

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN IDENTITAS .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
PERNYATAAN .....	iv
PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xxix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxxiii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xxxvi
DAFTAR PUBLIKASI .....	xxxviii
INTISARI .....	xxxix
ABSTRACT .....	xli
I. PENGANTAR .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	17
C. Tujuan Penelitian .....	19
D. Manfaat Penelitian .....	22
E. Keaslian Penelitian .....	24
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	25
A. Kaliks[4]arena dan Kegunaannya .....	25

B. Peranan Gugus, Ukuran Cincin, dan Konformasi Kaliksarena	
di dalam Ekstraksi dan Transport Ion .....	27
C. Struktur Konformasi Kaliks[4]arena dan Kompleksnya	
dengan Ion Logam .....	32
1. Konformasi kaliks[4]arena dan metode penentuannya .....	32
2. Struktur kompleks kaliks[4]arena dan faktor-faktor yang mempengaruhi .....	35
D. Sintesis Kaliksarena dan Beberapa Turunannya .....	41
1. Sintesis senyawa induk kaliksarena .....	41
2. Sintesis turunan kaliks[4]arena .....	43
<i>Derivatisasi kaliks[4]arena melalui gugus bawah cincin .....</i>	43
<i>Derivatisasi kaliks[4]arena melalui gugus atas cincin .....</i>	53
<i>Derivatisasi kaliks[4]arena melalui reaksi satu tahap .....</i>	61
E. Beberapa Sifat Logam Berat Cr, Cd, dan Pb .....	64
1. Toksisitas logam berat Cr, Cd, dan Pb .....	65
2. Pengompleksan logam berat Cr, Cd, dan Pb .....	67
3. Spesies kimia $\text{Cr(III)}$ , $\text{Cd(II)}$ dan $\text{Pb(II)}$ .....	69
<i>Spesies kimia Cr(III) .....</i>	69
<i>Spesies kimia Cd(II) .....</i>	70
<i>Spesies kimia Pb(II) .....</i>	70
F. Pemodelan Molekul Kaliksarena .....	71
G. Landasan Teori .....	74
1. Metode sintesis senyawa-senyawa target .....	74

<i>Analisis retro-sintesis dan reaksi sintesis senyawa target 1</i>	74
<i>Analisis retro-sintesis dan reaksi sintesis senyawa target 2</i>	77
<i>Analisis retro-sintesis dan reaksi sintesis senyawa target 3 dan 4</i>	80
<i>Analisis retro-sintesis dan reaksi sintesis senyawa target 5 dan 6</i>	83
<i>Analisis retro-sintesis dan reaksi sintesis senyawa target 7</i>	86
2. Analisis komputasi terhadap kestabilan kompleks turunan kaliks[4]arena dengan ion-ion logam berat	88
3. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan turunannya	96
<i>Distribusi spesies yang dapat terekstraksi</i>	97
<i>Interaksi kimia di dalam fase air</i>	98
<i>Interaksi kimia dalam fase organik</i>	99
H. Hipotesis	109
III. CARA PENELITIAN	115
A. Bahan	115
B. Peralatan	115
C. Prosedur Kerja Sintesis	116
1. Sintesis 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (i)	116
<i>Penyiapan precursor</i>	116
<i>Pirolisis precursor</i>	117
2. Sintesis 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a)	118
3. Sintesis 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksi-	

kaliks[4]arena (1b) .....	119
<i>Metode ipso nitration</i> .....	119
<i>Metode No dan Noh (1986)</i> .....	120
4. Sintesis 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksi-	
kaliks[4]arena (1) .....	120
<i>Metode reduksi dengan SnCl<sub>2</sub>/HCl</i> .....	120
<i>Metode reduksi dengan Zn/Hidrazinium monoformat</i> .....	121
5. Sintesis 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrabutoksi-	
kaliks[4]arena (2a) .....	122
6. Sintesis 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksi-	
kaliks[4]arena (2b) .....	123
7. Sintesis 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksi-	
kaliks[4]arena (2) .....	124
8. Reduksi 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksi-	
kaliks[4]arena (2b) dengan Zn/NH <sub>4</sub> Cl .....	125
9. Sintesis 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-	
tetrabutoksikaliks[4]arena (3) .....	126
<i>Metode refluk</i> .....	126
<i>Metode suhu kamar</i> .....	127
10. Sintesis 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksi-	
kaliks[4]arena (4) .....	128
11. Sintesis 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetilamino)-25,26,27,28-	
tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	129



12. Sintesis 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetilamino)- 25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) .....	130
D. Prosedur Kerja Ekstraksi .....	131
1. Pembuatan larutan ekstraktan .....	131
2. Percobaan ekstraksi dengan variasi pH larutan logam .....	131
3. Percobaan ekstraksi dengan variasi waktu .....	132
4. Percobaan ekstraksi dengan variasi konsentrasi ekstraktan .....	133
E. Analisis Data .....	134
1. Analisis data sintesis .....	134
2. Analisis data ekstraksi .....	135
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	137
A. Sintesis <i>p-t</i> -Butilkaliks[4]arena dan Turunannya .....	137
1. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksi- kaliks[4]arena (i) dan 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	137
2. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra- butoksikaliks[4]arena (2a) .....	155
3. Sintesis 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksi- kaliks[4]arena (2b) .....	168
4. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28- tetrahidroksikaliks[4]arena (1b) .....	176
5. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksi- kaliks[4]arena (1) .....	186
6. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksi-	

kaliks[4]arena (2) .....	192
7. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetra- butoksikaliks[4]arena (3) .....	203
8. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetra- butoksikaliks[4]arena (4) .....	210
9. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetil)amino- 25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	218
10. Sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)- amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) .....	221
<b>B. Penerapan Senyawa <i>p</i>-t-Butilkaliks[4]arena dan Turunannya</b>	
sebagai Ekstraktan Ion-Ion $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	229
1. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -t-butil- kaliks[4]arena (i) .....	231
2. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksi- kaliks[4]arena (1a) .....	238
3. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)- butoksikaliks[4]arena (2) .....	244
4. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p</i> -(asetamido)butoksika- liks[4]arena (3) .....	251
5. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)- butoksikaliks[4]arena (4) .....	258
6. Ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(2-etoksi-2- oksoetilamino)butoksikaliks[4]arena (6) .....	264

7. Pengaruh gugus atas cincin kaliks[4]arena pada kemampuan ekstraksi dan pemisahan terhadap ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$	270
8. Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan turunannya	276
<i>Mekanisme ekstraksi ion <math>\text{Cr}^{3+}</math>, <math>\text{Cd}^{2+}</math>, dan <math>\text{Pb}^{2+}</math> dengan senyawa-senyawa kaliks[4]arena bergugus hidroksil aktif-ionofor</i>	276
<i>Mekanisme ekstraksi ion <math>\text{Cr}^{3+}</math>, <math>\text{Cd}^{2+}</math>, dan <math>\text{Pb}^{2+}</math> dengan senyawa-senyawa kaliks[4]arena bergugus amina dan ester etil aminoasetat aktif-ionofor</i>	280
<i>Mekanisme ekstraksi ion <math>\text{Cr}^{3+}</math>, <math>\text{Cd}^{2+}</math>, dan <math>\text{Pb}^{2+}</math> dengan senyawa-senyawa kaliks[4]arena bergugus amida aktif-ionofor</i>	284
V. KESIMPULAN DAN SARAN	287
A. Kesimpulan	287
B. Saran	294
RINGKASAN	295
SUMMARY	323
DAFTAR PUSTAKA	346
LAMPIRAN	358



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Struktur senyawa <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena atau 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena dalam konformasi <i>cone</i> (sumber: Arnaud-Neu <i>et al.</i> , 1989; McMahon <i>et al.</i> , 2003) .....	3
Gambar 1.2	Struktur senyawa target .....	8
Gambar 1.3	Senyawa-antara di dalam sintesis senyawa target .....	9
Gambar 1.4	<i>p-t</i> -Butilkaliks[4]arena terimmobilisasi (sumber: Katz <i>et al.</i> , 2002) .....	23
Gambar 2.1	Struktur turunan kaliks[4]arena (sumber: Soi <i>et al.</i> , 1998) .....	25
Gambar 2.2	Empat konformasi stabil tetra- <i>O</i> -alkil kaliks[4]arena (sumber: Grootenhuis <i>et al.</i> , 1990; Loon <i>et al.</i> , 1991; Ikeda and Shinkai, 1994; Hoorn <i>et al.</i> , 1998; Veravong <i>et al.</i> , 2000) .....	33
Gambar 2.3	Struktur kompleks konformer-konformer 25,26,27,28-tetrametoksikaliks[4]arena dengan Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ag <sup>+</sup> , dan senyawa amonium (sumber: Ikeda and Shinkai, 1997) .....	37
Gambar 2.4	Struktur kompleks 25,26,27,28-tetrapropoksikaliks[4]arena dengan AgCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> (sumber: Ikeda and Shinkai, 1994) .....	38
Gambar 2.5	Pembentukan kompleks <i>ekso</i> -kaliks dan <i>endo</i> -kaliks dari amina dengan kaliks[4]arena (sumber: Gutsche <i>et al.</i> , 1987) .....	38
Gambar 2.6	Struktur kompleks kaliks[4]arena tetraester dengan ion Na <sup>+</sup> (sumber: Arnaud-Neu <i>et al.</i> , 1989) .....	39
Gambar 2.7	Kompleks Pb <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> dengan konformer 1,3- <i>alternate</i> senyawa 25,27-bis{ <i>N</i> -1-pirenil}aminokarbonilmetoksi}-kaliks[4]-mahkota-5 (sumber: Choi <i>et al.</i> , 2006) .....	41
Gambar 2.8	Reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrametoksikaliks[4]arena (sumber: Gutsche <i>et al.</i> , 1983) .....	44
Gambar 2.9	Reaksi eterifikasi parsial <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (sumber: Iwamoto <i>et al.</i> , 1991) .....	46



Gambar 2.10	Reaksi esterifikasi <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan tetrahidroksikaliks[4]arena (sumber: Gutsche <i>et al.</i> , 1983)	48
Gambar 2.11	Reaksi sintesis turunan tetraester dan tetraketon kaliks[4]arena (Sumber: Arnaud-Neu <i>et al.</i> , 1989) .....	51
Gambar 2.12	Jalur reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,27-dikarboksi-26,28-dimetoksikaliks[4]arena (sumber: Soedarsono <i>et al.</i> , 1993) .....	52
Gambar 2.13	Reaksi <i>retro</i> -Friedel-Crafts de- <i>t</i> -butilasi <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (sumber: Gutsche and Lin, 1986) .....	53
Gambar 2.14	Reaksi konversi gugus alil menjadi gugus formil dan hidroksiimino melalui gugus 1-propenil (sumber : Gutsche <i>et al.</i> , 1985) .....	55
Gambar 2.15	Reaksi sintesis <i>p</i> -{1-(2-aminoetil)amino}etilkaliks[4]arena dan <i>p</i> -{1-(2-aminoetil)tio}etilkaliks[4]arena (sumber: Yordanova <i>et al.</i> , 2006) .....	56
Gambar 2.16	Derivatisasi kaliks[4]arena melalui jalur <i>p</i> -kuinonmetida (sumber: Gutsche and Nam, 1988) .....	57
Gambar 2.17	Reaksi sintesis 5,11,17,23-tetrakis(asetilamino)-25,26,27,28-tetrakis(asetiloksi)kaliks[4]arena (sumber: Morita dan Agawa, 1992) .....	58
Gambar 2.18	Reaksi sintesis <i>p</i> -(nitro)metoksikaliks[4]arena melalui reaksi <i>ipso</i> nitrasi (sumber: Verboom <i>et al.</i> (1992) .....	60
Gambar 2.19	Reaksi sintesis 5,11,17,23-tetrakis-(1,1,3,3)-tetrametilbutil)-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (sumber: Ohto <i>et al.</i> , 1995) .....	62
Gambar 2.20	Reaksi sintesis senyawa kaliks[4]resorsinarena (sumber: Dahlan and Biali, 1989) .....	62
Gambar 2.21	Reaksi kondensasi sintesis 4,10,16,22-tetrametoksi-6,12,18,24,25,26,27,28-oktametilkaliks[4]arena (sumber: Wu dan Speas (1987) .....	63
Gambar 2.22	Reaksi sintesis C-metil-4,10,16,22-tetrametoksi-kaliks[4]arena (sumber: Jumina <i>et al.</i> (2005) .....	64
Gambar 2.23	Analisis <i>retro</i> -sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) .....	75

Gambar 2.24	Reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) .....	77
Gambar 2.25	Hasil analisis <i>retro</i> -sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) .....	78
Gambar 2.26	Reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) .....	80
Gambar 2.27	Analisis <i>retro</i> -sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (3) dan 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) ..	81
Gambar 2.28	Reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) dan 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) ..	83
Gambar 2.29	Analisis <i>retro</i> -sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetilamino)-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) dan 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetilamino)-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) .....	84
Gambar 2.30	Reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetilamino)-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) dan 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetilamino)-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) .....	86
Gambar 2.31	Analisis <i>retro</i> -sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrahidroksiamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (7) .....	87
Gambar 2.32	Reaksi sintesis 5,11,17,23-tetrahidroksiamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena .....	87
Gambar 2.33	Isomer-isomer konformasi <i>partial cone</i> senyawa 2 .....	90
Gambar 2.34	Isomer-isomer konformasi <i>partial cone</i> paling stabil senyawa 3, 4, 5, dan 6 .....	91
Gambar 2.35	Isomer konformasi <i>partial cone</i> paling stabil dari senyawa 7 .....	92
Gambar 2.36	Energi kestabilan kompleksnya senyawa <b>i</b> , <b>1a</b> , dan <b>1-7</b> dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	94
Gambar 2.37	Hipotesis mekanisme ekstraksi ion logam berat dengan senyawa kaliks[4]arena bergugus hidroksil dan asam aminoasetat sebagai gugus aktif-ionofor .....	113



Gambar 2.38	Hipotesis mekanisme ekstraksi ion logam berat dengan senyawa kaliks[4]arena bergugus amina dan ester etil aminoasetat sebagai gugus aktif-ionofor .....	113
Gambar 2.39	Hipotesis mekanisme ekstraksi ion logam berat dengan senyawa kaliks[4]arena bergugus amida sebagai gugus aktif-ionofor .....	114
Gambar 4.1	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -Butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) .....	137
Gambar 4.2	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) .....	139
Gambar 4.3	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) daerah metilen jembatan .....	140
Gambar 4.4	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) .....	141
Gambar 4.5	Struktur konformer <i>cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) .....	142
Gambar 4.6	Mekanisme reaksi pembentukan oktamer linear <i>p-t</i> -butil-fenol dengan formaldehida (sumber: Gutsche, 1998 <sup>a</sup> ) .....	143
Gambar 4.7	Mekanisme reaksi siklisasi oktamer linear produk kondensasi <i>p-t</i> -butilfenol dengan formaldehida (sumber: Gutsche, 1998 <sup>a</sup> ) .....	144
Gambar 4.8	Mekanisme transformasi <i>p-t</i> -butilikaliks[8]arena menjadi <i>p-t</i> -butilikaliks[4]arena (sumber: Gutsche, 1998 <sup>a</sup> ) .....	145
Gambar 4.9	Spektrum IR senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1a) .....	146
Gambar 4.10	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1a) .....	148
Gambar 4.11	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) daerah pegeseran kimia proton gugus aril dan metilen-jembatan .....	149
Gambar 4.12	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1a) .....	150

Gambar 4.13	Spektrum massa senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	151
Gambar 4.14	Mekanisme fragmentasi 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	152
Gambar 4.15	Mekanisme fragmentasi pelepasan air senyawa dari 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	153
Gambar 4.16	Struktur konformer <i>cone</i> senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	154
Gambar 4.17	Mekanisme reaksi de- <i>t</i> -butilasi senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	154
Gambar 4.18	Spektrum IR senyawa 1-bromobutana .....	155
Gambar 4.19	Spektrum IR produk eterifikasi parsial senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena .....	157
Gambar 4.20	Spektrum IR 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) .....	158
Gambar 4.21	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) .....	159
Gambar 4.22	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) .....	161
Gambar 4.23	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) daerah pergeseran kimia proton metilen .....	163
Gambar 4.24	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) daerah pergeseran kimia proton aril .....	163
Gambar 4.25	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetra-butoksikaliks[4]arena (2a) daerah pergeseran kimia proton gugus butoksi .....	164
Gambar 4.26	Ikatan hidrogen intra-molekul senyawa <i>p-t</i> -butil-kaliks[4]arena (i) .....	165



Gambar 4.27	Struktur konformer <i>partial cone</i> senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2a</b> ) .....	166
Gambar 4.28	Mekanisme reaksi sintesis senyawa 5,11,17,13-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2a</b> ) .....	167
Gambar 4.29	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ), pelet KBr .....	169
Gambar 4.30	Struktur konformer <i>partial cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) .....	170
Gambar 4.31	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) daerah pergeseran proton gugus butoksi .....	171
Gambar 4.32	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) daerah pergeseran proton metilen jembatan .....	172
Gambar 4.33	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) daerah pergeseran proton aril .....	173
Gambar 4.34	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) .....	175
Gambar 4.35	Mekanisme reaksi <i>ipso</i> nitration sintesis senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ( <b>2b</b> ) .....	176
Gambar 4.36	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>1b</b> ) .....	177
Gambar 4.37	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>1b</b> ) .....	179
Gambar 4.38	Struktur konformer <i>cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>1b</b> ) .....	179
Gambar 4.39	Mekanisme reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>1b</b> ) .....	180
Gambar 4.40	Spektrum IR produk reaksi <i>ipso</i> nitration 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>i</b> ) .....	181
Gambar 4.41	Mekanisme reaksi <i>ipso</i> nitration dan esterifikasi 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>i</b> ) .....	183

Gambar 4.42	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR produk reaksi <i>ipso</i> nitrasi senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (i) daerah pergeseran kimia proton butil .....	184
Gambar 4.43	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR produk reaksi <i>ipso</i> nitrasi senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (i) daerah pergeseran kimia proton aril dan amina .....	185
Gambar 4.44	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) produk reduksi senyawa <b>1b</b> dengan SnCl <sub>2</sub> /HCl .....	187
Gambar 4.45	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1) produk reaksi dengan hidrazin-monoformat .....	188
Gambar 4.46	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) daerah pergeseran kimia proton gugus aril .....	189
Gambar 4.47	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) daerah pergeseran kimia proton gugus hidroksil dan amino .....	190
Gambar 4.48	Struktur senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1) .....	191
Gambar 4.49	Mekanisme reaksi reduksi senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena ( <b>1b</b> ) dengan Zn/hidrazinium-monoformat .....	191
Gambar 4.50	Spektra IR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-butoksikaliks[4]arena (2) .....	193
Gambar 4.51	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) daerah pergeseran kimia proton gugus metilen-jembatan dan gugus aril .....	194
Gambar 4.52	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) daerah pergeseran proton gugus butoksi .....	196
Gambar 4.53	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) .....	197



Gambar 4.54	Struktur konformer <i>partial cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) .....	198
Gambar 4.55	Mekanisme reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2) .....	198
Gambar 4.56	Spektrum IR senyawa produk reduksi senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (2b) dengan Zn/NH <sub>4</sub> Cl .....	199
Gambar 4.57	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR produk reduksi <i>p</i> -(nitro)butoksikaliks[4]arena (2b) dengan Zn/NH <sub>4</sub> Cl .....	200
Gambar 4.58	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR produk reduksi senyawa <i>p</i> -(nitro)-butoksikaliks[4]arena (2b) dengan Zn/NH <sub>4</sub> Cl daerah pergeseran kimia proton gugus aril dan amina .....	201
Gambar 4.59	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR produk reduksi <i>p</i> -(nitro)butoksikaliks[4]arena (2b) dengan Zn/NH <sub>4</sub> Cl daerah pergeseran kimia karbon gugus aril .....	202
Gambar 4.60	Spektra IR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) .....	204
Gambar 4.61	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) daerah pergeseran kimia δ 2,20-0,65 ppm .....	206
Gambar 4.62	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) daerah pergeseran kimia proton metilen .....	207
Gambar 4.63	Spektrum <sup>1</sup> H-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) daerah pergeseran kimia δ 10,00-6,30 ppm .....	208
Gambar 4.64	Spektrum <sup>13</sup> C-NMR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (3) .....	209
Gambar 4.65	Struktur konformer <i>partial cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-butoksikaliks[4]arena (3) .....	210
Gambar 4.66	Mekanisme reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-butoksikaliks[4]arena (3) .....	210
Gambar 4.67	Spektra IR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) .....	211

Gambar 4.68	Spektrum $^1\text{H}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) daerah pergeseran kimia proton aril .....	213
Gambar 4.69	Spektrum $^1\text{H}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) daerah pergeseran kimia proton metilen-jembatan .....	214
Gambar 4.70	Spektrum $^1\text{H}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) daerah pergeseran kimia proton gugus butoksi .....	215
Gambar 4.71	Spektrum $^{13}\text{C}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) .....	216
Gambar 4.72	Struktur konformer <i>partial cone</i> senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (4) ..	217
Gambar 4.73	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetil)-amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	218
Gambar 4.74	Struktur senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	220
Gambar 4.75	Mekanisme reaksi sintesis senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	220
Gambar 4.76	Spektrum IR senyawa etil kloroasetat .....	222
Gambar 4.77	Spektrum $^1\text{H}$ -NMR senyawa etil kloroasetat .....	223
Gambar 4.78	Spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena .....	224
Gambar 4.79	Struktur senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) ..	226
Gambar 4.80	Spektrum $^1\text{H}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ..	227
Gambar 4.81	Spektrum $^{13}\text{C}$ -NMR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena ..	228
Gambar 4.82	Hubungan antara $\text{pH}_{\text{awal}}$ dengan persentase ekstraksi di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilikaliks[4]arena (i) .....	233



Gambar 4.83	Hubungan antara waktu dengan persentase ekstraksi di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) .....	234
Gambar 4.84	Hubungan antara $\log D/[\Phi^{t\text{-Bu}}(\text{OH})_4]_{\text{org}}$ dengan $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi di dalam ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) .....	234
Gambar 4.85	Pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	236
Gambar 4.86	Hubungan antara $\log [\Phi^{t\text{-Bu}}(\text{OH})_4]_{\text{org}}$ dengan $\log D - n\text{pH}_{\text{akhir}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	237
Gambar 4.87	Pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	239
Gambar 4.88	Hubungan antara $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi dengan $\log D/[\Phi^{\text{H}}(\text{OH})_4]_{\text{org}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	239
Gambar 4.89	Pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	241
Gambar 4.90	Pengaruh konsentrasi ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) di dalam ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ .....	242
Gambar 4.91	Hubungan antara $\log [\Phi^{\text{H}}(\text{OH})_4]_{\text{org}}$ dengan $\log D - n\text{pH}_{\text{akhir}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	243
Gambar 4.92	Pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (2) .....	246
Gambar 4.93	Hubungan antara $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi dengan $\log D/[\Phi_{\text{BuO}}(\text{NH}_2)_4]_{\text{org}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ ...	246
Gambar 4.94	Pengaruh waktu pada ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (2) .....	248
Gambar 4.95	Pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(amino)butoksi-kaliks[4]arena (2) pada ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ .....	250
Gambar 4.96	Hubungan antara $\log [\Phi_{\text{BuO}}(\text{NH}_2)_4]_{\text{org}}$ dengan $\log D - (z-n)\text{pH}_{\text{akhir}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	250
Gambar 4.97	Pengaruh pH pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena (3) .....	252

Gambar 4.98	Hubungan antara $\log D/[\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAc})_4]_{\text{org}}$ dengan $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi .....	253
Gambar 4.99	Pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena (3) ...	254
Gambar 4.100	Pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksi-kaliks[4]arena (3) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ ...	255
Gambar 4.101	Hubungan antara $\log D - (z-n)\text{pH}_{\text{akhir}}$ dengan $\log [\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAc})_4]_{\text{org}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ ...	256
Gambar 4.102	Pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4) .....	259
Gambar 4.103	Hubungan antara $\log D/[\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHBz})_4]_{\text{org}}$ dengan $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	259
Gambar 4.104	Pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4) .....	260
Gambar 4.105	Pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksi-kaliks[4]arena (4) di dalam ekstraksi $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , dan $\text{Cr}^{3+}$ ...	261
Gambar 4.106	Hubungan antara $\log D - (z-n)\text{pH}_{\text{akhir}}$ dengan $\log [\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHBz})_4]_{\text{org}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ ...	263
Gambar 4.107	Pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksi-kaliks[4]arena (6) .....	264
Gambar 4.108	Pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (6) .....	266
Gambar 4.109	Pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetil-amino)butoksikaliks[4]arena (6) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	268
Gambar 4.110	Hubungan antara $\log D/[\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAcO}_2\text{Et})_4]_{\text{org}}$ dengan $\text{pH}_{\text{akhir}}$ ekstraksi di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	269
Gambar 4.111	Hubungan antara $\log [\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAcO}_2\text{Et})_4]_{\text{org}}$ dengan $\log D - (z-n)\text{pH}_{\text{akhir}}$ di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	270
Gambar 4.112	Profil ekstraktabilitas <i>p</i> - <i>t</i> -butilkaliks[4]arena dan turunannya terhadap ion logam berat $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	274



Gambar 4.113	Mekanisme ekstraksi ion logam Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan tetrahidroksikaliks[4]arena ( $\Phi(\text{OH})_4$ )	278
Gambar 4.114	Mekanisme ekstraksi ion logam Cr <sup>3+</sup> dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena atau tetrahidroksikaliks[4]arena ( $\Phi(\text{OH})_4$ ) ...	278
Gambar 4.115	Model interaksi <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan tetrahidroksikaliks[4]arena dengan ion logam Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (a) serta Cr <sup>3+</sup> (b) di dalam spesies senyawa kompleks terekstraksi ...	279
Gambar 4.116	Mekanisme ekstraksi ion logam Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (M = logam) dengan turunan amina dan ester etil aminoasetat kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , R' = H atau CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> Et) .....	281
Gambar 4.117	Mekanisme ekstraksi ion logam Cr <sup>3+</sup> dengan turunan amina dan ester etil aminoasetat kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , R' = H atau CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> Et) .....	281
Gambar 4.118	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (a) dan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (b) dengan ion logam Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (M = Cd atau Pb) .....	282
Gambar 4.119	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (a) dan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (b) dengan ion logam Cr <sup>3+</sup> .....	283
Gambar 4.120	Mekanisme ekstraksi ion logam Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (M = logam) dengan turunan amida kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , R' = Me atau Ph) .....	285
Gambar 4.121	Mekanisme ekstraksi ion logam Cr <sup>3+</sup> dengan turunan amida kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , R' = Me atau Ph) .....	285
Gambar 4.122	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena dan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena dengan ion Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (a) serta Cr <sup>3+</sup> (b) .....	286
Gambar 4.123	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena dengan ion Cd <sup>2+</sup> dan Pb <sup>2+</sup> (a) serta Cr <sup>3+</sup> (b) .....	286
Gambar R.1	Struktur senyawa <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena atau 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena dalam konformasi <i>cone</i> (sumber: Arnaud-Neu <i>et al.</i> , 1989; McMahon <i>et al.</i> , 2003) .....	294
Gambar R.2	Struktur senyawa target .....	298

Gambar R.3	Senyawa-antara di dalam sintesis senyawa target .....	299
Gambar R.4	Profil kemampuan ekstraksi senyawa <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan turunannya terhadap ion-ion logam berat $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	308
Gambar R.5	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena atau tetrahidroksikaliks[4]arena ( $\Phi(\text{OH})_4$ ), $\text{M} = \text{Cd}$ atau $\text{Pb}$ .....	313
Gambar R.6	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ dengan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena atau tetrahidroksikaliks[4]arena ( $\Phi(\text{OH})_4$ ) .....	313
Gambar R.7	Model interaksi <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena dan tetrahidroksikaliks[4]arena dengan ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ (a) serta $\text{Cr}^{3+}$ (b) di dalam spesies senyawa kompleks terekstraksi ....	314
Gambar R.8	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ dengan turunan amina dan ester etil aminoasetat kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , $\text{R}' = \text{H}$ atau $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{Et}$ ) .....	316
Gambar R.9	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ ( $\text{M} = \text{logam}$ ) dengan turunan amina dan ester etil aminoasetat kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , $\text{R}' = \text{H}$ atau $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{Et}$ ) .....	316
Gambar R.10	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (a) dan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (b) dengan ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ ( $\text{M} = \text{Cd}$ atau $\text{Pb}$ ) .....	317
Gambar R.11	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (a) dan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (b) dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ .....	318
Gambar R.12	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ ( $\text{M} = \text{logam}$ ) dengan turunan amida kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , $\text{R}' = \text{Me}$ atau $\text{Ph}$ ) .....	320
Gambar R.13	Mekanisme ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ dengan turunan amida kaliks[4]arena ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , $\text{R}' = \text{Me}$ atau $\text{Ph}$ ) .....	320
Gambar R.14	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena dan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena dengan ion $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ (a) serta $\text{Cr}^{3+}$ (b) .....	321
Gambar R.15	Model interaksi senyawa <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena dengan ion logam $\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{Pb}^{2+}$ (a) serta $\text{Cr}^{3+}$ (b) ...	321



Figure S.1	Structure of <i>p</i> - <i>tert</i> -butylcalix[4]arene (5,11,17,23-tetra- <i>tert</i> -butyl-25,26,27,28-tetrahydroxycalix[4]arene) in cone conformation (references: Arnaud-Neu <i>et al.</i> , 1989; McMahon <i>et al.</i> , 2003) .....	323
Figure S.2	The structures of target compounds .....	326
Figure S.3	The structures of intermediate-compounds .....	327
Figure S.4	Extractability profile of compounds <b>i</b> , <b>1a</b> , <b>2</b> , <b>3</b> , <b>4</b> , and <b>6</b> to $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , and $\text{Pb}^{2+}$ ions .....	335
Figure S.5	Extraction mechanism of $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions with <i>p</i> - <i>tert</i> -butylcalix[4]arene and tetrahydroxycalix[4]arene ( $\Phi(\text{OH})_4$ ) .....	338
Figure S.6	Extraction mechanism of $\text{Cr}^{3+}$ ion with <i>p</i> - <i>tert</i> -butylcalix[4]arene and tetrahydroxycalix[4]arene ( $\Phi(\text{OH})_4$ ) .....	338
Figure S.7	Interaction models of <i>p</i> - <i>tert</i> -butylcalix[4]arene and tetrahydroxycalix[4]arene with $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions (a) as well as $\text{Cr}^{3+}$ (b) in the extracted complexes .....	339
Figure S.8	Extraction mechanism of $\text{Cr}^{3+}$ ions with amine and ethyl aminoacetate derivatives of calix[4]arene ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , $\text{R}' = \text{H}$ or $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{Et}$ ) .....	340
Figure S.9	Extraction mechanism of $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions ( $\text{M} = \text{metal}$ ) with amine and ethyl aminoacetate derivatives of calix[4]arene ( $\Phi(\text{NHR}')_4$ , $\text{R}' = \text{H}$ or $\text{CH}_2\text{CO}_2\text{Et}$ ) .....	341
Figure S.10	The interaction models of <i>p</i> -(amino)butoxycalix[4]arene (a) and <i>p</i> -(ethoxycarbonylmethylamino)butoxycalix[4]arene (b) with $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions ( $\text{M} = \text{Cd}$ and $\text{Pb}$ ) .....	342
Figure S.11	The interaction models of <i>p</i> -(amino)butoxycalix[4]arene (a) and <i>p</i> -(ethoxy-carbonylmethylamino)butoxycalix[4]arene (b) with $\text{Cr}^{3+}$ ion .....	342
Figure S.12	Extraction mechanism of $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions ( $\text{M}$ : metal) with amide derivatives of calix[4]arene ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , $\text{R}' = \text{Me}$ or $\text{Ph}$ ) .....	344
Figure S.13	Extraction mechanism of $\text{Cr}^{3+}$ ion with amide derivatives of calix[4]arene ( $\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$ , $\text{R}' = \text{Me}$ or $\text{Ph}$ ) .....	344
Figure S.14	Interaction models of <i>p</i> -(acetamido)butoxycalix[4]arene and <i>p</i> -(benzamido)butoxycalix[4]arene with $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions (a) as well as $\text{Cr}^{3+}$ ion (b) .....	345
Figure S.15	Interaction models of <i>p</i> -(benzamido)butoxycalix[4]arene with $\text{Cd}^{2+}$ and $\text{Pb}^{2+}$ ions (a) as well as $\text{Cr}^{3+}$ ion (b) .....	345

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pola spektrum <sup>1</sup> H-NMR dan <sup>13</sup> C-NMR konformer-konformer <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena .....	35
Tabel 2.2	Beberapa sifat umum logam berat Cr, Cd, dan Pb .....	68
Tabel 2.3	Ukuran rongga posisi aktif-ionofor konformer paling stabil senyawa-senyawa target .....	93
Tabel 2.4	Hasil perhitungan energi kestabilan kompleks ion logam Cr <sup>3+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , dan Pb <sup>2+</sup> dengan <i>p-t</i> -kaliks[4]arena dan turunannya (kkal/mol) menggunakan metode semi-empiris PM3 program hyperchem v.7.0 .....	94
Tabel 2.5	Jangkauan kerja metode spektroskopi serapan atom untuk logam Cr, Cd, dan Pb .....	108
Tabel 4.1	Pita-pita bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (i) .....	138
Tabel 4.2	Pita-pita bermakna spektrum IR senyawa 25,26,27,28-tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	147
Tabel 4.3	Pita-pita bermakna di dalam spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetra- <i>t</i> -butil-25,26,27,28-tetrabutoksi-kaliks[4]arena (2a) .....	159
Tabel 4.4	Pita-pita bermakna di dalam spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrabutoksi-kaliks[4]arena (2b) .....	170
Tabel 4.5	Pita-pita bermakna di dalam spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetranitro-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1b) .....	178
Tabel 4.6	Pita-pita bermakna di dalam spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1) .....	189
Tabel 4.7	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetraamino-25,26,27,28-butoksikaliks[4]arena (2) .....	194
Tabel 4.8	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetraasetamido-25,26,27,28-tetrabutoksi-kaliks[4]arena (3) .....	205



Tabel 4.9	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetrabenzamido-25,26,27,28-butoksikaliks[4]arena (4) .....	212
Tabel 4.10	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(karboksimetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (5) .....	219
Tabel 4.11	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa etil kloroasetat .....	222
Tabel 4.12	Pita-pita serapan bermakna spektrum IR senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetil)amino-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) .....	225
Tabel 4.13	Data pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) .....	232
Tabel 4.14	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) .....	233
Tabel 4.15	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]-arena (i) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	235
Tabel 4.16	Karakter ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) .....	237
Tabel 4.17	Data pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	238
Tabel 4.18	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) ...	241
Tabel 4.19	Pengaruh konsentrasi ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	242
Tabel 4.20	Karakter ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) .....	244
Tabel 4.21	Data pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (2) ....	245
Tabel 4.22	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena (2) .....	247

Tabel 4.23	Data pengaruh konsentrasi <i>p</i> -(amino)butoksi-kaliks[4]arena (2) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$	248
Tabel 4.24	Karakter ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p</i> -(amino)-butoksikaliks[4]arena (2)	251
Tabel 4.25	Data pengaruh pH pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena (3)	252
Tabel 4.26	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksi-kaliks[4]arena (3)	254
Tabel 4.27	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)-butoksikaliks[4]arena (3) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$	257
Tabel 4.28	Karakter ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena (3)	257
Tabel 4.29	Data pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4)	258
Tabel 4.30	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksi-kaliks[4]arena (4)	260
Tabel 4.31	Data pengaruh konsentrasi <i>p</i> -(benzamido)butoksi-kaliks[4]arena (4) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$	262
Tabel 4.32	Karakter ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4)	263
Tabel 4.33	Data pengaruh pH di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksi-kaliks[4]arena (6)	265
Tabel 4.34	Data pengaruh waktu di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)-butoksikaliks[4]arena (6)	266
Tabel 4.35	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (6) di dalam ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$	267
Tabel 4.36	Ciri khas ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (6)	270





Tabel R.1	Nama senyawa-senyawa target .....	298
Tabel R.2	Nama sistematik dan nama umum senyawa-antara .....	299
Table S.1	<i>The sistematic and common names of synthesis target compounds</i> .....	326
Table S.2	<i>The sistematic and common names of intermediate-compounds</i> .....	327

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Data pengaruh pH pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i), $\Phi^{\text{t-Bu}}(\text{OH})_4$ .....	358
LAMPIRAN 2	Data pengaruh waktu pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i), $\Phi^{\text{t-Bu}}(\text{OH})_4$ .....	361
LAMPIRAN 3	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena (i) pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	364
LAMPIRAN 4	Data pengaruh pH pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a), $\Phi^{\text{H}}(\text{OH})_4$ .....	367
LAMPIRAN 5	Data pengaruh waktu pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]-arena (1a), $\Phi^{\text{H}}(\text{OH})_4$ .....	370
LAMPIRAN 6	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan tetrahidroksikaliks[4]arena (1a) pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	373
LAMPIRAN 7	Data pengaruh pH pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)butoksi-kaliks[4]arena (2), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NH}_2)_4$ .....	376
LAMPIRAN 8	Data pengaruh waktu pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(amino)-butoksikaliks[4]arena (2), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NH}_2)_4$ .....	379
LAMPIRAN 9	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(amino)-butoksikaliks[4]arena (2) pada ekstraksi $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	382
LAMPIRAN 10	Data pengaruh pH pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)-butoksikaliks[4]arena (3), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAc})_4$ .....	385
LAMPIRAN 11	Data pengaruh waktu pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)-butoksikaliks[4]arena (3), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAc})_4$ .....	388

LAMPIRAN 12	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(asetamido)-butoksikaliks[4]arena (3) pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	391
LAMPIRAN 13	Data pengaruh pH pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHBz})_4$ .....	394
LAMPIRAN 14	Data pengaruh waktu pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena (4), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHBz})_4$ .....	397
LAMPIRAN 15	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(benzamido)-butoksikaliks[4]arena (4) pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ .....	400
LAMPIRAN 16	Data pengaruh pH pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetil-amino)butoksikaliks[4]arena (6), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAcO}_2\text{Et})_4$ .....	403
LAMPIRAN 17	Data pengaruh waktu pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ dengan ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetil-amino)butoksikaliks[4]arena (6), $\Phi_{\text{BuO}}(\text{NHAcO}_2\text{Et})_4$ .....	406
LAMPIRAN 18	Data pengaruh konsentrasi ekstraktan <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (6) pada ekstraksi ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ .....	409
LAMPIRAN 19	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> - <i>t</i> -butil-kaliks[4]arena (i) dan kompleksnya dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	412
LAMPIRAN 20	Data hasil komputasi energi senyawa tetrahidroksi-kaliks[4]arena (1a) dan kompleks dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	413
LAMPIRAN 21	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -amino-kaliks[4]arena (2) dan kompleksnya dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	414
LAMPIRAN 22	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(amino)-butoksikaliks[4]arena (2) dan kompleksnya dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	415
LAMPIRAN 23	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(asetamido)-butoksikaliks[4]arena (3) dan kompleksnya dengan ion logam $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , dan $\text{Pb}^{2+}$ .....	416



LAMPIRAN 24	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(benzamido)-butoksikaliks[4]arena (4) dan kompleksnya dengan ion logam Cr <sup>3+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , dan Pb <sup>2+</sup> .....	417
LAMPIRAN 25	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(karboksi-metilamino)butoksikaliks[4]arena (5) dan kompleksnya dengan ion logam Cr <sup>3+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , dan Pb <sup>2+</sup> .....	418
LAMPIRAN 26	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(etoksi-karbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena (6) dan kompleksnya dengan ion logam Cr <sup>3+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , dan Pb <sup>2+</sup> .....	419
LAMPIRAN 27	Data hasil komputasi energi senyawa <i>p</i> -(hidroksil-amino)butoksikaliks[4]arena (7) dan kompleksnya dengan ion logam Cr <sup>3+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , dan Pb <sup>2+</sup> .....	420
LAMPIRAN 28	Penggolongan asam keras dan asam lunak .....	421
LAMPIRAN 29	Energi hidrasi kation-kation logam .....	422
LAMPIRAN 30	Grafik kelarutan hidroksida logam sebagai fungsi pH .....	423
LAMPIRAN 31	Kondisi Analisis .....	424
LAMPIRAN 32	Posisi Pergeseran (δ) <sup>1</sup> H-NMR Senyawa 5,11,17,23-tetrakis(2'-etoksi-2'-oksoetilamino)-25,26,27,28-tetrabutoksikaliks[4]arena (6) Hasil Perhitungan dengan Program ChemDraw Ultra 8.0 .....	425
LAMPIRAN 33	Hubungan antara jenis spesies logam Cr(III), Cd(II), dan Pb(II) dengan pH .....	426

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti
%E	Persentase ekstraksi
[ $\Phi_{BuO}(NH_2)_4$ ]	Konsentrasi <i>p</i> -(amino)butoksikaliks[4]arena
[ $\Phi_{BuO}(NHAc)_4$ ]	Konsentrasi <i>p</i> -(asetamido)butoksikaliks[4]arena
[ $\Phi_{BuO}(NHAcO_2Et)_4$ ]	Konsentrasi <i>p</i> -(etoksikarbonilmetilamino)butoksikaliks[4]arena
[ $\Phi_{BuO}(NHBz)_4$ ]	Konsentrasi <i>p</i> -(benzamido)butoksikaliks[4]arena
[ $\Phi^H(OH)_4$ ]	Konsentrasi tetrahidroksikaliks[4]arena
[ $\Phi^{t-Bu}(OH)_4$ ]	Konsentrasi <i>p-t</i> -butilkaliks[4]arena
<sup>13</sup> C-NMR	Resonansi magnetik inti karbon-13
<sup>1</sup> H-NMR	Resonansi magnetik inti proton
AAS	Spektroskopi serapan atom
Ac	Gugus asetil
Bu <sup>t</sup>	Gugus <i>t</i> -Butil
Bz	Gugus benzoil
cm <sup>-1</sup>	Per sentimeter
<i>D</i>	Koefisien distribusi
DMF	Dimetilformamida
DMSO	Dimetil sulfoksida
<i>E<sub>f</sub></i>	Energi pembentukan
<i>E<sub>stb</sub></i>	Energi kestabilan
Et	Gugus etil
<i>et al.</i>	<i>et alii, et alia</i> (dan kawan-kawan)
Hal.	Halaman
HPLC	Kromatografi cair kinerja tinggi
Hz	Hertz
i.e.	<i>id est</i>
IR	Inframerah
<i>J</i>	Tetapan penggabungan
<i>K<sub>D</sub></i>	Tetapan distribusi

$K_{DC}$	Tetapan distribusi kompleks
$K_{DL}$	Tetapan distribusi ligan
$K_{eks}$	Tetapan kesetimbangan ekstraksi
$K_f$	Tetapan pembentukan kompleks
$K_h$	Tetapan hidrolisis
KLT	Kromatografi lapis tipis
log	Logaritme dasar sepuluh
M	Molaritas
m.p.	<i>Melting point</i>
m/z	Massa/muatan
Me	Gugus metil
mL	Mili liter
mmol	Mili mol
MS	Spektroskopi massa
°C	Derajat Celsius
p.a.	Pro-analisis
pH	Derajat keasaman
Ph	Gugus fenil
ppm	<i>Part per million</i> (Seper sejuta)
r.t.	<i>Room temperature</i>
$R_f$	<i>Retardation force</i> (Kekuatan penghambatan)
$s, d, t$ , dan $m$	<i>Singlet, doublet, triplet, dan multiplet</i>
t.l.	Titik leleh
TCL	<i>Thin layer chromatography</i>
THF	Tetrahidrofur
UV	Ultra-violet
$\beta$	Faktor pemisahan
$\delta$	Pergeseran kimia
$\Phi$	Sistem kaliks[4]arena
$\Phi(\text{NHCR}'\text{O})_4$	Kaliks[4]arena dengan gugus amida aktif-ionofor
$\Phi(\text{NHR})_4$	Kaliks[4]arena dengan gugus amina aktif-ionofor
$\Phi(\text{OH})_4$	Kaliks[4]arena dengan gugus hidroksil aktif-ionofor