb) pada zeolit dapat dilihat pada tabel Lampiran 10.

Persamaan regresi absorbansi = 0,000699 + 0,0205 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100,0%



Gambar 26. Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Adanya korelasi tinggi antara konsentrasi dan absorbansi ini ditunjukkan dengan hasilnya $R^2 = 100\%$ seperti pada Gambar 26.

Analisis Pengujian Model

Tabel 7. Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich

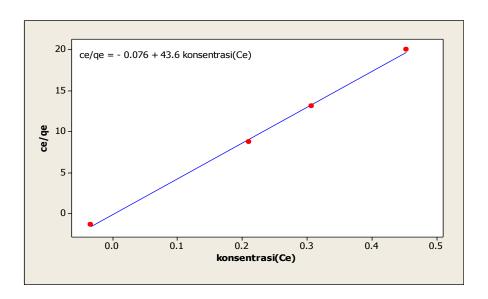
20 gram							
Absorbansi	Konsentrasi (Ce)	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe		
0.005	0.2097	0.0239	-0.6784	-1.6216	8.774059		
0.007	0.3073	0.0234	-0.51244	-1.63078	13.13248		
0.01	0.4536	0.0227	-0.34333	-1.64397	19.98238		
0	-0.0341	0.0251	#NUM!	-1.60033	-1.35857		

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 0,076 + 43,6 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 99,8%

Model keseimbangan (isotermal) adsorpsi dilakukan untuk menetukan efektifitas suatu proses antara ion logam Pb dengan adsorben (zeolit) atau berdasarkan linieritas hubungan antara Ce/qe vs Ce.



Gambar 27. Analisis Uji Model Langmuir

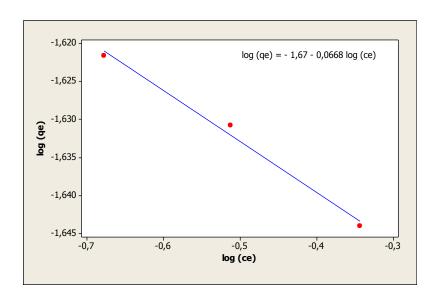
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 100\%$

Model Freundlich

Model isotermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan linieritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 28.

Persamaan regresi :log (qe) = - 1,67 - 0,0668 log (Ce)

Diperoleh hasil uji, R-Sq(adj) = 98,1%



Gambar 28. Analisis Uji Model Freundlich

Adanya korelasi yang tinggi antara log Ce/qe VS log Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 98.1$ %.

b. Berat Zeolit: 35 gr

Nilai absorbansi larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi diberikan pada Tabel 8.

Persamaan Regresi: y = 0.0205x + 0.0007

Tabel 8. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi

Konsentrasi	Absorbansi
(x)	(y)
1	0,0212
2	0,0417
3	0,0622
4	0,0827
5	0,1032
10	0,2057

Kurva Standar

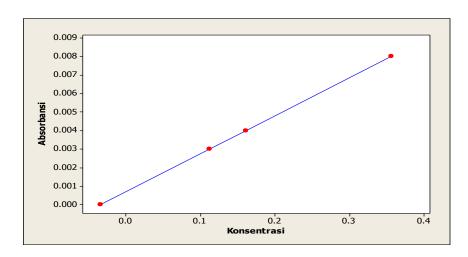
Larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 29

0.20 - 0.15 - 0.05 - 0.00 - 0 2 4 6 8 10 Konsentrasi

Gambar 29.Kurva Standar Pb

Tabel 9. Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	0,3560	0,005	180
200	0,1121	0,007	180
300	-0,0341	0,010	180
400	0,1609	0,000	180



Gambar 30. Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Berat Zeolit: 35 gr

Tabel 10. Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	<i>Ce</i> (ppm)	Co – Ce	<i>qe</i> (mg/gr)
100	6	0,008	0,3560	5	0,3560	4,644	0,0132
200	6	0,003	0,1121	5	0,1121	4,8879	0,0139
300	6	0,000	-0,0341	5	-0,0341	5,0341	0,0143
400	6	0,004	0,1609	5	0,1609	4,8391	0,0138

Banyaknya ion logam Pb yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V$$
 (6)

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Pb yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Pb sebelum dan sesudah

adsorpsi (mg/L)

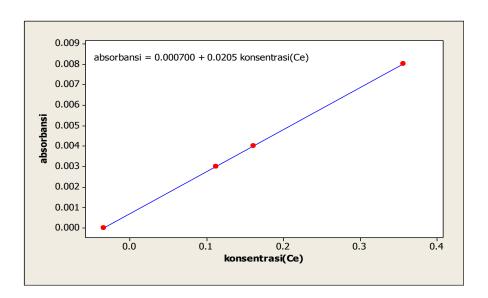
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorben (zeolit) yang digunakan (gram)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 2

Persamaan regresi absorbansi = 0,000700 + 0,0205 konsentrasi(Ce).

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100.0%



Gambar 31. Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan absorbansi ini ditunjukkan dengan hasil uji regresi, $R^2 = 100\%$ seperti pada Gambar 31.

Analisis Pengujian

Tabel 11. Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich

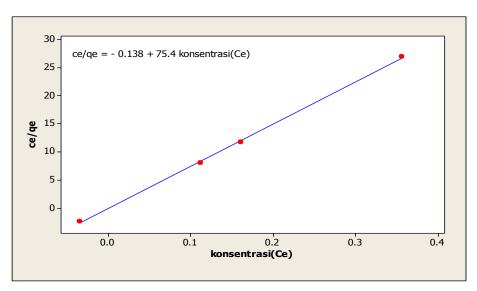
35 gram								
absorbansi	Konsentrasi (Ce)	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe			
0.008	0.356	0.0132	-0.44855	-1.87943	26.9697			
0.003	0.1121	0.0139	-0.95039	-1.85699	8.064748			
0	-0.0341	0.0143	#NUM!	-1.84466	-2.38462			
0.004	0.1609	0.0138	-0.79344	-1.86012	11.65942			

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 0,138 + 75,4 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq (adj) = 99,9%

Model kesetimbangan (isotermal) adsorpsi dilakukan untuk menentukan efektifitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Pb dengan adsorben (zeolit) atau berdasarkan linieritas hubungan antara Ce/qe vs Ce.



Gambar 32. Analisis Uji Model Langmuir

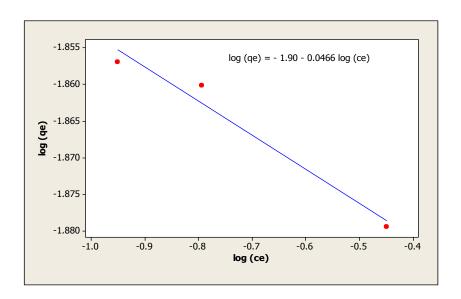
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 99.9\%$

Model Freundlich

Persamaan regresi : $\log (qe) = -1,90 - 0,0466 \log (Ce)$

Diperoleh hasil uji, R-Sq(adj) = 93,5%

Model isotermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan linieritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 33.



Gambar33. Analisis Uji Model Freundlich

Adanya korelasi yang tinggi antara log qe dan log Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 93,5\%$

c. Berat Zeolit: 50 gr

Nilai absorbansi larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi diberikan pada Tabel 12.

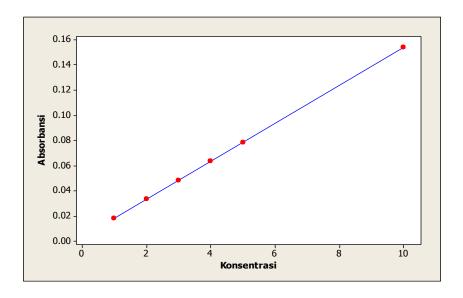
Persamaan Regresi: y = 0.0205 x + 0.0007

Tabel 12. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Pb

Konsentrasi	Absorbansi
(x)	(y)
1	0,0182
2	0,0333
3	0,0484
4	0,0635
5	0,0786
10	0,1541

Kurva Standar

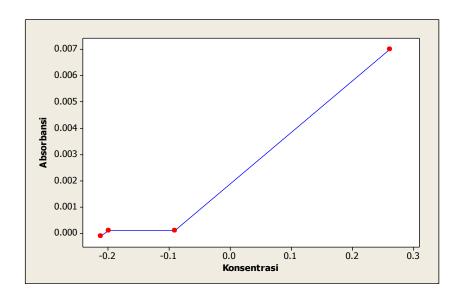
Larutan standar Pb sebagai fungsi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Kurva Standar Pb

Tabel 13. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	-0,1986	0,0001	180
200	-0,2119	-0,0001	180
300	-0,2119	-0,0001	180
400	0,2582	0,0071	180



Gambar 35. Grafik hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Analisis Data

Zeolit: 50 gr

Tabel 14. Analisis uji air dengan alat AAS terhadap Logam Pb

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	Ce (ppm)	Co - Ce	qe (mg/gr)
100	5	0,0001	-0,1986	5	-0,1986	5,1986	0,0103
200	5	-0,0001	-0,2119	5	-0,2119	5,2119	0,0104
300	5	-0,0001	-0,2119	5	-0,2119	5,2119	0,0104
400	5	0,0071	0,2582	5	0,2582	4,7418	0,0094

Banyaknya ion logam Pb yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam *Pb* yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Pb sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L)

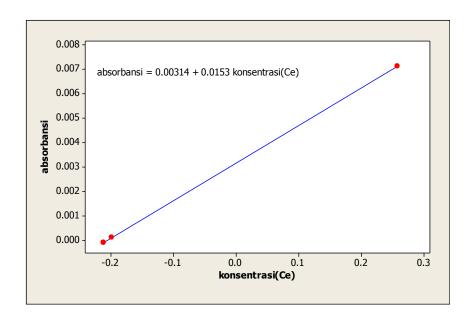
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 3

Persamaan regresi absorbansi = 0,00314+ 0,0153 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100%



Gambar 36. Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Pengujian

Tabel 15. Analisis pengujian model Langmuir dan Freundlich

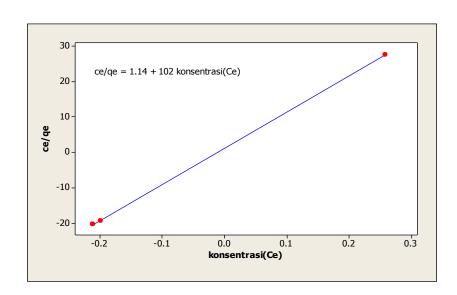
	50 gram								
absorbansi	konsentrasi(Ce)	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe				
0.0001	-0.1986	0.0103	#NUM!	-1.98716	-19.2816				
-0.0001	-0.2119	0.0104	#NUM!	-1.98297	-20.375				
-0.0001	-0.2119	0.0104	#NUM!	-1.98297	-20.375				
0.0071	0.2582	0.0094	-0.58804	-2.02687	27.46809				

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = 1,14 + 102 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 100.0%

Model keseimbangan (isotermal) absorbansi dilakukan untuk menetukan efektivitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Pb dan adsorben (zeolit) atau berdasarkan lineritas hubungan Ce/qe vs Ce.



Gambar 37. Analisis Uji Model Langmuir

Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 100\%$

2. Logam Berat Tembaga (Cu)

Konsentrasi dan absorbansi logam berat Tembaga (Cu), hasil pengujian air dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption spectroscope*) di bawah. Persamaan regresi absorbansi Cupper (Cu) pada 100 °C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C.

Tabel 16. Pengolahan Air Terhadap Logam Tembaga (Cu)

No.	Aktivasi (°C)	Berat zeolit (gram)	Tebal (cm)	Ph awal	Ph akhir	Volume air (ml)	Waktu kontak (menit)
		20	1	5	6	1000	34
1.	100	35	2	5	6	1000	40
		50	3	6	6,5	1000	49
		20	1	5	6,5	1000	51
2.	200	35	2	5	6,5	1000	56
		50	3	5	6,5	1000	63
		20	1	6	6	1000	36
3.	300	35	2	6	6	1000	40
		50	3	5	6,5	1000	46
		20	1	5	6,5	1000	44
4.	400	35	2	5	6,5	1000	51
		50	3	5	6,5	1000	58

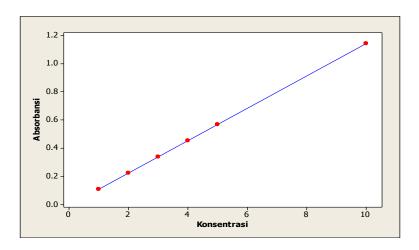
a. Berat Zeolit: 20 gr

Persamaan Regresi: y = 0.115x + 0.007

Tabel 17. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,122
2	0,237
3	0,352
4	0,467
5	0,582
10	1,157

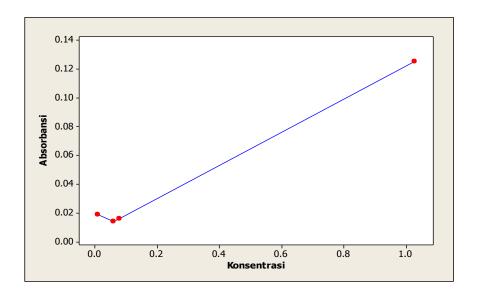
Kurva Standar



Gambar 38.Kurva Standar Cu

Tabel 18. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	0,0782	0,016	180
200	0,0104	0,019	180
300	1,0260	0,125	180
400	0,0608	0,014	180



Gambar 39.Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Berat Zeolit: 20 gram

Tabel 19. Analisis Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Cu

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	<i>Ce</i> (ppm)	Co - Ce	<i>qe</i> (mg/gr)
100	6	0,016	0,0782	5	0,0782	4,9218	0,0246
200	6,5	0,019	0,0104	5	0,0104	4,9896	0,0249
300	6	0,125	1,0260	5	1,02069	3,9794	0,0198
400	6,5	0,014	0,0608	5	0,0608	4,9392	0,0246

Banyaknya ion logam Cu yang teradsorbsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V \tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Cu yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Cu sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L)

V = Volume larutan (L)

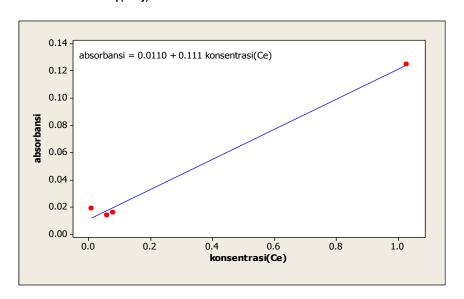
W = Berat adsorben (zeolit) yang digunakan (gram)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

Proses pertukaran ion logam Cu pada zeolit dilihat pada Lampiran 11.

Persamaan regresi absorbansi = 0.0110 + 0.111 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 98.7%



Gambar 40.Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan absorbansi ini ditunjukkan dengan $R^2 = 98.7\%$

Analisis Pengujian

Tabel 20. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

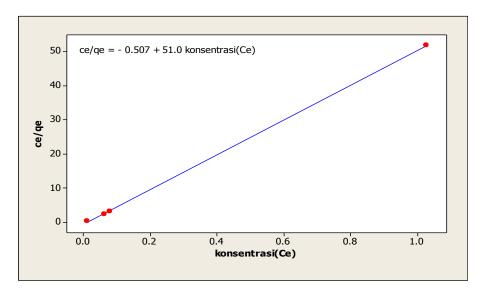
20 gram						
absorbansi	konsentrasi(Ce)	qe	Ce/qe	log (Ce)	log (qe)	
0.016	0.0782	0.0246	3.178862	-1.10679	-1.60906	
0.019	0.0104	0.0249	0.417671	-1.98297	-1.6038	
0.125	1.026	0.0198	51.81818	0.011147	-1.70333	
0.014	0.0608	0.0246	2.471545	-1.2161	-1.60906	

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 0,507 + 51,0 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 100.0%

Model kesetimbangan (isothermal) adsorpsi dilakukan untuk menentukan efektivitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Cu dan adsorben (zeolit) atau berdasarkan lineritas hubungan antara Ce/qe vs Ce.



Gambar 41. Analisis Uji Model Langmuir

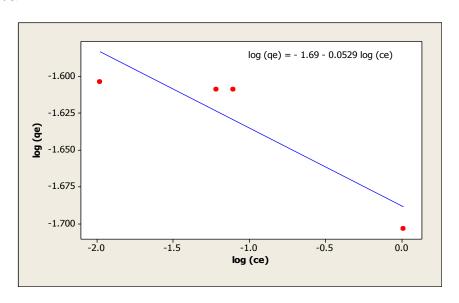
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, karena hasil R² =100%

Model Freundlich

Persamaan regresi log (qe) = -1.69 - 0.0529 log (Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 72,4%

Model isothermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan linieritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 42.



Gambar 42. Analisis uji model Freundlich

Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe VS Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 72.4\%$

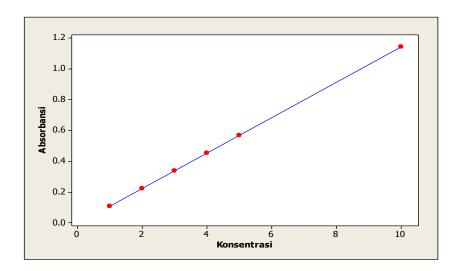
b. Berat Zeolit: 35 gram

Persamaan Regresi: y = 0.115x + 0.007

Tabel 21. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

Konsentrasi	Absorbansi
(x)	(y)
1	0,122
2	0,237
3	0,352
4	0,467
5	0,582
10	1,157

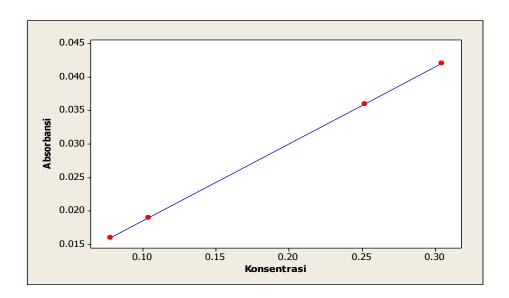
Kurva Standar



Gambar 43.Kurva Standar Cu

Tabel 22. Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Aktivasi (°C)			Waktu (<i>dt</i>)
100	0,3043	0,042	180
200	0,2521	0,036	180
300	0,0782	0,016	180
400	0,1043	0,019	180



Gambar 44. Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Berat Zeolit: 35 gram

Tabel 23. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	<i>Co</i> (ppm)	<i>Ce</i> (ppm)	Co - Ce	qe (mg/gr)
100	6	0,042	0,3043	5	0,3043	4,6957	0,0134
200	6,5	0,036	0,2521	5	0,2521	4,7479	0,0135
300	6	0,016	0,0782	5	0,0782	4,9218	0,0140
400	6,5	0,019	0,1043	5	0,1043	4,8957	0,0139

Banyaknya ion logam Cu yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Cu yang teradsorbsi (mg/gr)

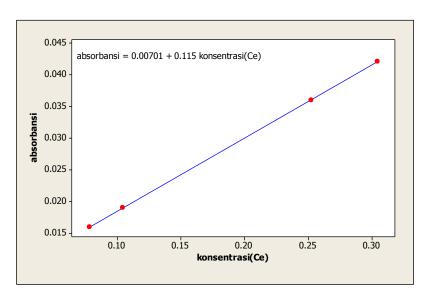
Co dan Ce = konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L)

V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

Persamaan regresi absorbansi = 0,00701 + 0,115 konsentrasi (Ce) Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100.0%



Gambar 45. Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan absorbansi. Ini ditunjukkan dengan $R^2 = 100.0\%$

Analisis Pengujian

Tabel 24. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

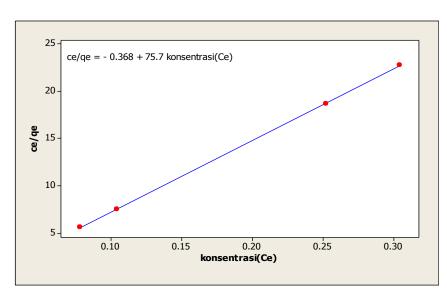
35 gram							
absorbansi	konsentrasi(Ce)	qe	Ce/qe	log (Ce)	log (qe)		
0.042	0.3043	0.0134	22.70896	-0.5167	-1.8729		
0.036	0.2521	0.0135	18.67407	-0.59843	-1.86967		
0.016	0.0782	0.014	5.585714	-1.10679	-1.85387		
0.019	0.1043	0.0139	7.503597	-0.98172	-1.85699		

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 0,368 + 75,7 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 100.0%

Model kesetimbangan (isothermal) adsorpsi dilakukan untuk menetukan efektifitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Cu dengan adsorben (zeolit) atau berdasarkan linieritas hubungan antara Ce/qe vs Ce.



Gambar 46. Analisis Uji Model Langmuir

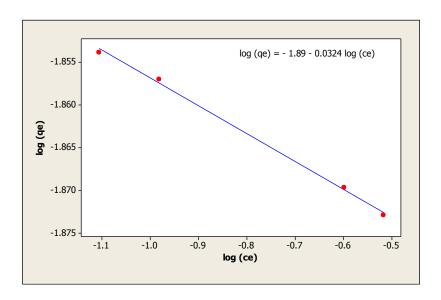
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, karena hasil R² =100%

Model Freundlich

Persamaan regresi : $\log (qe) = -1,89 - 0,0324 \log (Ce)$

Diperoleh hasil uji, R-Sq(adj) = 99,6%

Model isothermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan linieritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 47.



Gambar 47. Analisis Uji Model Freundlich

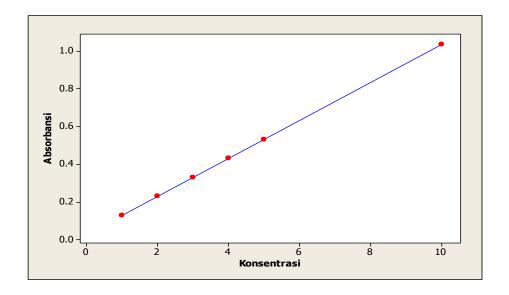
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe dan log Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 99,6\%$

c. Berat Zeolit: 50 gr

Persamaan regresi absorbansi Tembaga (Cu) pada suhu 100° C Persamaan Regresi: y=0.10075x+0.0285

Tabel 25. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,1293
2	0,2300
3	0,3308
4	0,4315
5	0,5323
10	1,0360



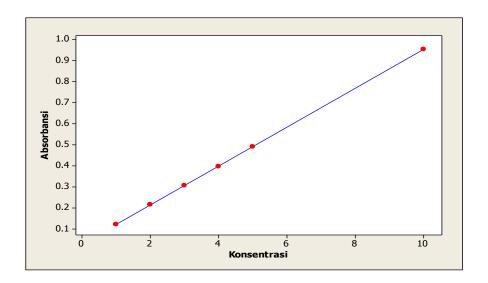
Gambar 48.Kurva Standar Cu

Persamaan regresi Absorbansi Tembaga (Cu) pada suhu 200 °C.

Persamaan Regresi: y = 0.0927x + 0.0277

Tabel 26. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,1204
2	0,2131
3	0,3058
4	0,3985
5	0,4912
10	0,9547



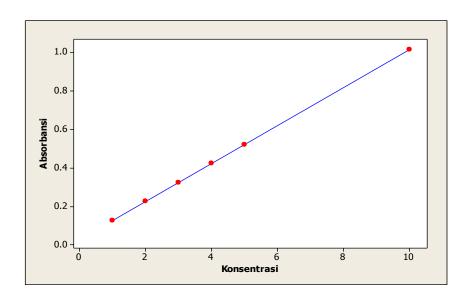
Gambar49.Kurva Standar Cu

Persamaan regresi Absorbansi Tembaga (Cu) pada suhu 300 °C.

Persamaan Regresi :y = 0.09875x + 0.0281

Tabel 27. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)		
1	0,1269		
2	0,2256		
3	0,3244		
4	0,4231		
5	0,5219		
10	1,0156		



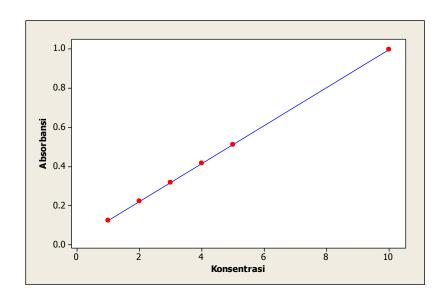
Gambar 50.Kurva Standar Cu

Persamaan regresi Absorbansi Tembaga (Cu) pada suhu 400° C.

Persamaan Regresi: y = 0.0969x + 0.027

Tabel 28. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Cu

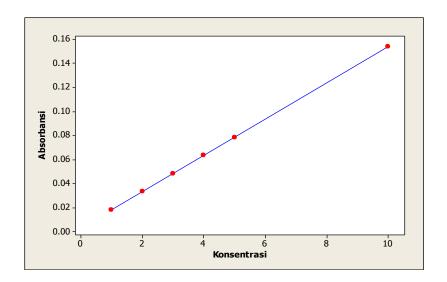
Konsentrasi	Absorbansi
(x)	(y)
1	0,1239
2	0,2208
3	0,3177
4	0,4146
5	0,5115
10	0,9960



Gambar 51.Kurva Standar Cu

Tabel 29. Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	-0,2540	0,0029	180
200	-0,2901	0,0008	180
300	0,4316	0,0707	180
400	1,4487	0,1674	180



Gambar 52.Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

a. Berat zeolit : 50 gram

Tabel 30. Analisis hasil uji air dengan AAS terhadap logam Cu

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	<i>Ce</i> (ppm)	Co - Ce	qe (mg/gr)
100	6,5	0,0029	-0,2540	5	-0,2540	5,2540	0,0105
200	6,5	0,0008	-0,2901	5	-0,2901	5,2901	0,0105
300	6,5	0,0707	0,4316	5	0,4316	4,5684	0,0091
400	6,5	0,1674	1,4487	5	1,4489	3,5511	0,0071

Banyaknya ion logam Cu yang teradsorbsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Cu yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi

(mg/L)

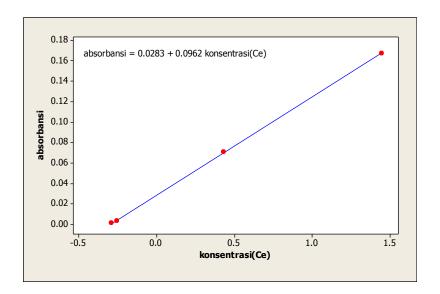
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 6

Persamaan regresi absorbansi = 0,0283 + 0,0962 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100.0%



Gambar 53. Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Pengujian

Tabel 31. Analisis Pengujian Model Langmuir

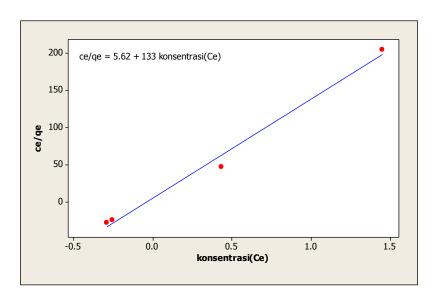
50 gram							
absorbansi	konsentrasi(Ce)	qe	Ce/qe	log (Ce)	log (qe)		
0.0029	-0.254	0.0105 -24.1905		#NUM!	-1.97881		
0.0008	-0.2901	0.0105 -27.6286		#NUM!	-1.97881		
0.0707	0.4316	0.0091 47.42857		-0.36492	-2.04096		
0.1674	1.4489	0.0071	204.0704	0.161038	-2.14874		

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = 5,62 + 133 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 98,6%

Model kesetimbangan (isothermal) adsorpsi dilakukan untuk menentukan efektivitas suatu proses adsorpsi antara ion loga Cu dan adsorben zeolit atau berdasarkan linieritas hubungan antara Ce/qe vs Ce



Gambar 54. Analisis uji model Langmuir

Adanya korelasi yang tinggi antar Ce/qe vs Ce ini ditunjukkan dengan $R^2 = 98.6 \%$

3. Hasil Nikel (Ni)

Konsentrasi dan absorbansi logam berat Nikel (Ni), hasil pengujian air dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption spectroscope*) di bawah. Persamaan regresi absorbansi Nikel (Ni) pada 100 °C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C.

Tabel 32. Hasil Pengolahan Air Terhadap Logam Nikel (Ni)

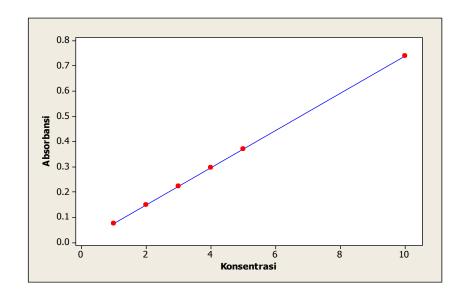
No.	AKTIVASI (°C)	BERAT ZEOLIT (gram)	TEBAL (cm)	PH AWAL	PH AKHIR	Volume Air (ml)	Waktu kontak (menit)
1.	100	20	1	5	5,8	1000	25
		35	2	5	5,8	1000	45
		50	3	5	6	1000	55
2.	200	20	1	5	5,8	1000	38
		35	2	5	5,8	1000	45
		50	3	5	6	1000	66
3.	300	20	1	5	5,8	1000	37
		35	2	5	5,8	1000	41
		50	3	5	6	1000	47
4.	400	20	1	5	5,8	1000	40
		35	2	5	5,8	1000	52
		50	3	5	6	1000	62

a. Berat Zeolit : 20 gr

Persamaan Regresi: y = 0.0741x + 0.0005

Tabel 33. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni

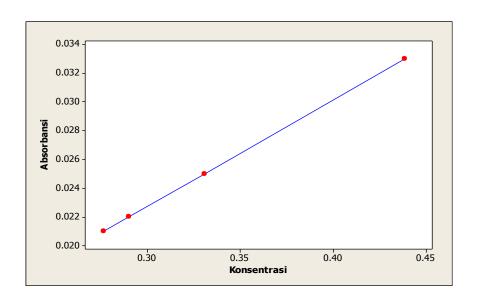
Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,0746
2	0,1487
3	0,2228
4	0,2969
5	0,371
10	0,7415



Gambar 55.Kurva Standar Ni

Tabel 34. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (<i>dt</i>)
100	0,4385	0,033	180
200	0,2766	0,021	180
300	0,3306	0,025	180
400	0,2901	0,022	180



Gambar 56. Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Berat Zeolit: 20 gr

Tabel 35. Analisis Hasil Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Ni

Aktivasi	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Со	Се	Co - Ce	qe
(°C)				(ppm)	(ppm)		(mg/gr)
100	5,8	0,033	0,4385	5	0,4385	4,5615	0,022
200	5,8	0,021	0,2766	5	0,2766	4,7234	0,0236
300	5,8	0,025	0,3306	5	0,3306	4,6694	0,0233
400	5,8	0,022	0,2901	5	0,2901	4,7099	0,0235

Banyaknya ion logam Ni yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Ni yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Ni sebelum dan sesudah adsorpsi (mg/L)

V = Volume larutan (L)

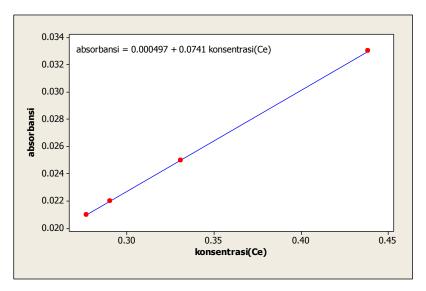
W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 7

Proses pertukaran ion logam Nikel (Ni) pada zeolit dilihat Lampiran 12

Persamaan regresi absorbansi = 0,000497 + 0,0741 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100.0%



Gambar 57. Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan adsorbansi, ini ditunjukkan dengan hasil $R^2 = 100\%$, seperti pada Gambar 57

Analisis Pengujian

Tabel 36. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

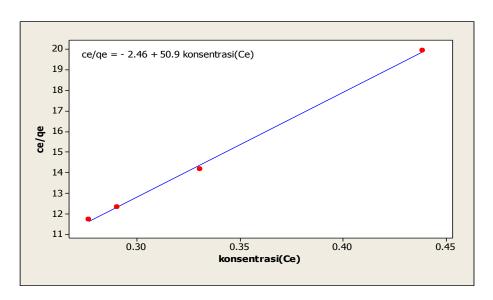
20 gram							
absorbansi	konsentrasi(Ce)	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe		
0.033	0.4385	0.022	-0.35803	-1.65758	19.93182		
0.021	0.2766	0.0236	-0.55815	-1.62709	11.72034		
0.025	0.3306	0.0233	-0.4807	-1.63264	14.18884		
0.022	0.2901	0.0235	-0.53745	-1.62893	12.34468		

Isoterm Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 2,46 + 50,9 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 99,8%

Model kesetimbangan (isothermal) adsorpsi dilakukan untuk menetukan efektifitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Ni dengan adsorben (zeolit) atau berdasarkan linieritas hubungan antara Ce/qe vs Ce.



Gambar 58. Analisis Uji Model Langmuir

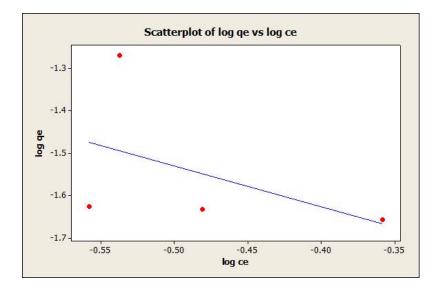
Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan adsorbansi, ini ditunjukkan dengan hasil $R^2 = 99.8$ %.

Model Freundlich

Model isothermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan linieritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 59.

Persamaan regresi $\log qe = -2,01 - 0,95 \log Ce$





Gambar 59. Analisis Uji Model Freundlich

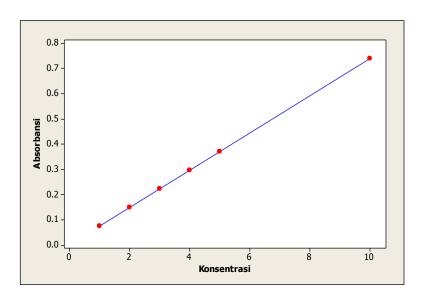
Adanya korelasi antara konsentrasi dan adsorbansi, ini ditunjukkan dengan hasil $R^2 = 21,4\%$.

b. Berat Zeolit: 35 gr

Persamaan Regresi: y = 0.0741x + 0.0005

Tabel 37. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni

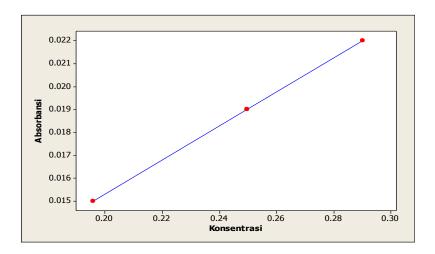
Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,0746
2	0,1487
3	0,2228
4	0,2969
5	0,371
10	0,7415



Gambar 60.Kurva Standar Ni

Tabel 38. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (dt)
100	0,2496	0,019	180
200	0,1956	0,015	180
300	0,2901	0,022	180
400	0,2496	0,019	180



Gambar 61. Grafik Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Analisis Data

Berat Zeolit: 35 gr

Tabel 39. Analisis Uji Air dengan Alat AAS terhadap Logam Ni

Aktivasi (°C)	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Co (ppm)	<i>Ce</i> (ppm)	Co - Ce	<i>qe</i> (mg/gr)
100	5,8	0,019	0,2496	5	0,2496	4,7504	0,0135
200	5,8	0,015	0,1956	5	0,1956	4,8044	0,0137
300	5,8	0,022	0,2901	5	0,2901	4,7099	0,0134
400	5,8	0,019	0,2496	5	0,2496	4,7504	0,0135

Banyaknya ion logam Ni yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Ni yang teradsorbsi (mg/gr)

 $Co \operatorname{dan} Ce = \operatorname{Konsentrasi} \operatorname{ion} \operatorname{logam} Ni \operatorname{sebelum} \operatorname{dan} \operatorname{sesudah}$

adsorpsi (mg/L)

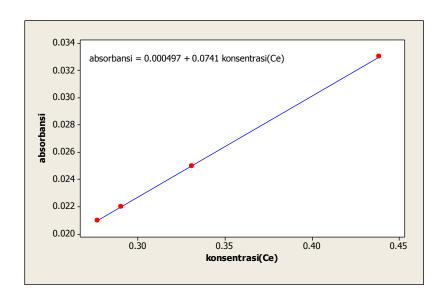
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 8

Persamaan regresi absorbansi = 0,000497 + 0,0741 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100.0%



Gambar 62.Grafik uji regresi hubungan antara konsentrasi dan absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara konsentrasi dan absorbansi, ini menunjukkan dengan hasil $R^2 = 100$ % seperti pada Gambar 62.

Berat Zeolit: 35 gram

Tabel 40. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

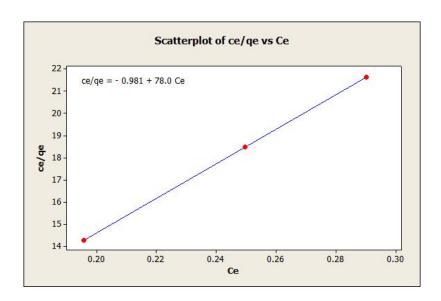
35 gram						
absorbansi	Konsentrasi (Ce)	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe	
0.019	0.2496	0.0135	-0.60276	-1.86967	18.48889	
0.015	0.1956	0.0137	-0.70863	-1.86328	14.27737	
0.022	0.2901	0.0134	-0.53745	-1.8729	21.64925	
0.019	0.2496	0.0135	-0.60276	-1.86967	18.48889	

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 0,981 + 78,0 Ce

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 100 %

Model kesetimbangan (ishotermal) adsorpsi dilakukan untuk menetukan efektivitas suatu proses adsorpsi antara ion logam Ni dan adsorben (zeloit) atau berdasarkan lineritas hubungan Ce/qe vs Ce.



Gambar 63. Analisis Uji Model Langmuir

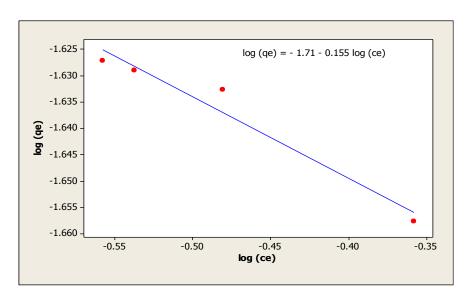
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan R² = 100 %.

Model Freundlich

Persamaan regresi log qe = - 1,86 + 0,0108 log Ce

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 68 %

Model isothermal atau keseimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan lineritas hubungan log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 64



Gambar 64. Analisis Uji Model Freundlich

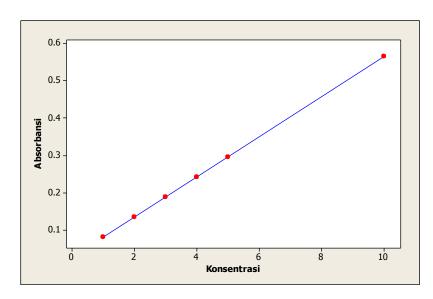
Adanya korelasi yang tinggi antara log qe vs log Ce, ini ditunjukkan dengan, $R^2 = 68 \%$

c. Berat Zeolit :50 gr

Persamaan Regresi: y = 0.0538x + 0.027200

Tabel 41. Absorbansi larutan sebagai fungsi konsentrasi Ni

Konsentrasi (x)	Absorbansi (y)
1	0,0746
2	0,1487
3	0,2228
4	0,2969
5	0,371
10	0,7415



Gambar 65.Kurva Standar Ni

Tabel 42. Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Aktivasi (°C)	Konsentrasi aktual	Absorbansi	Waktu (<i>dt</i>)
100	0,0687	0,0305	180
200	-0,1115	0,0212	180
300	0,3977	0,0486	180
400	1,2472	0,0943	180

Analisis Data

Tabel 43. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

Aktivasi	рН	Absorbansi	Konsentrasi	Со	<i>Ce</i> (ppm)	Co - Ce	qe
(°C)				(ppm)			(mg/gr)
100	6	0,0305	0,0687	5	0,0687	4,9313	0,0098
200	6	0,0212	-0,1115	5	-0,1115	5,1115	0,0102
300	6	0,0486	0,3977	5	0,3977	4,6023	0,0092
400	6	0,0943	1,2472	5	1,2472	3,7528	0,0075

Banyaknya ion logam Ni yang teradsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$qe = \frac{(Co - Ce)}{W}.V\tag{6}$$

Dimana:

qe = Banyaknya ion logam Ni yang teradsorbsi (mg/gr)

Co dan Ce = Konsentrasi ion logam Ni sebelum dan sesudah

adsorpsi (mg/L)

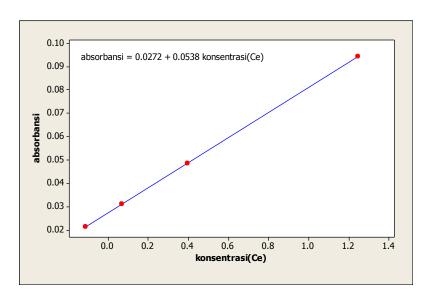
V = Volume larutan (L)

W = Berat adsorpsi yang digunakan (gr)

Nilai Ce dan qe lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 9.

Persamaan regresi absorbansi = 0,0272 + 0,0538 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil R-Sq(adj) = 100 %



Gambar 66. Grafik Uji Regresi Hubungan antara Konsentrasi dan Absorbansi

Adanya korelasi yang tinggi antara log qe vs log Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 100\%$

Analisis Pengujian

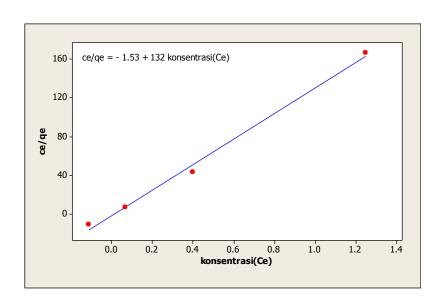
Tabel 44. Analisis Pengujian Model Langmuir dan Freundlich

50 gram							
absorbansi	Konsentrasi	qe	log (Ce)	log (qe)	Ce/qe		
	(Ce)						
0.0309	0.0687	0.0098	-1.16304	-2.00877	7.010204		
0.0212	-0.1115	0.0102	#NUM!	-1.9914	-10.9314		
0.0486	0.3977	0.0092	-0.40044	-2.03621	43.22826		
0.0943	1.2472	0.0075	0.095936	-2.12494	166.2933		

Model Langmuir

Persamaan regresi Ce/qe = - 1,53 + 132 konsentrasi(Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 99,2%



Gambar 67. Analisis Uji Model Langmuir

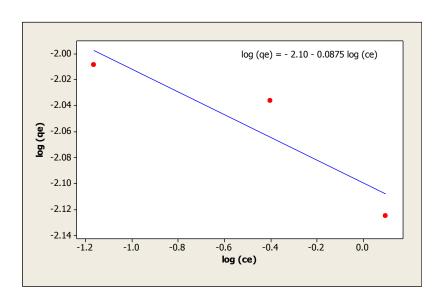
Adanya korelasi yang tinggi antara Ce/qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 99.2$ %.

Model Freundlich

Persamaan regresi log (qe) = -2,10 - 0,0875 log (Ce)

Diperoleh hasil uji R-Sq(adj) = 67,2%

Model isothermal atau kesetimbangan Freundlich, juga diamati berdasarkan lineritas hubungan antara log qe vs log Ce yang diperlihatkan pada Gambar 68.



Gambar 68. Analisis Uji Model Freundlich

Adanya korelasi yang cukup tinggi antara log qe vs Ce, ini ditunjukkan dengan $R^2 = 67.2\%$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1. Dalam penelitian ini, ditemukan hasil uji X-Ray Difraction, karakteristik zeolit alam Toraja Sulawesi Selatan, yang berasal dari gunung berapi laut tanpa aktivasi, mempunyai kandungan senyawa SiO₂ (91,7%). Ini menunjukkan prosentase tinggi, zeolit jenis ini, mempunyai intensitas penjerapan logam sangat efektif. Sedang hasil uji SEM terlihat bahwa pada pemanasan 300 °C dan 400 °C permukaan pori zeolit terbuka.
- Nilai Absorbansi untuk hasil uji dengan alat AAS (Atomic Absorption Spectroscope) masing-masing logam Pb, Cu, dan Ni, diperoleh nilai yang efektif pada berat Zeolit 50 gram :
 - a. Nilai Absorbansi dan konsentrasi yang aktual untuk logam Pb
 adalah -0,2119
 - b. Nilai Absorbansi dan konsentrasi yang aktual untuk logam Cu
 adalah -0,2902
 - c. Nilai Absorbansi dan konsentrasi yang aktual untuk logam Ni adalah -0,1112
- 3. Besarnya pengaruh yang diberikan konsentrasi (x) terhadap absorbansi (y) berbanding linier, ditunjukkan adanya korelasi yang tinggi dengan $R^2 = 98.7$ %. Analisis dengan model Langmuir

menunjukkan adanya korelasi tinggi ($R^2 = 99,47$ %), sedang model Freundlich ($R^2 = 88,26$ %) mengikuti model isotermal Langmuir. Dalam penelitian ini, juga diperoleh kebaharuan bahwa suhu (aktivasi) zeolit sebagai adsorban (bahan filtrasi) secara signifikan tidak berpengaruh.

B. Saran

Penulis menyarankan untuk penelitian lanjutan :

- 1. Menggunakan variasi konsentrasi; 10 ppm, 15 ppm dan seterusnya.
- 2. Pemantauan parameter biologis Sungai Jeneberang untuk kelanjutan jangka panjang.
- Menentukan debit (Q) maksimum, kejenuhan dari zeolit sebagai bahan filtrasi dalam mereduksi logam berat (Pb, Cu, dan Ni) untuk berat zeolit 20 gr, 35 gr, dan 50 gr.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, D.K.et. al. 2007. Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam dengan Karakteristik Adsorption Properties untuk Kemurnian Bioetanol. Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Auerbach, M., S, dkk. 2003. *Handbook of Zeolit Science and Technology*. Marcel Dekker, Inc., U.S.A.
- Bambang, P., dkk. 1998. Pemanfaaton Zeolit Alam Indonesia Sehagai Adsorben Limbah Cair dan Media Filtrasi dalam Kolom Fluidisasi. *Jurnal MIPA.* Malang, Universitas Brawijaya.
- Barrer. R., M. 1982. *Hydrotermal Chemistry of Zeolite.* Academic Press, London.
- Barrer, R.M. 1987. Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves. Academic Press, London.
- Bell, R. G. 2001. What are zeolites, [online]: www.bza.org/zeolites.html, diakses tanggal 2 Juli 2014.
- Direktorat Geologi, Dirjen Pertambangan Departemen Pertambangan, Proyek Pemetaan Penyelidikan Mineral di Daerah Sulawesi.
- Faust.S, D. 1998. *Chemistry of Water Treatment, 2nd edition by CRC Press LLC.* Boca Raton, Washington, D.C.
- Gustian dan Suharto, 2005. Studi Penurunan Salinitas Air dengan menggunakan zeolit alam yang berasal dari Bengkulu, *Jurnal Gradien*, Vol 1 no.1, Januari 38-42.

- Handako. SO. 2001. *Preparasi Katalis Cr / Zeolet Melalui Modifikasi Zeolit Alam* (Tesis). Universitas Jember, Jember.
- Hamzah. Y. dkk. 2010. Publikasi Ilmiah Rencana Penelitian, Program Doktor Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Volume 1.
- Imaniar, Deviani. 2012. Air Bersih Untuk Masa Depan. [online] : http://www.indii.co.id/upload_file/201403271917250.Air%20Bersih %20untuk%20Masa%20Depan.pdf/, diakses tanggal 1 Agustus 2014.
- Joko, T. 2010. *Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Graha ilmu, Yogyakarta.
- Khairinal, Trisunaryanti, W. 2000. *Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari dengan Perlakuan asam dan Proses Hidrotermal*. Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII. Yogyakarta.
- Kodoatie.R., J. dan Roestam Syarief. 2010. *Tata Ruang Air.* Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Laporan Pre-Feasibility Study, 2001. Pembangunan Pabrik Zeolit Kabupaten Toraja Utara dan Luwu. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Sulawesi Selatan.
- Mangallo, B. 2013. Efektivitas Kitosan-Sistein Sebagai Adsorben Ion Hg

 (II) dan Cr (VI) Disertasi Kimia. Program Pascasarjana Universitas

 Hasanuddin Makassar.
- Mifbakhuddin. 2010. Pengaruh Ketebalan Karbon Aktif Sebagai Mediafilter
 Terhadap Penurunan Kesadahanair Sumur Artetis. Universitas
 Muhammadiyah Semarang. diakses pada
 (http://www.scribd.com/doc/101808830/15-49-1-PB#scribd)

- Nusa, I., S dan Satmoko .Y. 2008. Masalah dan Strategi Penyediaan Air Bersih di Indonesia http://www.kelair.bppt.go.id /publikasi /buku air minum.html.
- Najib, I,1994. Pengaruh Pengaktifan Zeolit Lampung Dengan Asam Sulfat sebagai Adsorban Ion Amomum (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- P3TM, 1994. Cara Uji Pengukuran luas Permukaan spesifik Mineral Zeloit.

 Pusat penelitian dan pengembangan teknologi Mineral, Bandung.
- Partnership, 2011. Teori Air di Indonesia, Mengkaji Potensi Peran Air, Belajar Tentang Air dari Swedia Media Informasi Kerjasama Pemerintah dan Swasta.
- Poerwadio, A., D, dan Masduki, A. 2004. Penurunan Kadar Besi Oleh Media Zeolit Alam Ponorogo Secara Kontinyu. *Jurnal Purifikasi* Volume 5, No.4 http://www.its.ac.id/personal/files/pub/1091-alimasduki-zeolit-ponorogo.pdf.
- Rahman, A dan Hartono, B, 2004. Penyaringan Air Dengan Zeolit Alami
 Untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan. *Jurnal Makara, Kesehatan*Volume
 8
 No.1(http://www.jurnal.ui.ac.id/upload/arikel/01-penaringan-air-ARahman.pdf).
- Rosdiana, T. 2006. *Pencirian dan Uji Aktivitas Katalik Zeolit Alam Teraktivitas*i. IPB, Bogor.
- Ruf'an .M. 2005. Zeolit Kristal Ajaib dari Gunung Berbagai Majalah ACID Edisi ke III /tahun V / Mei 2005. Bandar Lampung.
- Ruslam, 2005. Distribusi Kuantitatif Logam Essensial Dalam Sedimen Di Sekitar Perairan Laut Dangkal Kabupaten Berau Kalimantan

- Timur, Tesis Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
- Sawyer, dkk. 2003. Chemistry for Environment Engineering and Science, Fifth Edition. Mc Graw Hill., Singapore
- Selintung dan Syahrir, 2012. Studi Pengelolaan Air Melalui Filter Pasir Kuarsa (Studi Kasus Sungai Tiroang). Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.
- Sennang, S. 1995. Permasalahan dan Tantangan Kepersediaan Air di Kota Madya Ujung Pandang Tahun 2020. HATHI cabang ujung pandang.
- Sinle. E., P, 2007. Zeloit Sebagai Mineral Serba Guna. http://www.chem-is-try.org/ artikel kimia/ kimia material / zeolet serba guna-Keputusan Materi Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/ MENKES/SK/VII/2002 Tentang Syarat-Syarat Pengamanan Kualitas Air Minum.
- Soemirat.J., S. 1994. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Srihapsari, D. 2006. Penggunaan Zeolit Alam yang yelah diaktivasi dengan Larutan HCl untuk Menyerap Logam-logam Penyebab Kesadahan Air (Tesis). Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Sujarwadi, 1997. Sekilas Tentang Zeolet. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral Bandung.
- Supriyo. 2003. Perbedaan Effektifitas Antara Zeolit Alam Dan Zeolit Sintetis Sebagai Media Absorbent Untuk Menurunkan Kesadahan (Caco3)Mata Air Di Kecamatan Pamotan Kabupaten Rembang.Universitas Diponegoro http://eprints.undip.ac.id/17934/

- Susetyaningsih. R.dkk, 2009. Karakterisasizeolite alam pada reduksi kadar chorm dalam limbah cair. Jurnal seminar nasional V SDM nuklir Yogyakarta 5 November 2009 ISSN 1978= 0176 (http://ebookkuliah.com/karakterisasi-zeolit-alam-pada-reduksi-kadar-chrom-dalam-limbah-cair).
- Tina, R, 2006. Pencirian dan Uji Aktivitas Katalik Zeloit Alam Teraktivitasi. IPB, Bogor.
- Tim Advanced Material. 2010. Zeolit: Struktur dan Fungsi, [online]: www.material-sciences.com, diakses tanggal 1 Agustus 2014.
- Tri Sunaryanti, dkk. 2005. Preparasi Modifikasi dan Karakterisasi Katalis NI-MO/ zeolit alam dan MO-NI/ Zeolit Alam. Jurnal TEHNOIN, vol.10,No.4,Desember2005,269-282.

 (http://jurnal.uii.ac.id/indexphp/jurnal.teknom/articleviewFile/105/65).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 20 gr

a) Untuk 100 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0,005 - 0,0007)}{0,0205} = 0,2097 \text{ mg/l}$$

$$qe = \frac{(5 - 0,2097)}{20} \times 0,1 = 0,0239 \text{ mg/g}$$

b) Untuk 200 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0,007 - 0,0007)}{0,0205} = 0,3073 \text{ mg/l}$$

$$qe = \frac{(5 - 0,3073)}{20} \times 0,1 = 0,0234 \text{ mg/g}$$

c) Untuk 300 0 C, Persamaan Regresi : y =0,0205x + 0,0007

$$Ce = \frac{(0.010 - 0.0007)}{0.0205} = 0.4536 \text{ mg/l}$$

$$qe = \frac{(5 - 0.4536)}{20} \times 0.1 = 0.0227 \text{ mg/g}$$

d) Untuk 400 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0,000 - 0,0007)}{0,0205} = -0,0341 \text{ mg/l}$$

$$qe = \frac{(5+0,0341)}{20} \times 0.1 = 0.0251 \text{ mg/g}$$

Lampiran 2. Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 35 gr

a) Untuk 100 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0,008 - 0,0007)}{0,0205} = 0,3560 \text{ mg/L}$$

$$qe = \frac{(5 - 0.3560)}{35} \times 0.1 = 0.0132 \text{ mg/g}$$

b) Untuk 200 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0.003 - 0.0007)}{0.0205} = 0.1121 \text{ mg/L}$$

$$qe = \frac{(5 - 0.1121)}{35} \times 0.1 = 0.0139 \text{ mg/g}$$

c) Untuk 300 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0,000 - 0,0007)}{0.0205} = -0,0341 \text{ mg/g}$$

$$qe = \frac{(5 + 0.0341)}{35} \times 0.1 = 0.0143 \text{ mg/L}$$

d) Untuk 400 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0205x + 0.0007

$$Ce = \frac{(0.004 - 0.0007)}{0.0205} = 0.1609 \text{ mg/g}$$

$$qe = \frac{(5 - 0.1609)}{35} \times 0.1 = 0.0138 \text{ mg/L}$$

Lampiran 3. Nilai Ce dan qe untuk logam Timbal (Pb) 50 gr

a) Untuk 100 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0151x + 0.0031

$$Ce = \frac{(0,0001 - 0,0031)}{0,0151} = -0,1986$$
$$qe = \frac{(5 + 0,1986)}{50} \times 0,1 = 0,0103$$

b) Untuk 200 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0151x + 0.0031

$$Ce = \frac{(-0,0001 - 0,0031)}{0,0151} = -0,2119$$
$$qe = \frac{(5 + 0,2119)}{50} \times 0,1 = 0,0104$$

c) Untuk 300 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0151x + 0.0031

$$Ce = \frac{(-0,0001 - 0,0031)}{0,0151} = -0,2119$$
$$qe = \frac{(5 + 0,2119)}{50} \times 0,1 = 0,0104$$

d) Untuk 400 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0151x + 0.0031

$$Ce = \frac{(0,007 - 0,0031)}{0,0151} = 0,2582$$
$$qe = \frac{(5 - 0,2582)}{50} \times 0,1 = 0,0094$$

Lampiran 4. Nilai Ce dan qe untuk logam Tembaga (Cu) 20 gr

a) Untuk **100** 0 **C**,PersamaanRegresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.016 - 0.007)}{0.115} = 0.0782$$

$$qe = \frac{(5 - 0.0782)}{20} \times 0.1 = 0.0246$$

b) Untuk **200** 0 **C**,PersamaanRegresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.019 - 0.007)}{0.115} = 0.0104$$

$$qe = \frac{(5 - 0.0104)}{20} \times 0.1 = 0.0249$$

c) Untuk **300** 0 **C**,PersamaanRegresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0,125 - 0,007)}{0.115} = 1,0260$$

$$qe = \frac{(5-1,0260)}{20} \times 0.1 = 0.0198$$

d) Untuk **400 °C,** Persamaan Regresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.014 - 0.007)}{0.115} = 0.0608$$

$$qe = \frac{(5 - 0,0608)}{20} \times 0,1 = 0,0246$$

Lampiran 5. Nilai Ce dan qe untuk logam Tembaga (Cu) 35 gr

a) Untuk **100** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.042 - 0.007)}{0.115} = 0.3043$$

$$qe = \frac{(5 - 0.3043)}{35} \times 0.1 = 0.0134$$

b) Untuk **200 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.036 - 0.007)}{0.115} = 0.2521$$

$$qe = \frac{(5 - 0.2521)}{35} \times 0.1 = 0.0135$$

c) Untuk **300** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.016 - 0.007)}{0.115} = 0.0782$$

$$qe = \frac{(5 - 0.0782)}{35} \times 0.1 = 0.0140$$

d) Untuk **400** 0 **C**,Persamaan Regresi : y = 0.115x + 0.007

$$Ce = \frac{(0.019 - 0.0007)}{0.115} = 0.1043$$

$$qe = \frac{(5 - 0,1043)}{35} \times 0,1 = 0,0139$$

Lampiran 6. Nilai Ce dan qe untuk logamTembaga (Cu) 50 gr

a) Untuk **100** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.10075x + 0.0285

$$Ce = \frac{(0,0029 - 0,0285)}{0.10075} = -0,2540$$

$$qe = \frac{(5+0.2540)}{35} \times 0.1 = 0.0105$$

b) Untuk **200 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.092700x + 0.0277

$$Ce = \frac{(0,0008 - 0,0277)}{0,0927} = -0,2901$$

$$qe = \frac{(5+0.2901)}{50} \times 0.1 = 0.0105$$

c) Untuk **300 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.0987x + 0.0281

$$Ce = \frac{(0,0707 - 0,0281)}{0,0987} = 0,4316$$

$$qe = \frac{(5 - 0.4316)}{50} \times 0.1 = 0.0091$$

d) Untuk **400** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0969x + 0.027

$$Ce = \frac{(0.1674 - 0.027)}{0.0969} = 1.4489$$

$$qe = \frac{(5-1,4489)}{50} = 0,0071.$$

Lampiran 7. Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni) 20 gr

a) Untuk **100** 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0.033 - 0.0005)}{0.0741} = 0.4385$$

$$qe = \frac{(5 - 0.4385)}{20} \times 0.1 = 0.022$$

b) Untuk **200 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0.021 - 0.0005)}{0.0741} = 0.2766$$

$$qe = \frac{(5 - 0.2766)}{20} \times 0.1 = 0.0236$$

c) Untuk **300** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741 + 0.0005

$$Ce = \frac{(0.025 - 0.0005)}{0.0741} = 0.3306$$

$$qe = \frac{(5 - 0.3306)}{20} \times 0.1 = 0.0233$$

d) Untuk **400** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741 + 0.0005

$$Ce = \frac{(0.022 - 0.0005)}{0.0741} = 0.2901$$

$$qe = \frac{(5 - 0.2901)}{20} \times 0.1 = 0.0235$$

Lampiran 8. Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni)35 gr

a) Untuk **100** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0,019 - 0,0005)}{0,0741} = 0,2496$$
$$qe = \frac{(5 - 0,2496)}{35} \times 0,1 = 0,0135$$

b) Untuk **200 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0,015 - 0,0005)}{0,0741} = 0,1956$$
$$qe = \frac{(5 - 0,1956)}{35} \times 0,1 = 0,0137$$

c) Untuk **300** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0,022 - 0,0005)}{0,0741} = 0,2901$$
$$qe = \frac{(5 - 0,2901)}{35}x0,1 = 0,0134$$

d) Untuk **400** 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.0741x + 0.0005

$$Ce = \frac{(0.019 - 0.0005)}{0.0741} = 0.2496$$

$$qe = \frac{(5 - 0.2496)}{35} \times 0.1 = 0.0135$$

Lampiran 9. Nilai Ce dan qe untuk logam Nikel (Ni) 50 gr

a) Untuk **100** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0538x + 0.0272

$$Ce = \frac{(0,0309 - 0,0272)}{0,0538} = 0,0687$$
$$qe = \frac{(5 - 0,0687)}{50} \times 0,1 = 0,0098$$

b) Untuk **200** 0 C, Persamaan Regresi : y = 0.053800x + 0.027200

$$Ce = \frac{(0.0212 - 0.0272)}{0.0536} = -0.1115$$
$$qe = \frac{(5 + 0.1115)}{50} \times 0.1 = 0.0102$$

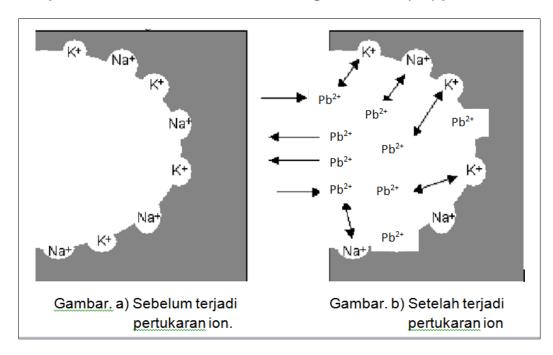
c) Untuk **300 °C**, Persamaan Regresi : y = 0.0538x + 0.0272

$$Ce = \frac{(0,0486 - 0,0272)}{0,0538} = 0,3977$$
$$qe = \frac{(5 - 0,3977)}{50} \times 0,1 = 0,0092$$

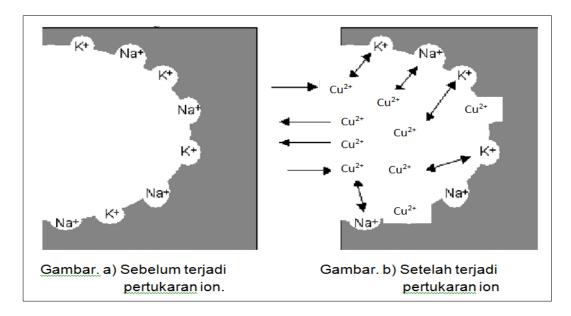
d) Untuk **400** 0 **C**, Persamaan Regresi : y = 0.0538x + 0.0272

$$Ce = \frac{(0,0943 - 0,0272)}{0,0538} = 1,2472$$
$$qe = \frac{(5 - 1,2472)}{50} \times 0,1 = 0,0075$$

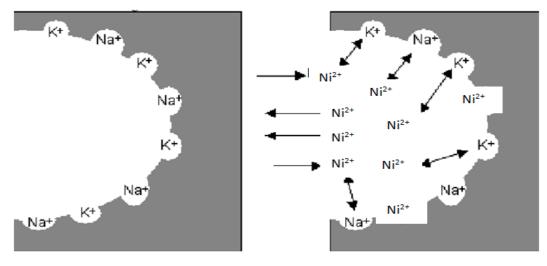
Lampiran 10. Proses Pertukaran Ion Logam Timbal (Pb) pada Zeolit



Lampiran 11. Proses Pertukaran Ion Logam Tembaga (Cu) pada Zeolit



Lampiran 12. Proses Pertukaran Ion Logam Ni (Nikel) pada Zeolit

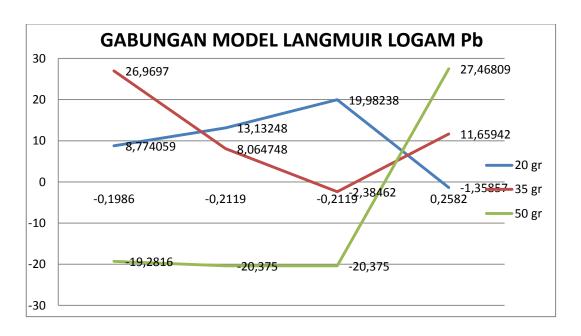


Gambar. a) Sebelum terjadi pertukaran ion.

Gambar. b) Setelah terjadi pertukaran ion

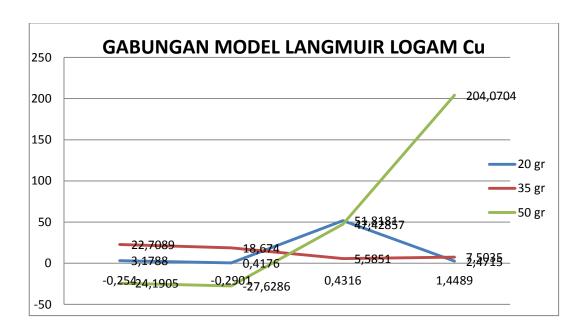
Lampiran 13. Gabungan Model Langmuir Logam Pb

20 gr	
Ce/qe	Ce
8,774059	0,2097
13,13248	0,3073
19,98238	0,4536
-1,35857	-0,0341
35 gr	
Ce/qe	Ce
26,9697	0,356
8,064748	0,1121
-2,38462	-0,0341
11,65942	0,1609
50 gr	
Ce/qe	Ce
-19,2816	-0,1986
-20,375	-0,2119
-20,375	-0,2119
27,46809	0,2582



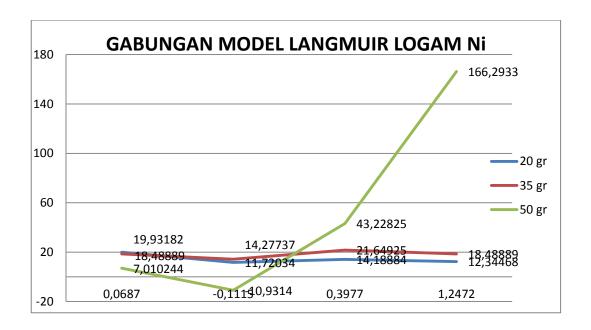
Lampiran 14. Gabungan Model Langmuir Logam Cu

20 gr	
Ce/qe	Ce
3,1788	0,0782
0,4176	0,0104
51,8181	1,026
2,4715	0,0608
35 gr	
Ce/qe	Ce
22,7089	0,3043
18,674	0,2521
5,5851	0,0782
7,5035	0,1043
50 gr	
Ce/qe	Ce
-24,1905	-0,254
-27,6286	-0,2901
47,42857	0,4316
204,0704	1,4489



Lampiran 15. Gabungan Model Langmuir Logam Ni

20 gr		
Ce/qe	Ce	
19,93182	0,4385	
11,72034	0,2766	
14,18884	0,3306	
12,34468	0,2901	
35 gr		
Ce/qe	Ce	
18,48889	0,2496	
14,27737	0,1956	
21,64925	0,2901	
18,48889	0,2496	
50 gr		
Ce/qe	Ce	
7,010244	0,0687	
-10,9314	-0,1115	
43,22825	0,3977	
166,2933	1,2472	



Lampiran 16. Dokumentasi penelitian

 Pengambilan Mineral Zeolit di Dusun Sangkaropi dan Dusun Kasinggiran, Desa Sangkaropi, Toao dan Mendilla Kecamatan Sa'dang Balusu, Kabupaten Toraja Utara. Tanggal 18 Maret 2013



2. Pembuatan Model / Alat Pengolahan Air. Tanggal 30 Maret 2013



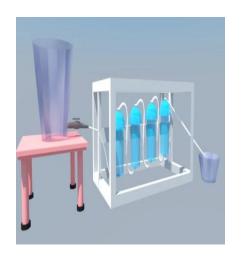














3. Aktivasi Zeolit di Laboratorium Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sulawesi Selatan. Tanggal 8 Juli 2013.









- 4. Karakterisasi Zeolit di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Makassar (UNM). Tanggal 15 Juli 2013. Dengan Menggunakan Alat, sebagai berikut :
 - 1. XRD (X-Ray Diffraction) MINIFLEX Rigaku Type II



❖ SEM (Scanning Electron Microscop), Type 3 VEGA Tescan





5. Pengambilan Sampel Air di Sungai Jeneberang, penagambilan sampel air yang masuk, di tengah, dan keluar bendungan. Tanggal 6 Oktober 2013.





























6. Uji Model / Alat Pengolahan Air. Tanggal 7 Oktober 2013

