

LAMPIRAN

Lampiran 1. Penentuan Uji Adsorpsi

Tabel 3. Adsorpsi ion Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} oleh biomassa alga *Spirulina* sp dengan variasi dosis biomassa alga *Spirulina* sp

Massa (gram)	Q (mg g^{-1})		
	Ion Ca^{2+}	Ion Cu^{2+}	Ion Cd^{2+}
0,1	11,80	10,00	27,23
0,2	7,49	6,73	17,50
0,3	5,46	4,46	12,70
0,4	3,99	3,43	10,36
0,5	2,74	2,70	9,55

Tabel 4. Adsorpsi ion Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} oleh biomassa alga *Spirulina* sp dengan variasi pH.

pH	Teradsorpsi					
	Ion Ca^{2+}		Ion Cu^{2+}		Ion Cd^{2+}	
	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%
3	4,31	56,78	3,53	66,75	2,15	26,73
4	5,85	77,11	4,41	83,45	4,05	50,32
5	7,20	94,94	4,18	78,98	6,60	82,05
6	7,13	93,94	4,46	84,28	7,29	90,61
7	7,14	94,14	4,50	85,15	6,85	85,18

Tabel 5. Adsorpsi ion Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} oleh biomassa alga *Spirulina* sp dengan variasi waktu kontak

Waktu kontak	Teradsorpsi					
	Ion Ca^{2+}		Ion Cu^{2+}		Ion Cd^{2+}	
	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	8,11	33,36	11,46	58,39	21,46	64,44
30	8,16	33,58	12,94	65,93	24,58	73,81
45	8,66	35,63	13,46	68,57	27,54	82,68
60	8,13	33,46	13,28	67,63	27,43	82,38
90	8,12	33,41	13,16	67,06	27,44	82,40

Tabel 6. Adsorpsi ion Ca^{2+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} oleh biomassa alga *Spirulina* sp dengan variasi konsentrasi logam

Konsentrasi Logam	Teradsorpsi					
	Ion Ca^{2+}		Ion Cu^{2+}		Ion Cd^{2+}	
	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%	Q (mg g^{-1})	%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	4,50	73,42	3,59	76,16	5,71	85,10
50	5,23	42,62	6,88	73,00	10,57	78,79
100	13,78	56,14	12,56	66,60	22,06	82,24
200	17,50	35,66	18,80	49,83	17,65	32,89
300	20,73	28,16	20,10	35,52	21,72	26,98

Lampiran 2. Penentuan Laju Adsorpsi

Tabel 7. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorpsi ion Ca^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t menit	Co mg L^{-1}	C mg L^{-1}	Ce mg L^{-1}	q_e mg g^{-1}	q_t mg g^{-1}	$q_e - q_t$	\ln ($q_e - q_t$)
0	97,25	97,25	0,00	24,31	0,00	24,31	3,19
15	97,25	64,80	32,45	16,20	8,11	8,09	2,09
30	97,25	64,60	32,65	16,15	8,16	7,99	2,08
45	97,25	62,11	34,65	15,65	8,66	6,99	1,94
60	97,25	64,71	32,54	16,18	8,13	8,04	2,08
90	97,25	64,76	32,49	16,19	8,12	8,07	2,09

Keterangan:

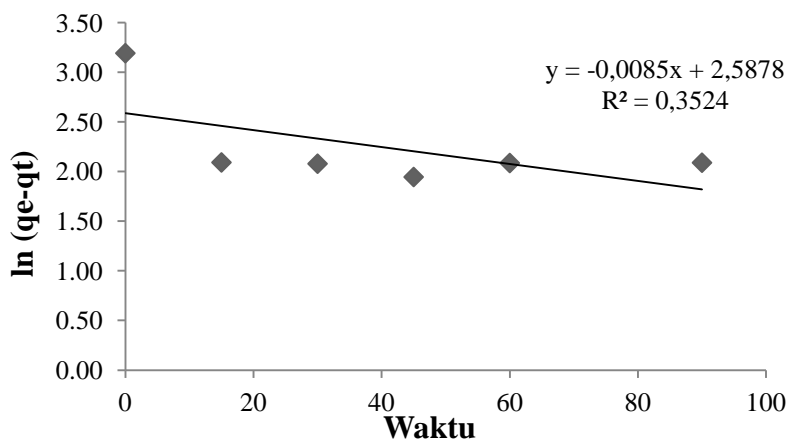
Co : konsentrasi awal ion logam (mg L^{-1})

C : konsentrai ion logam pada keadaan setimbang (mg L^{-1})

q_e : jumlah ion logam yang teradsorpsi pada keadaan setimbang (mg g^{-1})

q_t : jumlah ion logam yang teradsorpsi pada waktu tertentu (mg g^{-1})

Dari hasil data pada Tabel 7, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 12. Kurva kinetika pseudo orde satu pada adsorpsi ion Ca^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

Hasil perhitungan kurva pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+} sebagai berikut:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 \cdot t$$

$$y = ax + b, \text{ Slop (a)} = -k_1 \text{ dan Intersep (b)} = \ln q_e$$

$$y = -0,0085x + 2,5878, a = -0,0085 \text{ dan } b = 2,5878$$

$$\text{Slope / } k_1 = -(0,0085) = 0,0085 \text{ atau } 8,5 \times 10^{-3} \text{ menit}^{-1}$$

$$\text{Intersep / } \ln q_e = 2,5878$$

Tabel 8. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorpsi ion Cu^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t menit	C_0 mg L^{-1}	C mg L^{-1}	C_e mg L^{-1}	q_e mg g^{-1}	qt mg g^{-1}	qe-qt	ln (qe-qt)
0	78,51	0,00	0,00	19,63	0,00	19,63	
15	78,51	32,67	45,84	8,17	11,46	-3,29	
30	78,51	26,75	51,77	6,69	12,94	-6,26	
45	78,51	24,68	53,84	6,17	13,46	-7,29	
60	78,51	25,41	53,10	6,35	13,28	-6,92	
90	78,51	25,86	52,65	6,47	13,16	-6,70	

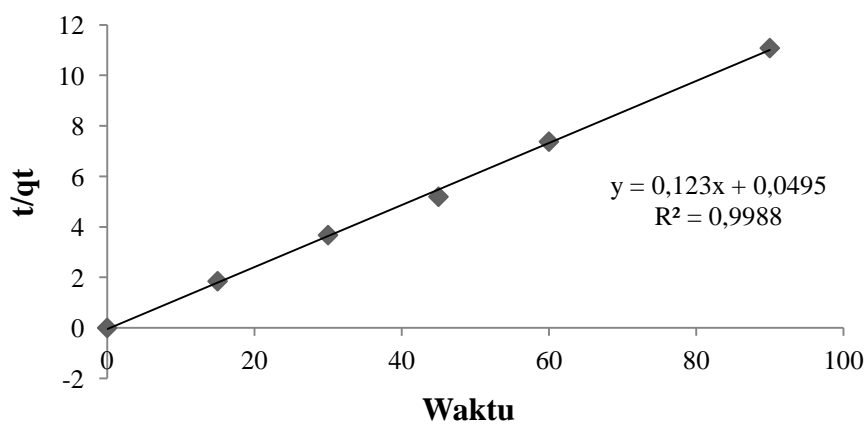
Tabel 9. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde satu pada adsorpsi ion Cd^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t menit	C_0 mg L^{-1}	C mg L^{-1}	C_e mg L^{-1}	q_e mg g^{-1}	qt mg g^{-1}	$q_e - qt$	ln ($q_e - qt$)
0	133,21	133,21	0,00	33,30	0,00	33,30	
15	133,21	47,37	85,85	11,84	21,46	-9,62	
30	133,21	34,89	98,32	8,72	24,58	-15,86	
45	133,21	23,07	110,15	5,77	27,54	-21,77	
60	133,21	23,48	109,74	5,87	27,43	-21,57	
90	133,21	23,44	109,77	5,86	27,44	-21,58	

Tabel 10. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorpsi ion Ca^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t (menit)	C_0 (mg L^{-1})	C (mg L^{-1})	C_e (mg L^{-1})	q_e (mg g^{-1})	qt (mg g^{-1})	t/qt
0	97,25	0,00	0,00	24,31	0,00	0,00
15	97,25	64,80	32,45	16,20	8,11	1,85
30	97,25	64,60	32,65	16,15	8,16	3,67
45	97,25	62,11	34,65	15,65	8,66	5,19
60	97,25	64,71	32,54	16,18	8,13	7,38
90	97,25	64,76	32,49	16,19	8,12	11,08

Dari hasil data pada Tabel 10, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 13. Kurva kinetika pseudo orde dua pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+} sebagai berikut:

$$t/qt = 1/k_2qe^2 + t/qe$$

$$y = ax + b, \text{ Slop (a)} = 1/qe \text{ dan Intersep (b)} = 1/k_2qe^2$$

$$y = 0,123x + 0,0495, a = 0,123 \text{ dan } b = -0,0495$$

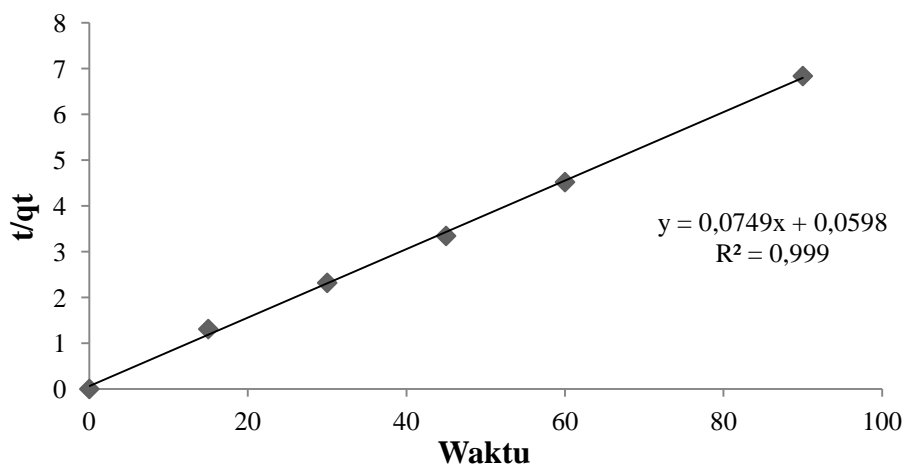
$$h = 1/b = 1/0,0495 = 20,20 \text{ dan } qe^2 = 1/a = 1/0,123 = (8,13)^2 = 66,10$$

$$k_2 = h/qe^2 = 20,20/66,10 = 0,30 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$$

Tabel 11. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorpsi ion Cu^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t (menit)	Co (mg L ⁻¹)	C (mg L ⁻¹)	Ce (mg L ⁻¹)	qe (mg g ⁻¹)	qt (mg g ⁻¹)	t/qt
0	78,51	0,00	0,00	19,63	0,00	0,00
15	78,51	32,67	45,84	8,17	11,46	1,31
30	78,51	26,75	51,77	6,69	12,94	2,32
45	78,51	24,68	53,84	6,17	13,46	3,34
60	78,51	25,41	53,10	6,35	13,28	4,52
90	78,51	25,86	52,65	6,47	13,16	6,84

Dari hasil data pada Tabel 11, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 14. Kurva kinetika pseudo orde dua pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+} sebagai berikut:

$$t/qt = 1/k_2qe^2 + t/qe$$

$$y = ax + b, \text{ Slop (a)} = 1/qe \text{ dan Intersep (b)} = 1/k_2qe^2$$

$$y = 0,0749x + 0,0598, a = 0,0749 \text{ dan } b = 0,0598$$

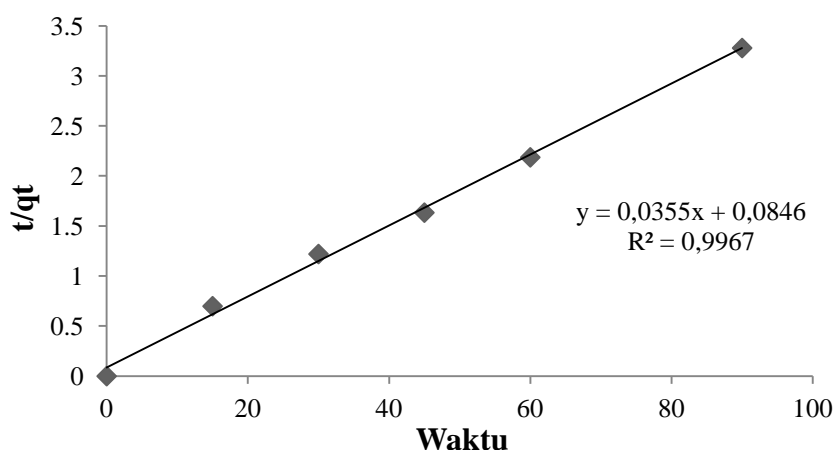
$$h = 1/b = 1/0,0598 = 16,72 \text{ dan } qe^2 = 1/a = 1/0,0749 = (13,35)^2 = 178,22$$

$$k_2 = h/qe^2 = 16,72/178,22 = 0,09 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$$

Tabel 12. Data perhitungan hasil kinetika pseudo orde dua pada adsorpsi ion Cd^{2+} terhadap biomassa alga *Spirulina* sp.

t (menit)	Co (mg L ⁻¹)	C (mg L ⁻¹)	Ce (mg L ⁻¹)	qe (mg g ⁻¹)	qt (mg g ⁻¹)	t/qt
0	133,21	0,00	0,00	33,30	0,00	0,00
15	133,21	47,30	85,85	11,84	21,46	0,70
30	133,21	38,56	98,32	8,72	24,58	1,22
45	133,21	22,02	110,15	5,77	27,54	1,63
60	133,21	22,04	109,74	5,87	27,43	2,19
90	133,21	22,23	109,77	5,86	27,44	3,28

Dari hasil data pada Tabel 12, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 15. Kurva kinetika pseudo orde dua pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+} sebagai berikut:

$$t/qt = 1/k_2qe^2 + t/qe$$

$$y = ax + b, \text{ Slop (a) } = 1/qe \text{ dan Intersep (b) } = 1/k_2qe^2$$

$$y = 0,0355x - 0,0846 \text{ a } = 0,0355 \text{ dan b } = 0,0846$$

$$h = 1/b = 1/0,0846 = 11,82 \text{ dan } qe^2 = 1/a = 1/0,0355 = (28,17)^2 = 793,55$$

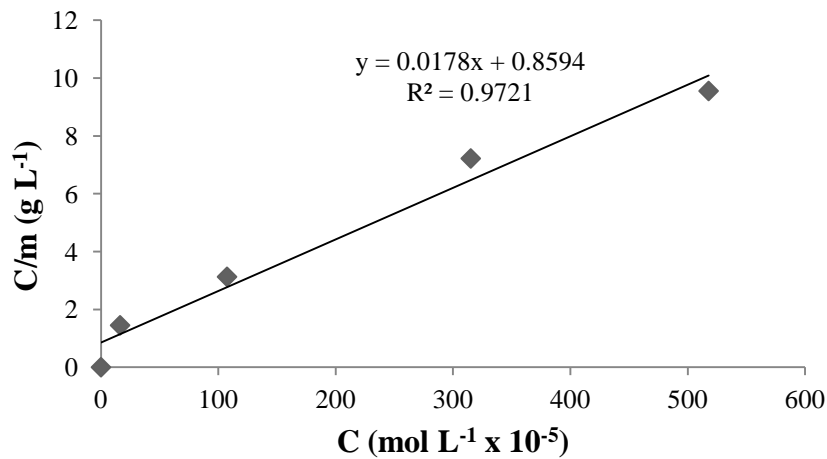
$$k_2 = h/qe^2 = 11,82/793,55 = 0,015 \text{ g mg}^{-1} \text{ menit}^{-1}$$

Lampiran 3. Penentuan Kapasitas dan Energi Adsorpsi

Tabel 13. Data perhitungan menggunakan model isoterm Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+}

Co mg L ⁻¹	C		Teradsorpsi (m)		C/m g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	mol L ⁻¹ x 10 ⁻⁵	mg g ⁻¹	mol g ⁻¹ x 10 ⁻⁵	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	6,52	16,30	4,50	11,23	1,45
50	28,16	70,26	5,23	13,04	5,39
100	43,05	107,42	13,78	34,37	3,13
200	126,29	315,10	17,5	43,66	7,33
300	207,52	517,80	21,73	54,22	9,55

Dari hasil data pada Tabel 13, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 16. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 16 adalah sebagai berikut:

$$y = 0,0178x + 0,8594$$

$$a = 0,0178 \text{ (slop)}, b = 0,8594 \text{ (intersep)}$$

$$b = 1/a = 1/0,0178 = 56,18 \times 10^{-5} \text{ mol g}^{-1} = 22,52 \text{ mg g}^{-1} \text{ (kapasitas adsorpsi)}$$

$$K = (1/b \times \text{intersep}) = 1/(56,18 \times 10^{-5} \times 0,8594) = 2,07 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1}$$

$$E = -RT \ln K$$

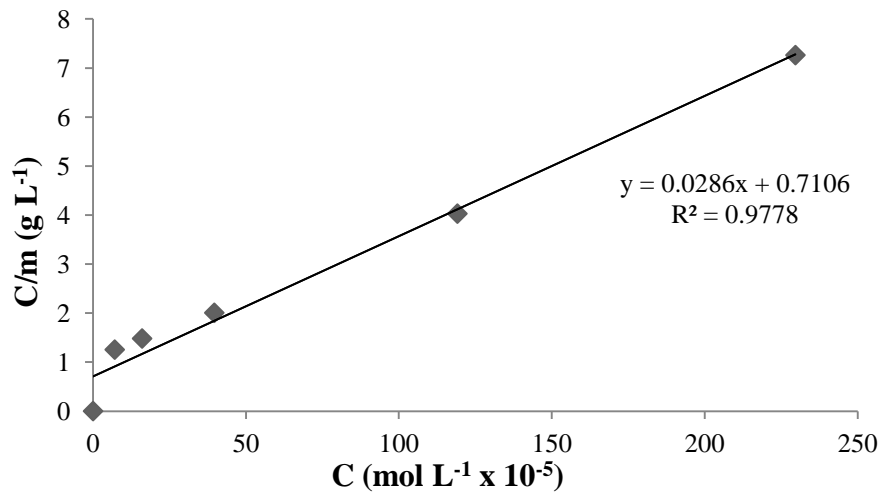
$$E = -(8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K} \times 300 \text{ K} \times \ln 2,07 \times 10^3)$$

$$E = -19043 \text{ J mol}^{-1} = -19,04 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Tabel 14. Data perhitungan menggunakan model isoterm Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+}

C_0 mg L^{-1}	C		Teradsorpsi (m)		C/m g L^{-1}
	mg L^{-1}	$\text{mol} \times 10^{-5}$	mg g^{-1}	$\text{mol} \times 10^{-5}$	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	4,50	7,08	3,59	5,65	1,25
50	10,19	16,04	6,88	10,83	1,48
100	25,19	39,64	12,56	19,77	2,01
200	75,70	119,14	18,80	29,58	4,03
300	145,93	229,67	20,10	31,63	7,26

Dari hasil data pada Tabel 14, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 17. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 17 adalah sebagai berikut:

$$y = 0,0286x + 0,7106$$

$$a = 0,0286 \text{ (slop)}, b = 0,7106 \text{ (intersep)}$$

$$b = 1/a = 1/0,0286 = 34,96 \times 10^{-5} \text{ mol g}^{-1} = 22,21 \text{ mg g}^{-1} \text{ (kapasitas adsorpsi)}$$

$$K = (1/b \times \text{intersep}) = 1/(34,96 \times 10^{-5} \times 0,7106) = 4,03 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1}$$

$$E = -RT \ln K$$

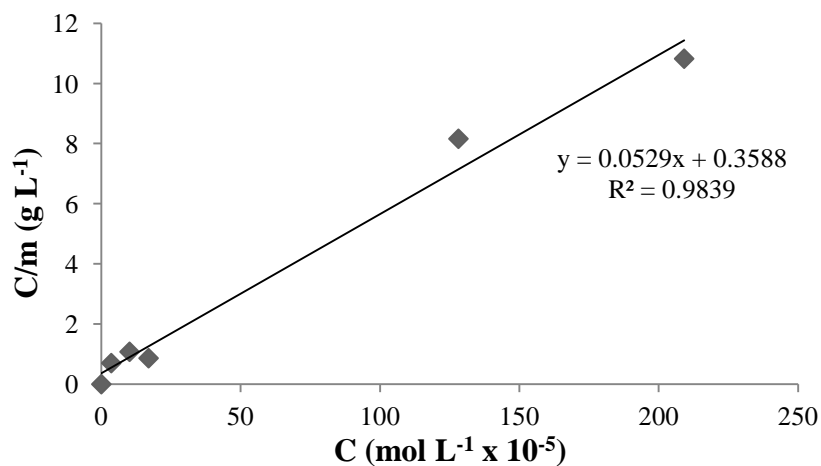
$$E = -(8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K} \times 300 \text{ K} \times \ln 4,03 \times 10^3)$$

$$E = -20705 \text{ J mol}^{-1} = -20,71 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Tabel 15. Data perhitungan menggunakan model isoterm Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+}

Co mg L ⁻¹	C		Teradsorpsi (m)		C/m g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	mol x 10 ⁻⁵	mg g ⁻¹	mol x 10 ⁻⁵	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	4,00	3,55	5,70	5,07	0,70
50	11,38	10,12	10,58	9,40	1,08
100	19,06	16,96	22,06	19,63	0,86
200	144,02	128,13	17,65	15,70	8,16
300	235,05	209,12	21,72	19,32	10,82

Dari hasil data pada Tabel 15, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 18. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 18 adalah sebagai berikut:

$$y = 0,0529x + 0,3588$$

$$a = 0,0529 \text{ (slop)}, b = 0,3588 \text{ (intersep)}$$

$$b = 1/a = 1/0,0529 = 18,90 \times 10^{-5} \text{ mol g}^{-1} = 21,25 \text{ mg g}^{-1} \text{ (kapasitas adsorpsi)}$$

$$K = (1/b \times \text{intersep}) = 1/(18,90 \times 10^{-5} \times 0,3588) = 14,75 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1}$$

$$E = -RT \ln K$$

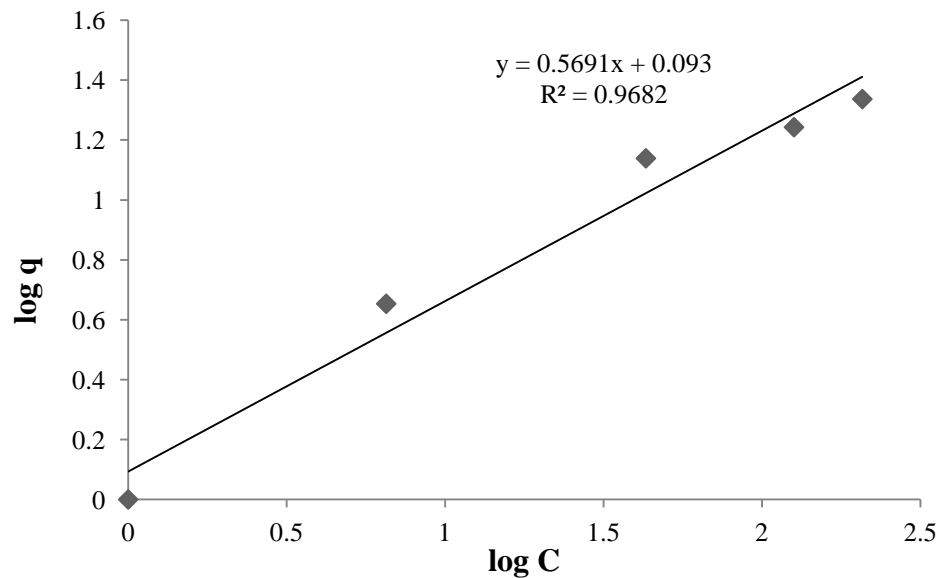
$$E = -(8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K} \times 300 \text{ K} \times \ln 14,75 \times 10^3)$$

$$E = -23941 \text{ J mol}^{-1} = -23,94 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Tabel 16. Data perhitungan menggunakan model isoterm Freundlich pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+}

Co mg L ⁻¹	C		log C	q mg g ⁻¹	log q
	mg L ⁻¹	mol x 10 ⁻⁵			
0	0	0	0	0	0
25	6,52	16,30	0,81	4,50	0,65
50	28,16	70,30	1,45	5,23	0,72
100	43,05	107,40	1,63	13,78	1,14
200	126,29	315,10	2,10	17,50	1,24
300	207,52	517,80	2,32	21,73	1,34

Dari hasil data pada Tabel 16, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 19. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Ca^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 19, sebagai berikut:

$$y = 0,5691x + 0,093$$

$a = 0,5691$ (slop), $b = 0,093$ (intersep)

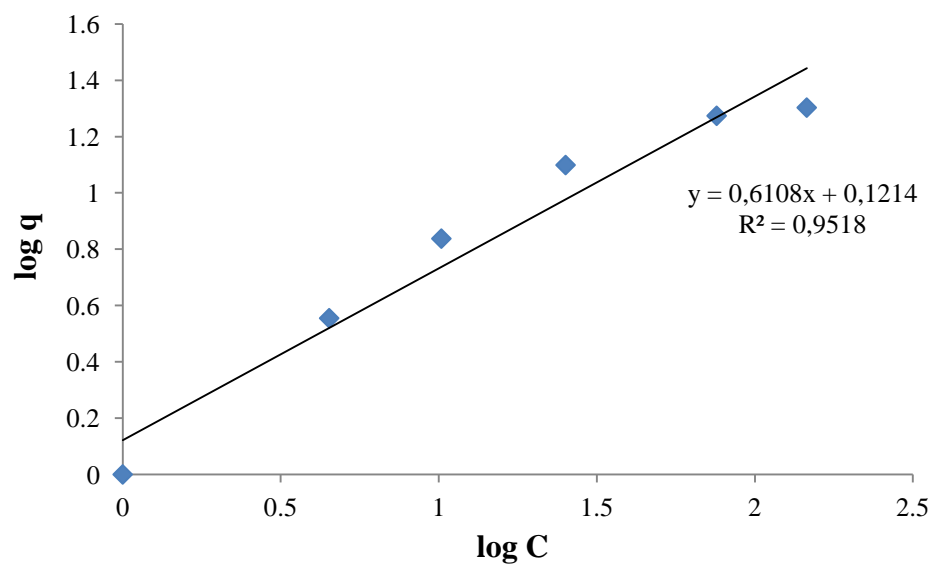
$n = 1/a$, jadi $n = 1/0,5691 = 1,76$

$$k_f = 10^b = 10^{0,093} = 1,24 \text{ mg g}^{-1}$$

Tabel 17. Data perhitungan menggunakan model isoterm Freundlich pada pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+}

Co mg L ⁻¹	C		log C	q mg g ⁻¹	log q
	mg L ⁻¹	mol x 10 ⁻⁵			
0	0	0	0	0	0
25	4,50	7,08	0,65	3,59	0,56
50	10,19	16,04	1,01	6,88	0,84
100	25,19	39,60	1,40	12,56	1,10
200	75,70	119,10	1,88	18,80	1,27
300	145,93	229,70	2,16	20,10	1,30

Dari hasil data pada Tabel 17, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 20. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cu^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 20, sebagai berikut:

$$y = 0,6108x + 0,1214$$

$a = 0,6108$ (slop), $b = 0,1214$ (intersep)

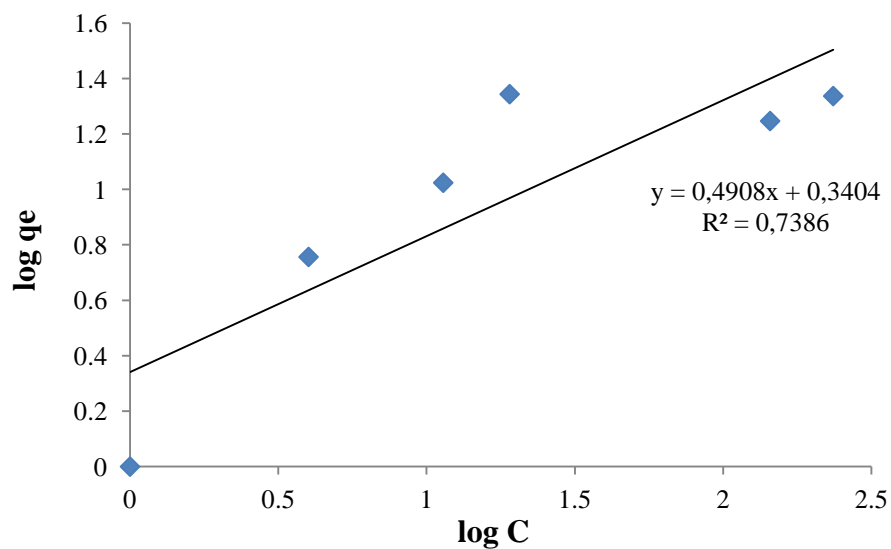
$n = 1/a$, jadi $n = 1/0,6108 = 1,637$

$$k_f = 10^b = 10^{0,1214} = 1,32 \text{ mg g}^{-1}$$

Tabel 18. Data perhitungan menggunakan model isoterm Freundlich pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+}

Co mg L ⁻¹	C		log C	q mg g ⁻¹	log q
	mg L ⁻¹	mol x 10 ⁻⁵			
0	0	0	0	0	0
25	4,00	3,55	0,60	5,71	0,76
50	11,38	10,12	1,06	10,56	1,02
100	19,06	16,96	1,28	22,06	1,34
200	144,02	128,13	2,16	17,65	1,25
300	235,05	209,12	2,37	21,72	1,34

Dari hasil data Tabel 18, didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 21. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich pada biomassa alga *Spirulina* sp terhadap ion Cd^{2+}

Hasil perhitungan kurva pada Gambar 21, sebagai berikut:

$$y = 0,4908x + 0,3404$$

$$a = 0,4908 \text{ (slop)}, b = 0,3404 \text{ (intersep)}$$

$$n = 1/a, \text{ jadi } n = 1/0,4908 = 2,04$$

$$k_f = 10^b = 10^{0,3404} = 2,18 \text{ mg g}^{-1}$$