BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah organik tulang sapi yang sudah tidak dipakai sebagai adsorben untuk menyerap logam berat Cu buatan. Langkah yang dilakukan dalam percobaan ini adalah persiapan biomassa dari tulang sapi yaitu pencucian, dan penjemuran agar tulang sapi bersih dari kotoran yang terlihat. Selanjutnya dilakukan penggerusan tulang sapi agar mendapatkan luas permukaan yang lebih luas. Pengaktivasian dengan $NaCO_3$ diharapkan dapat menghilangkan pengotor yang menutup pori-pori tulang sapi sehingga dapat memperluas permukaan dan diharapkan dapat mengaktifkan gugus fungsi baru untuk membantu proses penyerapan logam Cu. Untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan kimia pada biomassa sebelum aktivasi dan setelah aktivasi dilakukan uji karakterisasi dengan FTIR dan SEM. Melakukan uji coba variasi massa, pH, waktu, dan konsentrasi untuk mengetahui kemampuan optimum adsorben tulang sapi. Dalam hal ini logam yang digunakan adalah logam Cu sintesis atau buatan. Terkahir uji dengan AAS untuk mengetahui penyerapan logam Cu.

4.2 Karakterisasi Adsorben Tulang Sapi

4.2.1 Fourier Transform Infrared Spektroscopy (FTIR)

Untuk mengetahui karakterisasi adsorben tulang sapi digunakan teknik spektroskopi infra merah atau biasa disebut Fourier Transform Infrared (FTIR). Tujuannya adalah untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang ada pada adsorben tulang sapi baik itu yang teraktivasi Na_2CO_3 maupun tanpa aktivasi. Hasil dari analisis FTIR pada adsorben tulang sapi yang tanpa aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.1, untuk adsorben teraktivasi dapat dilihat pada Gambar

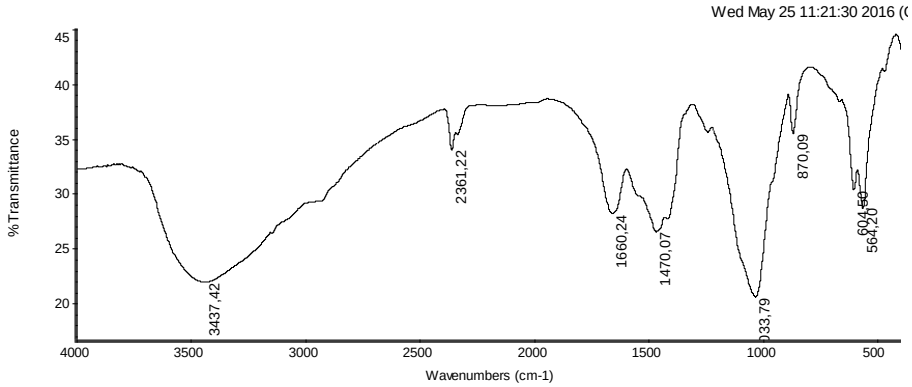
4.2, dan untuk perbandingan antara adsorben teraktivasi dan tanpa aktivasi dapat dilihat pada Gambar 4.3

Collection time: Wed May 25 08:58:48 2016 (GMT+0
Wed May 25 11:22:12 2016 (GMT+07:00)
FIND PEAKS:
Spectrum: *0276-3 Non Act
Region: 4000,00 400,00
Absolute threshold: 46,385
Sensitivity: 50
Peak list:

Position:	1031,93	Intensity:	22,899
Position:	1474,18	Intensity:	23,389
Position:	563,39	Intensity:	28,323
Position:	3416,38	Intensity:	28,399
Position:	1660,72	Intensity:	29,346
Position:	604,21	Intensity:	30,285
Position:	862,90	Intensity:	34,709
Position:	1244,64	Intensity:	38,117
Position:	2359,96	Intensity:	44,047

Gambar 4.1 Gugus Fungsi Adsorbent Alami

(Sumber : Data Primer, 2016)

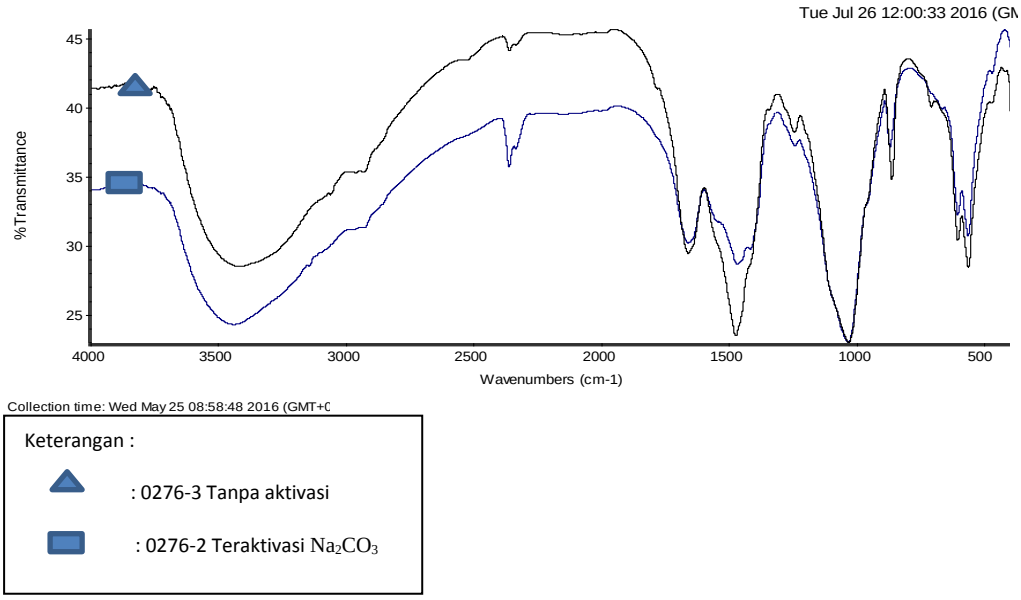


Collection time: Wed May 25 08:53:44 2016 (GMT+0
Wed May 25 11:21:28 2016 (GMT+07:00)
FIND PEAKS:
Spectrum: *0276-2 Act-Na2CO3
Region: 4000,00 400,00
Absolute threshold: 45,232
Sensitivity: 50
Peak list:

Position:	1033,79	Intensity:	20,462
Position:	3437,42	Intensity:	21,807
Position:	1470,07	Intensity:	26,440
Position:	1660,24	Intensity:	28,074
Position:	564,20	Intensity:	28,585
Position:	604,50	Intensity:	30,232
Position:	2361,22	Intensity:	33,896
Position:	870,09	Intensity:	35,422

Gambar 4.2 Gugus Fungsi Adsorbent Teraktivasi Na_2CO_3

(Sumber : Data Primer, 2016)



Gambar 4.3 Hasil *Overlay* Perbandingan Gugus Fungsi Adsorbent Alami dan Teraktivasi Na_2CO_3

(Sumber : Data Primer, 2016)

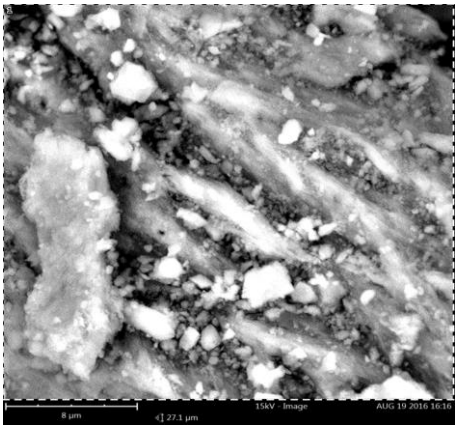
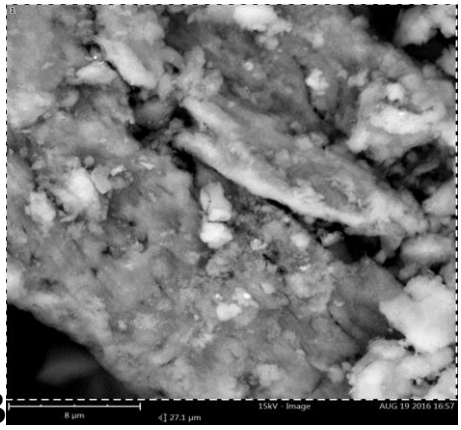
Berdasarkan hasil uji FTIR diatas dapat dilihat pada tulang sapi sebelum diaktivasi menunjukan adanya pita serapan pada gelombang 3416,38 cm^{-1} yang cukup lebar mengindikasikan vibrasi ulur gugus –OH, vibrasi ulur C=O pada gugus amida ditandai dengan munculnya pita serapan dibilangan gelombang 1660,72 dan vibrasi ulur CH_2 pada gugus alifatik ditandai dengan munculnya pita serapan dibilangan gelombang 1474,18. Gugus-gugus polar ini diduga bereaksi dengan logam berat (Mohamad, 2012).

Adapun hasil FTIR yang telah diaktivasi menggunakan Na_2CO_3 menunjukkan adanya pita serapan pada gelombang 3437,42 yang cukup lebar mengindikasikan vibrasi ulur gugus –OH, vibrasi ulur C=O pada gugus amida ditandai dengan munculnya pita serapan dibilangan gelombang 1660,24 dan vibrasi ulur CH_2 pada gugus alifatik ditandai dengan munculnya pita serapan dibilangan gelombang 1470,79. Hasil uji FTIR yang telah di aktivasi jika dibandingkan dengan hasil uji FTIR sebelum di aktivasi hampir serupa, sehingga dalam dalam proses pengaplikasian adsorben tulang sapi pada uji variasi massa

dan pH tidak menunjukan adanya perbedaan yang signifikan dalam proses penyerapan logam Cu.

4.2.2 Analisis Morfologi Biosorben *Baglog* dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pada analisis yang dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah untuk mengetahui morfologi adsorben tulang sapi tanpa aktivasi dan teraktivasi sehingga menunjukkan apakah adanya perubahan yang terjadi dari adsorben tulang sapi tersebut setelah di aktivasi dengan Na_2CO_3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (**A.** Tanpa aktivasi dan **B.** Teraktivasi) berikut.

A  B 

Gambar 4.4 (A. Tanpa aktivasi) (B. Teraktivasi)

(Sumber : Data Primer, 2016)

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukan bahwa adanya perbedaan morfologi antara adsorben tulang sapi tanpa aktivasi dengan teraktivasi dimana bisa dilihat pada adsorben tulang sapi teraktivasi pada pebesaran 10.000 kali dapat lebih jelas terlihat bahwa pori-pori tulang sapi terbuka lebih banyak dibandingkan dengan adsorben tulang sapi tanpa aktivasi.

4.3 Uji Massa Optimum

Pada uji coba ini dilakukan untuk mengetahui jumlah penyerapan logam Cu yang bisa dilakukan oleh adsorben tulang sapi. Adapun uji variasi massa

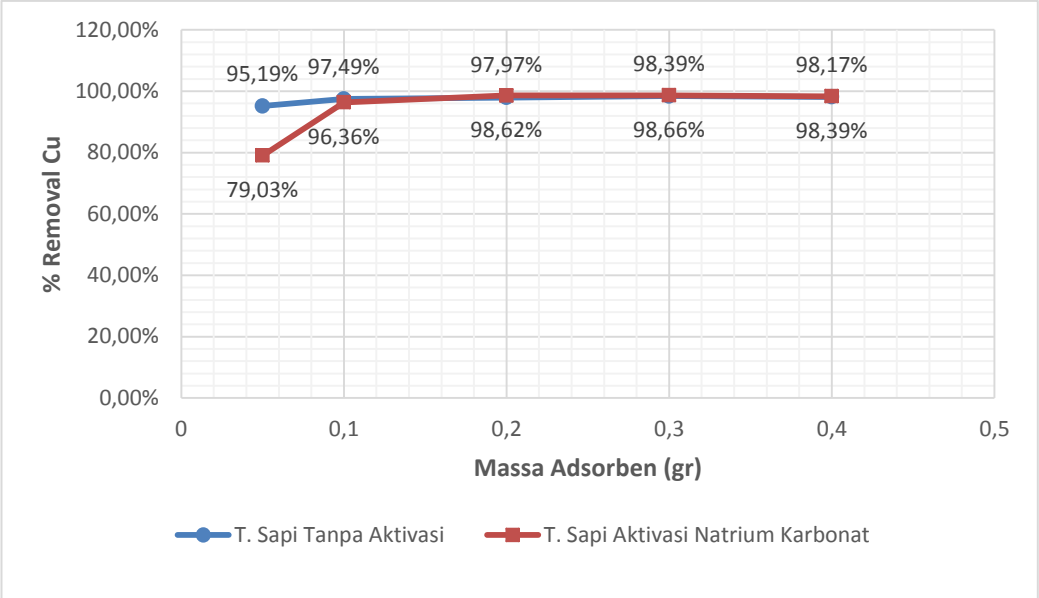
tulang sapi tanpa aktivasi dan teraktivasi Na_2CO_3 dengan massa 50 mg, 100 mg, 200 mg, 300 mg, 400 mg. Selain itu, penyesuaian yang lain adalah waktu pengadukan 120 menit dengan kecepatan pengadukan 150 rpm, untuk pengaturan pH penyerapan Cu digunakan pH 6 menggunakan larutan NaOH dan HNO3 dan konsentrasi logam Cu sebanyak 50 ppm dalam larutan aquades sebanyak 50 ml. Setelah selesai pengadukan lalu disaring untuk memisahkan cairan dan adsorben tulang sapi, kemudian sampel di uji dengan AAS untuk mengetahui seberapa besar penyerapan yang dapat dilakukan oleh adsorben tulang sapi. Hasil uji coba data penelitian ini dapat di lihat pada Tabel 4.1 variasi massa tanpa aktivasi dan Tabel 4.2 variasi massa teraktivasi serta Gambar 4.5 grafik variasi massa.

Tabel 4.1 Data Uji Coba Variasi Massa Adsorben Tulang Sapi Tanpa Aktivasi

T. Sapi Tanpa Aktivasi						
No	**Massa (gr)**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**	**% Removal**	**pH Awal**	**pH Akhir**
1	0,05	24,85	1,195	95,19	6,07	6,41
2	0,1	24,85	0,624	97,49	6,09	6,79
3	0,2	24,85	0,504	97,97	6,10	7,11
4	0,3	24,85	0,399	98,39	6,10	7,19
5	0,4	24,85	0,454	98,17	6,08	7,25
Inlet		24,85				

Tabel 4.2 Data Uji Coba Variasi Massa Adsorben Tulang Sapi aktivasi

T. Sapi Teraktivasi						
No	**Massa (gr)**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**	**% Removal**	**pH Awal**	**pH Akhir**
1	0,05	24,84	5,201	79,03	6,06	6,5
2	0,1	24,84	0,894	96,36	6,08	6,7
3	0,2	24,84	0,334	98,62	6,05	7,2
4	0,3	24,84	0,322	98,66	6,07	7,29
5	0,4	24,84	0,391	98,39	6,01	7,4
Inlet		24,84				



Gambar 4.5 Grafik Variasi Massa Adsorben Tulang Sapi (pH larutan 6, waktu kontak 120 menit, konsentrasi Cu 50 ppm)

Maka dari hasil uji coba tersebut ditunjukkan dari Tabel 4.1 Tabel 4.2 serta Gambar 4.4 Dapat disimpulkan bahwa penyerapan logam Cu akan lebih baik dengan massa yang lebih banyak di karenakan pada dasarnya semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan maka semakin tinggi luas permukaan untuk penyerapan logam Cu tersebut. Dari Gambar yang dilihat adsorben tulang sapi yang tanpa aktivasi dan teraktivasi tidak terlalu menunjukan perbedaan dalam penyerapannya. Hal tersebut bisa saja dikarenakan proses pengaktivasian yang tidak berhasil, sehingga masih ada pengotor yang berada di pori-pori tulang sapi yang tidak dapat meningkatkan luas permukaan adsorben tulang sapi.

Untuk pengujian selanjutnya di ambil massa adsorben tulang sapi sebanyak 50 mg saja dikarenakan dengan massa tersebut sudah bisa melakukan penyerapan 90% lebih logam Cu yang terlarut di dalam air dan akan lebih ekonomis dari segi jumlah penggunaan adsorben tulang sapi ini.

4.4 Uji Penentuan pH Optimum

Pengujian pengaruh pH terhadap proses adsorpsi logam dilakukan dengan variasi pH larutan 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Hal ini untuk mengetahui pada pH berapakah penyerapan logam Cu paling bagus untuk nantinya bisa diterapkan pada proses pengolahan air. Selain itu variabel lain adalah massa adsorben tulang sapi tanpa aktivasi dan teraktivasi Na_2CO_3 sebanyak 50 mg, waktu pengadukan 120 menit dengan kecepatan 150 rpm, dan konsentrasi Cu 50 ppm. Setelah selesai pengadukan lalu disaring untuk memisahkan cairan dan adsorben tulang sapi, kemudian sampel di uji dengan AAS untuk mengetahui seberapa besar penyerapan yang dapat dilakukan oleh adsorben tulang sapi. Adapun data dari uji coba serta hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.3 uji coba pengaruh pH tanpa aktivasi dan Tabel 4.4 uji coba pengaruh pH teraktivasi serta Gambar 4.6 grafik pengaruh pH.

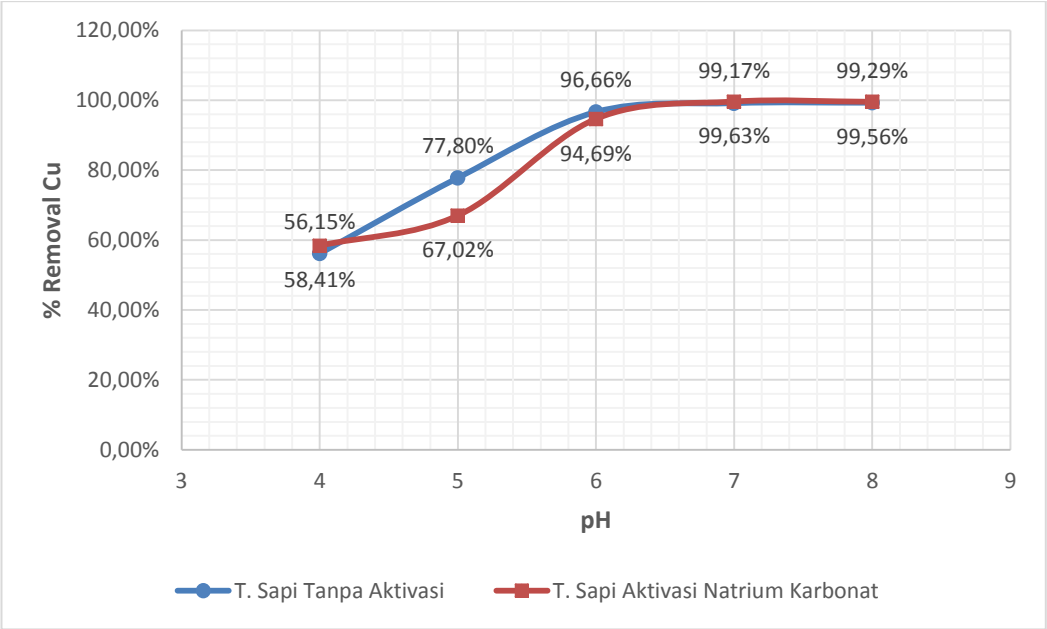
Tabel 4.3 Data Uji Coba Pengaruh pH Pada Proses Adsorpsi Tanpa Aktivasi

T. Sapi Tanpa Aktivasi										
No	**Massa (gr)**	**pH Rencana**	**pH Awal**	**pH 30 menit**	**pH 60 menit**	**pH 90 menit**	**pH 120 menit**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**	**% Removal**
1	0,05	4	4,07	4,03	4,09	4,12	5,44	41	17,98	56,15
2	0,05	5	5,05	5,08	5,11	5,1	5,82	41	9,10	77,80
3	0,05	6	6,06	6,05	6,07	6,05	6,4	41	1,37	96,66
4	0,05	7	6,99	7,08	7,09	7,09	7,39	41	0,34	99,17
5	0,05	8	7,92	8	8,01	8	8,04	41	0,29	99,29
6	0,05	9	9,05	8,99	9,01	9,09	8,48	41	0,3	99,27
Inlet								41		

Tabel 4.4 Data Uji Coba Pengaruh pH Pada Proses Adsorpsi Teraktivasi

T. Sapi Teraktivasi										
No	Massa (gr)	pH Rencana	pH Awal	pH 30 menit	pH 60 menit	pH 90 menit	pH 120 menit	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	% Removal
1	0,05	4	4,06	4,05	4,15	4,13	5,46	41	17,05	58,41
2	0,05	5	5,06	5,09	5,16	5,08	5,64	41	13,52	67,02
3	0,05	6	6,07	6,11	6,12	6,11	6,33	41	2,18	94,69
4	0,05	7	7,09	7,13	7,01	7,1	7,21	41	0,15	99,63
5	0,05	8	7,95	8,1	8,18	8,11	7,88	41	0,18	99,56
6	0,05	9	9,05	9,12	9	9,05	8,5	41	0,16	99,61
Inlet								41		

Pada data diatas menunjukan adanya pengecekan nilai pH larutan, pengecekan pH larutan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pH yang mungkin terjadi dan bisa berpengaruh pada proses adsorpsi, selain itu untuk tetap menjaga pH agar tetap pada nilai yang di inginkan. Data uji coba pengaruh pH pada proses adsorpsi ini dilakukan pengecekan pH larutan setiap 30 menit untuk menjaga pH agar tetap stabil sesuai dengan nilai atau range pH yang diinginkan.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh pH Terhadap Proses Adsorpsi (massa tulang sapi 50 mg, waktu kontak 120 menit, dan konsentrasi Cu 50 ppm)

Hasil dari uji coba ini menunjukan hasil yang sama seperti variasi massa sebelumnya, bahwa belum ada perbedaan yang signifikan antara adsorben tanpa aktivasi dan teraktivasi. Dari Gambar dapat dilihat bahwa semakin meningkat pH maka akan semakin meningkat penyerapan adsorben tulang sapi. Hal tersebut dikarekan pada pH rendah permukaan padatan bermuatan positif, karena terjadi protonasi pada gugus anionik, seperti karboksilat ataupun amino. Bila pH larutan diturunkan, maka akan terjadi protonasi gugus basa lemah pada permukaan sel biomassa tersebut, sehingga semakin rendah pH larutan akan menyebabkan semakin banyak gugus basa lemah yang terprotonasi dan akibatnya kemampuan biomassa untuk menyerap logam semakin lemah. Ditambah lagi dengan adanya kompetisi ion H+ dengan kation logam. Karena sama-sama memiliki muatan positif sehingga terjadi tolakan yang menyebabkan daya serap menjadi rendah. Sedangkan pada pH tinggi permukaan padatan bermuatan negatif karena terjadi deprotonasi pada gugus hidroksil atau amino, oleh karena itu daya serap ion logam Cu meningkat (Juliastuti dkk, 2013).

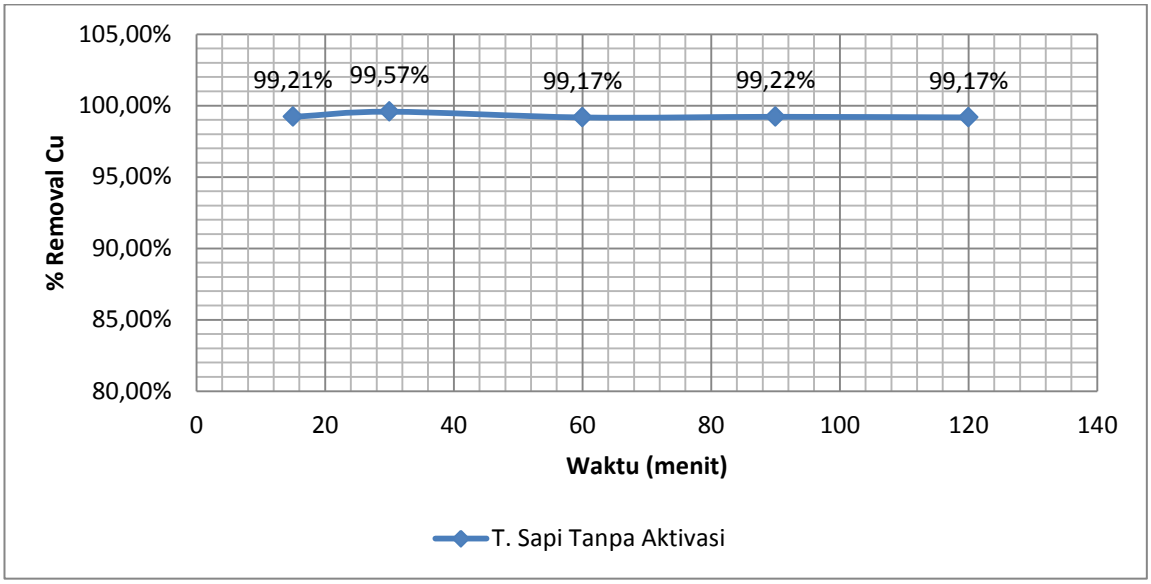
Dari data yang di dapat pada uji coba variasi pH ini dimana pada tulang sapi tanpa aktivasi meningkat sangat drastis dari pH 5 ke pH 6, dan menurun lagi namun tidak terlalu jauh pada pH 7. Maka bisa disimpulkan pH optimum pada percobaan ini adalah pH 6.

4.5 Uji Penentuan Waktu Kontak Optimum

Tujuan dari uji variasi waktu adsorpsi dari adsorben tulang sapi ini adalah untuk mengetahui waktu optimum reaksi adsorpsi dimana akan didapat penyerapan logam Cu terbanyak dari variasi waktu pengadukan yaitu 15, 30, 60, 90, dan 120 meint. Selain itu variabel lainnya yang digunakan dalam uji ini adalah massa adsorben tulang sapi yang dipakai sebanyak 50 mg, pH larutan yang digunakan dalam proses pengadukan adalah pH 6, dan konsentrasi logam Cu sebanyak 50 ppm. Setelah selesai pengadukan lalu disaring untuk memisahkan cairan dan adsorben tulang sapi, kemudian sampel di uji dengan AAS untuk mengetahui seberapa besar penyerapan yang dapat dilakukan oleh adsorben tulang sapi. Data uji coba lebih rinci tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 uji coba variasi waktu tanpa aktivasi dan Gambar 4.7 grafik uji coba variasi waktu.

Tabel 4.5 Data Uji Coba Variasi Waktu Adsorpsi Adsorben Tulang Sapi

T. Sapi Tanpa Aktivasi								
No	**Massa (gr)**	**Waktu (Menit)**	**Konsentrasi Awal (mg/L)**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**	**% Removal**	**pH Rencana**	**pH Awal**	**pH Akhir**
1	0,05	15	41,8	0,331	99,21	6	6,02	6,69
2	0,05	30	41,8	0,179	99,57	6	6,04	6,59
3	0,05	60	41,8	0,347	99,17	6	6,05	6,45
4	0,05	90	41,8	0,328	99,22	6	6,09	6,69
5	0,05	120	41,8	0,346	99,17	6	6,02	6,59
Inlet			41,8					



Gambar 4.7 Grafik Uji Coba Variasi Waktu Adsorpsi Adsorben Tulang sapi (massa tulang sapi 50 mg, pH larutan 6, dan konsentrasi Cu 50 ppm)

Pada hasil uji coba variasi waktu adsorben tulang sapi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.7 Di atas bahwa sudah terjadi reaksi penyerapan logam Cu yang sudah cukup tinggi pada menit ke 15. Setelah 15 menit pengadukan, reaksi penyerapan adsorpsi terhadap logam Cu mengalami turun naik, hal tersebut dikarenakan sudah penuhnya permukaan adsorben tulang

sapi oleh logam Cu atau dengan kata lain telah terjadi kejenuhan pada adsorben tulang sapi.

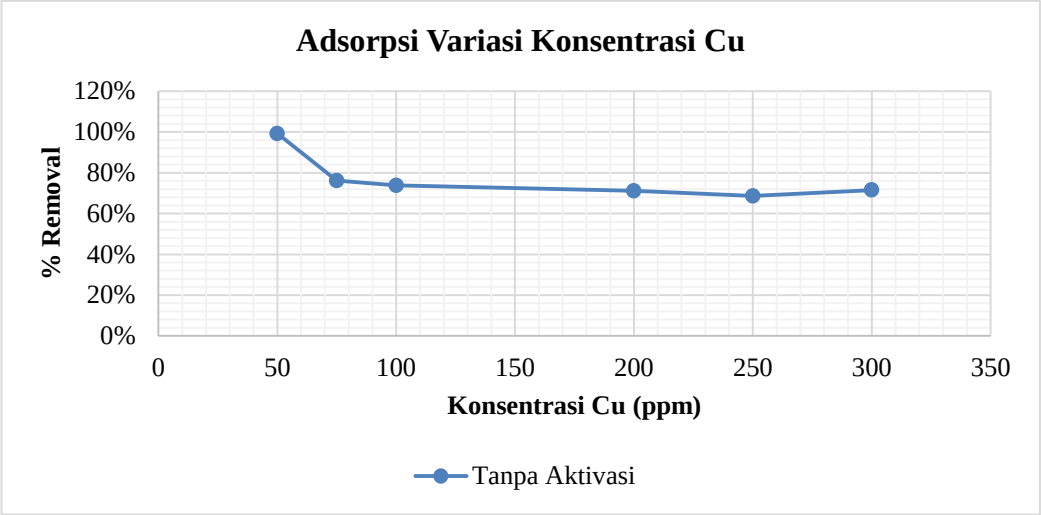
Adapun waktu optimum yang digunakan dalam penelitian ini adalah 120 menit, dikarenakan pada uji variasi konsentrasi akan menggunakan konsentrasi larutan Cu yang lebih tinggi dari konsentrasi uji sebelumnya.

4.6 Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Logam Cu

Pada percobaan kali ini terhadap variasi konsentrasi logam Cu akan dilakukan dengan variasi sebanyak 50, 75, 100, 200, 250, dan 300 ppm. Selain itu varibel pendukung dalam uji coba ini adalah dengan waktu kontak 120 menit dengan kecepatan 150 rpm, pH larutan 6, dan massa adsorben tulang sapi sebanyak 50 mg. Tujuan uji coba ini untuk mengetahui reaksi adsorpsi tulang sapi terhadap logam Cu dengan konsentrasi yang berbeda dan lebih tinggi, dimana nantinya diketahui kemampuan maksimal penyerapan logam Cu oleh adsorben tulang sapi. Setelah selesai pengadukan lalu disaring untuk memisahkan cairan dan adsorben tulang sapi, kemudian sampel di uji dengan AAS untuk mengetahui seberapa besar penyerapan yang dapat dilakukan oleh adsorben tulang sapi. Data uji coba dan hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.6 uji variasi konsentrasi dan Gambar 4.8 grafik uji konsentrasi.

Tabel 4.6 Data dan Hasil Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi Logam Cu

Variasi Konsentrasi Biosorben Tanpa Aktivasi						
Konsentrasi Logam Cu Rencana (ppm)	**Inlet (mg/L)**	**Massa Biosorban (gr)**	**pH Awal**	**pH Akhir**	**Konsentrasi Akhir (mg/L)**	**% Removal**
50	41,8	0,05	6,02	6,59	0,346	99
75	78,9	0,05	6,05	6,5	18,85	76
100	96,4	0,05	6,02	6,52	25,3	74
200	180,5	0,05	6,07	6,83	52,2	71
250	221,5	0,05	6,11	6,88	69,6	69
300	266,2	0,05	6,02	6,95	75,8	72



Gambar 4.8 Grafik Uji Adsorpsi Konsentrasi Logam Cu (massa tulang sapi 50 mg, pH larutan 6, waktu kontak 120 menit)

Hasil dari percobaan uji adsorpsi variasi konsentrasi menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka persentase removalnya akan semakin menurun.

4.7 Isoterm Adsorpsi

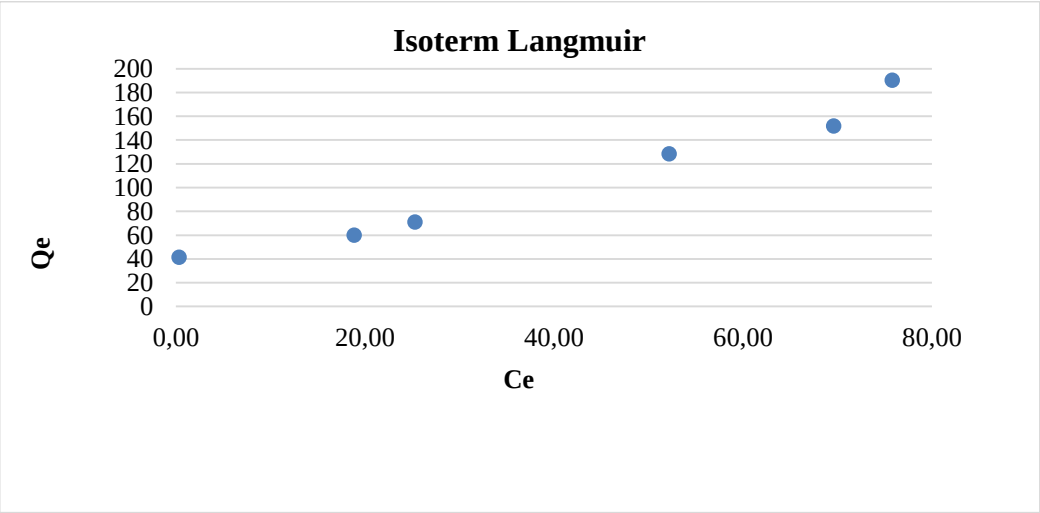
Isoterm adsorpsi adalah hubungan yang menunjukan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa ruah saat kesetimbangan pada suhu tertentu. Apabila kesetimbangan telah tercapai, maka proses adsorpsi telah selesai (Atkins, 1997). Pada percobaan adsorpsi adsorben tulang sapi dilakukan pemodelan isoterm dengan model Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui kesetimbangan adsorpsi logam Cu. Model Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal *(monolayer)* adsorbat di permukaan adsorben. Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan *(multilayer)* dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap site (Slamet dan Masduqi, 2000).

4.8 Isoterm Langmuir dan Freundlich Adsorben Tulang Sapi Tanpa aktivasi

Pada perhitungan pemodelan Isoterm Langmuir terhadap tulang sapi tanpa aktivasi, data dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut

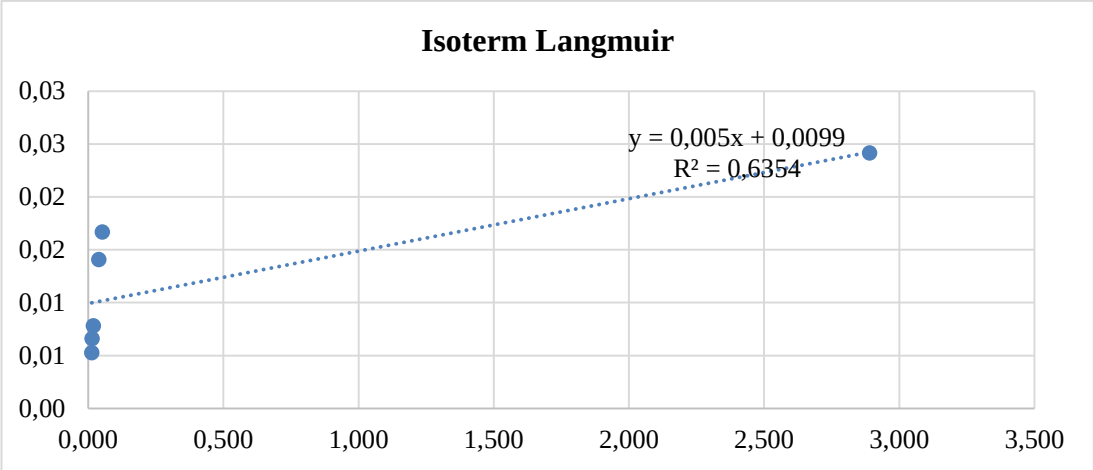
Tabel 4.7 Perhitungan Untuk Mencari Nilai Konstanta Langmuir Adsorben Tanpa Aktivasi

Variasi Konsentrasi Biosorben Tanpa Aktivasi									
Variasi Konsentrasi (ppm)	Massa Adsorben (mg)	Volume Larutan (ml)	Konsentrasi Awal (C0) mg/L	Konsentrasi Akhir (Ce) mg/L	Selisih (ΔC) mg/L	Persentase Penyisihan	Langmuir		
							Qe (mg/g)	1/Qe	1/Ce
50	50	50	41,80	0,35	41,45	99,17	41,454	0,02	2,890
75	50	50	78,90	18,85	60,05	76,11	60,050	0,02	0,053
100	50	50	96,40	25,30	71,10	73,76	71,100	0,01	0,040
200	50	50	180,50	52,20	128,30	71,08	128,300	0,01	0,019
250	50	50	221,50	69,60	151,90	68,58	151,900	0,01	0,014
300	50	50	266,20	75,80	190,40	71,53	190,400	0,01	0,013



Gambar 4.9 Kesetimbangan Isoterm Langmuir adsorben tanpa aktivasi

Dari perhitungan di dapat nilai 1/qe dan 1/Ce yang nantinya di plot untuk membuat grafik persamaan linear isoterm Langmuir, dimana akan didapat nilai R^2 dari persamaan tersebut yang berguna untuk menentukan model isoterm dari adsorpsi tulang sapi terhadap logam Cu.



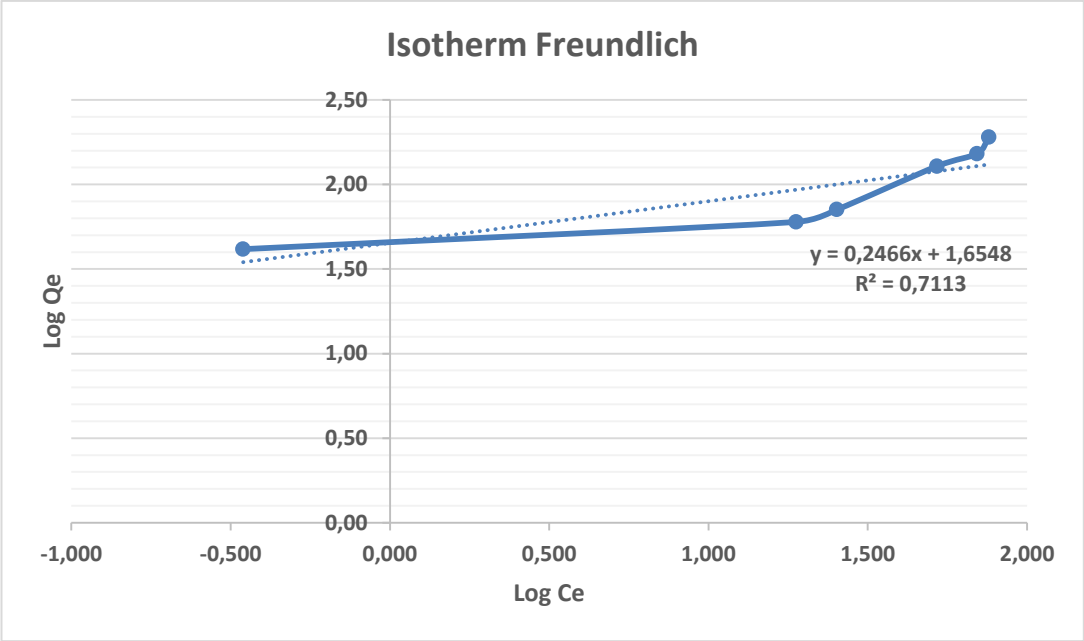
Gambar 4.10 Grafik Persamaan Isoterm Langmuir Tulang Sapi Tanpa Aktivasi

Dari grafik di atas terdapat persamaan linear isoterm Langmuir dari Tulang Sapi tanpa aktivasi dengan nilai R^2 = 0.6354 dan konstanta yang nantinya akan di bandingkan dengan nilai R^2 dari persamaan linear isoterm Freundlich.

Tabel 4.8 Perhitungan Untuk Mencari Nilai Konstanta Freundlich Adsorben Tanpa Aktivasi

Variasi Konsentrasi Biosorben Tanpa Aktivasi									
Variasi Konsentrasi (ppm)	**Massa Adsorben (mg)**	**Volume Larutan (ml)**	**Konsentrasi Awal (C0) mg/L**	**Konsentrasi Akhir (Ce) mg/L**	**Selisih (ΔC) mg/L**	**Persentase Penyisihan %**	**Freundlich**		
							Qe (mg/g)	**Log Qe**	**Log Ce**
50	50	50	41,80	0,35	41,45	99,17	41,454	1,62	-0,461
75	50	50	78,90	18,85	60,05	76,11	60,05	1,78	1,275
100	50	50	96,40	25,30	71,10	73,76	71,1	1,85	1,403
200	50	50	180,50	52,20	128,30	71,08	128,3	2,11	1,718
250	50	50	221,50	69,60	151,90	68,58	151,9	2,18	1,843
300	50	50	266,20	75,80	190,40	71,53	190,4	2,28	1,880

Dari perhitungan di dapat nilai Log qe dan Log Ce yang nantinya di plot untuk membuat grafik persamaan linear isoterm Freundlich, dimana akan didapat nilai R^2 dari persamaan tersebut yang berguna untuk menentukan model isoterm dari adsorpsi Tulang Sapi tanpa aktivasi terhadap logam Cu. Grafik persamaan linear dari isoterm freundlich tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.11 Grafik Persamaan Isoterm Freundlich Tulang Sapi

Dari grafik di atas terdapat persamaan linear isoterm Freundlich tulang sapi tanpa aktivasi dengan nilai R^2 = 0,7113. Dapat disimpulkan bahwa pemodelan isoterm Freundlich lebih cocok dengan adsorpsi yang terjadi pada logam Cu oleh tulang sapi dimana nilai R^2 dari model isoterm Freundlich yang lebih mendekati 1. Sehingga dari hal tersebut dapat dicari kapasitas maksimum adsorpsi menggunakan pemodelan Isoterm Freundlich.

Kemampuan maksimum adsorpsi dari hasil penelitian menggunakan adsorben tulang sapi tanpa aktivasi dapat diketahui dari mekanisme pemodelan isoterm Langmuir dan Freundlich. Dari kedua pemodelan tersebut adapun nilai konstanta Langmuir (b) yang berguna untuk menentukan nilai maksimum adsorpsi adsorben tulang sapi (qm) dan nilai intercept Freundlich (ln K) yang berguna untuk menentukan nilai maksimum kapasitas adsorben tulang sapi (Kf). Adapun data dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9 nilai mekanisme adsorbsi Langmuir dan Freundlich.

Tabel 4.9 Nilai Mekanisme Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich

Biosorben	Langmuir			Freundlich		
	Qm (mg/g)	b	R2	Kf	1/N	R2
Tanpa Aktivasi	100,9	0,00496	0,6354	5,2320	0,2466	0,7113

Dari data diatas menunjukkan kecenderungan mengikuti model adsorpsi isoterm Freundlich dimana nilai R^2 tersebut lebih mendekati 1 dibandingkan dengan nilai R^2 dari isoterm Langmuir. Model adsorpsi isoterm Freundlich menekankan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lebih dari satu lapisan permukaan *(multilayer)* adsorbat di permukaan adsorben dengan asumsi molekul diadsorpsi oleh *site* (tempat terjadinya reaksi di permukaan adsorben) yang tetap, setiap site dapat memegang lebih dari satu molekul adsorbat, dan adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap site (Masduqi dan Slamet, 2000).