

SINTESIS C-4-KARBOKSIFENIL-KALIKS[4]RESORSINARENA DAN STUDI ADSORPSINYA TERHADAP ION LOGAM Ag[I]

Suryadi Budi Utomo* dan Anggun Yusnia Sari

Program Studi Pendidikan Kimia, FKIP, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126, Indonesia

* Untuk korespondensi: e-mail: sbukim98@yahoo.com atau sbukim98@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat senyawa C-4-karboksifenil-kaliks[4]resorsinarena dari p-metoksibenzaldehida dan asam 2,6-dihidroksibenzoat. Produk reaksi yang dihasilkan selanjutnya diuji sebagai molekul *host* bagi ion logam Ag(I) pada berbagai variasi konsentrasi logam 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa C-4-karboksifenil-kaliks[4]resorsinarena dapat dibuat dengan bantuan katalis HCl pada pelarut etanol melalui proses refluks selama 3 jam. Rendemen produk yang diperoleh sebanyak 87,65% berupa kristal krem dengan TL 330 °C. Karakterisasi produk terkonfirmasi dengan spektra FTIR, ¹H-NMR dan ¹³C-NMR. Produk senyawa target dapat digunakan sebagai *host* bagi ion logam Ag⁺ dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 38,0494 mg/g dan energi adsorpsi sebesar -26,7481 kJ/mol. Jenis isoterm yang terjadi adalah isoterm adsorpsi Langmuir dengan tingkat linieritas (R²) sebesar 0,9332. Mekanisme pengkelatan terjadi secara kimia (*chemisorption*), dimana terdapat ikatan yang kuat antara ion Ag⁺ dengan gugus aktif diluar rongga (eksokaliks).

Kata kunci: C-4-karboksifenil-kaliks[4]resorsinarena, 2,6-dihidroksibenzoat, *host*, Ag⁺,
eksokaliks

PENDAHULUAN

Makromolekul siklis kaliks[4]resorsinarena telah banyak dikembangkan disebabkan oleh kegunaannya yang luas di berbagai bidang (Suharso dkk., 2014; Ngurah dkk., 2017; Sayekti dkk., 2016; Utomo dkk., 2018). Kaliksresorsinarena merupakan senyawa oligomer siklis yang tersusun atas satuan-satuan cincin aromatis yang dihubungkan oleh suatu jembatan metilen dan mempunyai geometri berongga. Senyawa ini memiliki geometri molekul yang unik, yaitu berongga pada bagian pusatnya dan dapat berbentuk seperti mangkuk atau keranjang sehingga mempunyai beberapa sisi aktif yang tersusun seperti mahkota atau vas

bunga yang dapat digunakan sebagai molekul *host* untuk kation, anion dan molekul organik netral lainnya. yang bertindak sebagai *guest* (Utomo dkk., 2012)

Senyawa kaliks[4]resorsinarena telah dapat disintesis dari reaksi antara aldehida dengan resorsinol. Berbagai bahan dasar senyawa aldehida telah dilaporkan antara lain aldehida aromatis seperti 4-metoksibenzaldehida (Utomo dkk. 2011), 4-allyloxy-3-methoxy benzaldehyde (Santoso dkk., 2018), 4-hydroxybenzaldehyde (Jumina dkk., 2019) dan lain sebagainya. Untuk reagen aldehida non aromatis juga sudah digunakan seperti dodekanaldehida

(Utomo dkk., 2019). Selain itu beberapa aldehid alifatik yang telah digunakan diantaranya etanal, propanal, butanal, isopentanal, 3-fenilpropanal, 5-hidroksipentanal, 6-kloroheptanal, 4-metilbenzaldehida, 4-etilbenzaldehida, dan 4-metoksibenzaldehida. Selain resorsinol, senyawa 2-metilresorsinol dan 2-bromoresorsinol telah pula digunakan untuk menghasilkan kaliksresorsinarena terkait. Begitu pula dengan katalis asam yang digunakan, selain katalis asam, HCl, berbagai katalis lain seperti $AlCl_3$, $SnCl_4$, dan asam 4-toluenasulfonat telah terbukti dapat digunakan dalam sintesis untuk menghasilkan kaliks[4]resorsinarena (Yunitasari, 2013)

Kaliks[4]resorsinarena dapat dimodifikasi lebih lanjut untuk menghasilkan senyawa-senyawa baru sesuai dengan keperluan. Modifikasi dapat dilakukan pada bagian cincin atas kaliksarena (upper rim) maupun bagian bawah cincin (lower rim). Sebagai contoh Santoso dkk(2018) telah melakukan modifikasi pada cincin bagian atas menghasilkan kaliks[4]resorsinarena terhibridisasi kitosan. Kaliksarena tersebut disintesis dari bahan dasar vanilin dan resorsinol. Namun demikian, proses modifikasi tersebut berlangsung dalam 4 tahap reaksi. Tim peneliti kami dalam beberapa tahun terakhir juga telah melakukan modifikasi pada cincin kaliks[4]resorsinarena baik dengan gugus tiometil (Utomo 2011) maupun ammonium kuartener (Utomo 2013; 2016). Namun juga masih harus melibatkan beberapa langkah reaksi. Oleh karena itu perlu dilakukan sintesis kaliks[4]resorsinarena termodifikasi

dengan meminimalkan tahapan reaksinya. Dalam publikasi ini kami akan memaparkan sintesis senyawa C-4-metoksifenilkaliks[4]resorsinarena termodifikasi gugus karboksil hanya dalam satu tahap reaksi.

Senyawa produk yang disintesis diduga mempunyai kemampuan sebagai host bagi kation logam, dikarenakan strukturnya yang berongga dan memiliki beberapa situs aktif seperti hidroksi, metoksi, dan karboksi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi neraca, seperangkat alat refluks, oven, evaporator buchi dan peralatan gelas lainnya. Peralatan utama antara lain spektrofotometer FT-IR, NMR, dan AAS. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi p-anisaldehida, asam 2,6-dihidroksibenzoat, etanol absolut, HCl 37%, metanol, n-heksana, sodium hidroksida, diklorometana, DMSO, asam nitrat, perak nitrat dan akuades.

Prosedur Kerja

a. Sintesis C-4-karboksimetoksifenilkaliks[4]resorsinarena

Asam 2,6-dihidroksibenzoat sebanyak 1,54 g (10 mmol) dilarutkan ke dalam 100 mL etanol absolut disertai dengan pengadukan di dalam labu alas bulat leher 2. Setelah padatan larut sempurna ditambahkan ke dalamnya 1,215 mL (10 mmol) p-anisaldehida sedikit demi sedikit. Campuran diaduk terus menerus dan ditambahkan 3 mL HCL pekat. Selanjutnya direfluks selama 24 jam untuk mendapatkan produk yang optimal.

Campuran kemudian didinginkan dan pelarut dievaporasi. Residu yang diperoleh dimurnikan dengan campuran akuades-metanol (1:1). Kristal yang terbentuk dicuci dengan n-heksana dan dikeringkan.

b. Karakterisasi Produk

Produk yang diperoleh berupa kristal berwarna merah kecoklatan dengan rendemen 87,65%; memiliki titik lebur 330 °C (dekomposisi). Hasil analisis FTIR (KBr) ν (cm⁻¹): 3417 (gugus -OH), 3100-3000 (Csp²-H), 1603 dan 1509 (C=C aromatis), 3000-2700 (Csp³-H alifatis), 1456 (-CH jembatan metin), 1456 dan 1350 (-CH₃).

Hasil analisis ¹H-NMR (400 MHz, DMSO) δ (ppm): 8,75 (12H,s,OH), 7,67-7,62 (20H,m,ArH), 4,334 (4H,t,metin), dan 3,36 (12H,t,-OCH₃).

c. Aplikasi C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena sebagai host bagi Ag(I)

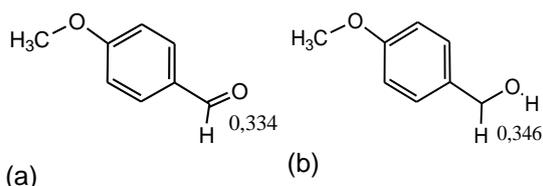
Disiapkan sebanyak 5 (lima) buah erlenmeyer ukuran 100 mL. Selanjutnya ke dalam masing-masing erlenmeyer dimasukkan 40 mL larutan sampel Ag(I) dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Ke dalam 5 (lima) buah erlenmeyer tersebut ditambahkan C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena sebanyak 0,05 g. Disamping itu juga disiapkan lima buah deretan larutan yang sama sebagai blanko. Selanjutnya baik campuran logam maupun blanko diaduk selama 18 jam pada pH 4-5 dan temperatur 25 °C. Campuran disaring kemudian konsentrasi logam dalam filtrat dan konsentrasi logam dalam blanko

ditentukan dengan metode spektrometri serapan atom (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sintesis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena

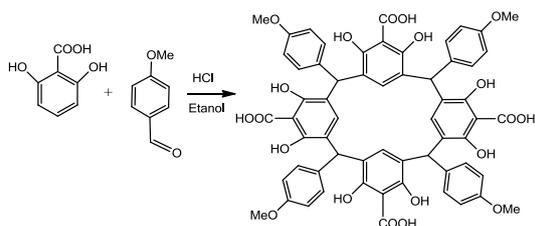
Sintesis molekul makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena dalam penelitian ini dilakukan melalui reaksi kondensasi dan siklisasi, dalam hal ini adalah reaksi substitusi elektrofilik aromatis. Reaksi kondensasi dan siklisasi dari p-anisaldehida maupun vanilin dengan asam 2,6-dihidroksibenzoat diharapkan dapat berlangsung dalam keadaan asam menggunakan HCl dan pelarut etanol. Pada reaksi tersebut asam klorida akan memprotonasi atom oksigen pada gugus aldehida dari p-anisaldehida. Hal ini akan mengakibatkan timbulnya muatan parsial positif pada karbon karbonil gugus aldehida sehingga akan meningkatkan elektrofilitas karbokation yang terbentuk dari gugus aldehida pada p-anisaldehida. Pernyataan ini diperkuat oleh adanya analisis dan tinjauan teoritis menggunakan perangkat lunak kimia komputasi Hyperchem 7.0. Analisis diterapkan baik pada aldehida aromatis maupun aldehida aromatis terprotonasinya yang dijalankan dengan menggunakan perhitungan semi-empiris PM3. Hasil optimasi geometri dan perhitungan muatan atom neto pada masing-masing karbon karbonil gugus aldehida disajikan pada Gambar 1 (a dan b).



Gambar 1. Muatan neto atom karbon aldehida pada: (a) p-anisaldehida, (b) p-anisaldehida terprotonasi

Berdasarkan Gambar 1 (a dan b) tersebut menunjukkan adanya peningkatan muatan parsial positif pada atom karbon karbonil gugus aldehida setelah dilakukan protonasi menggunakan suatu asam. Hal ini berarti bahwa elektrofilitas karbokation yang terbentuk dari gugus aldehida p-anisaldehida akan semakin meningkat. Sementara itu asam 2,6-dihidroksibenzoat memiliki densitas elektron yang cukup tinggi pada posisi orto dan para dari gugus hidroksinya. Dengan demikian maka reaksi substitusi elektrofilik terhadap asam 2,6-dihidroksibenzoat dapat berlangsung membentuk C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Dalam penelitian ini, produk reaksi yang diperoleh masih berupa padatan residu yang masih tercampur dengan pengotor lainnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian dengan teknik rekristalisasi menggunakan campuran pelarut akuades:metanol (1:1).



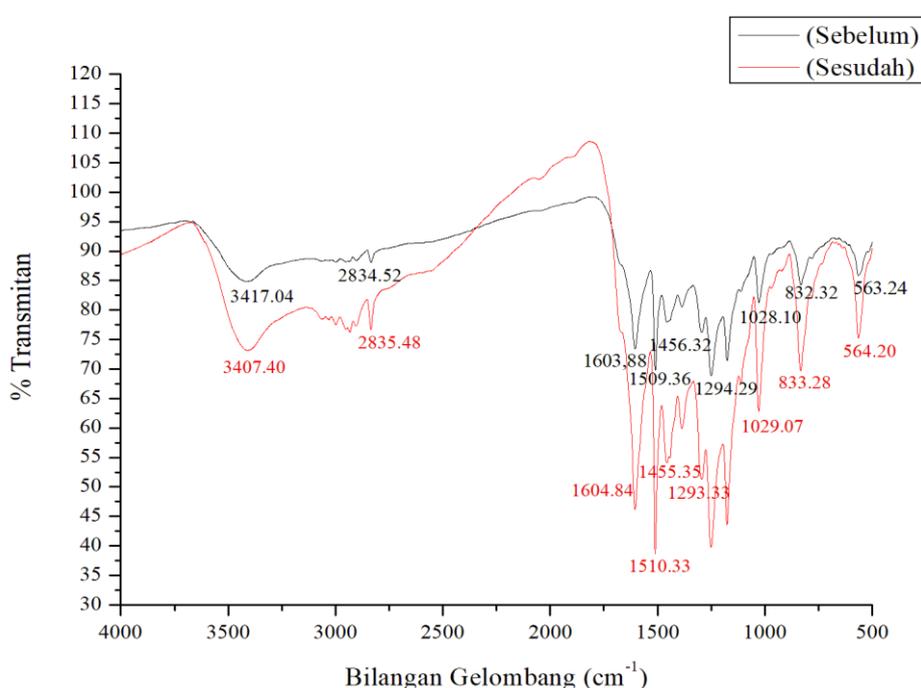
Gambar 2. Reaksi asam 2,6-dihidroksibenzoat dengan p-anisaldehida terkatalisis HCl

Produk molekul makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki rendemen yang cukup tinggi yaitu sebesar 87,65%. Hasil reaksi setelah pemurnian berbentuk padatan kristal berwarna merah kecoklatan dengan titik lebur 330 °C (terdekomposisi). Hasil karakterisasi produk dengan FTIR diperoleh Spektra IR sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Puncak-puncak yang dihasilkan berkaitan erat dengan gugus fungsi yang ada pada C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena. Serapan-serapan tersebut antara lain pada 3417 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi dari adanya gugus -OH. Puncak-puncak lainnya pada 3100-3000 cm⁻¹ untuk regangan Csp²-H yang diperkuat dengan 2 serapan pada 1603 dan 1509 cm⁻¹ dari C=C aromatis, sedangkan serapan pada daerah 3000-2700 cm⁻¹ untuk Csp³-H alifatis yang ditandai dengan munculnya puncak pada daerah sekitar 1456 dan 1350 cm⁻¹ dari -CH jembatan metindan metil (-CH₃). Serapan penting yang menjadi kunci berhasilnya sintesis adalah hilangnya serapan gugus karbonil dari gugus aldehida milik p-anisaldehida sebagai bahan dasarnya.

Terbentuknya senyawa makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena juga dapat diperkuat dengan hasil karakterisasi menggunakan spektrometer H-NMR. Berdasarkan spektra H-NMR yang diperoleh beberapa puncak yang relevan

yang mengarah pada terbentuknya senyawa kaliksarena yang dimaksud. Puncak-puncak tersebut yaitu puncak singlet pada pergeseran kimia 8,75 ppm untuk proton pada gugus hidroksi (12H,s,OH). Disamping itu juga ditemukan puncak-puncak multiplet pada daerah 5,67-7,62 ppm yang

karakteristik untuk resonansi proton pada cincin aromatis (20H,m,ArH), sedangkan puncak-puncak pada daerah 4,34 dan 3,36 ppm berturut-turut merupakan resonansi proton pada gugus metin (4H,m,metin) dan proton pada gugus metoksi (12H,t,-OCH₃).



Gambar 3. Spektrum FTIR dari C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena sebelum dan sesudah adsorpsi

2. Aplikasi C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena untuk Adsorpsi Ag(I)

Pada penelitian ini adsorpsi dilakukan dengan sistem batch menggunakan 0,05 g C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena untuk larutan ion logam Ag (I). Proses pengontakan dilaksanakan dengan variasi konsentrasi 10,

20, 30, 40 dan 50 ppm sebanyak 40 ml pada pH larutan 4-5. Pemilihan pH larutan dipilih pada rentang pH 4 – 5 karena apabila pada tingkat keasaman tinggi (pH < 4) akan mengakibatkan adsorpsi tidak dapat berlangsung dengan baik karena akan ada kompetisi ion H⁺ dengan ion logam yang akan diadsorpsi oleh kaliksarena, adanya kompetisi ini mengakibatkan sedikitnya ion

logam teradsorpsi oleh resorsinarena (Utomo, 2012) serta mengakibatkan adsorben akan terprotonasi atau dengan kata lain sisi aktif cenderung bermuatan positif sehingga mengakibatkan kondisi asam memungkinkan terjadinya tolakan elektrostatis antara adsorben dengan adsorbat karena memiliki sifat yang sama-sama positif (Utomo, 2012). Apabila pH

yang digunakan pada tingkat keasaman rendah (pH > 6) mengakibatkan kelarutan adsorben dalam air meningkat serta adsorbat akan mulai mengalami pengendapan.

Data konsentrasi larutan blanko dan sampel Ag⁺ yang terserap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Larutan Blanko dan Sampel Ag⁺ yang Terserap

Kode Sampel	C _{Ag} (ppm)	C _{t blanko} (ppm)	q _e (ppm)	C _e (ppm)	Ag _t (%)
S ₁	10	10,67	9,53	1,14	10,66
S ₂	20	20,98	17,67	3,31	15,76
S ₃	30	30,68	16,34	14,34	46,73
S ₄	40	42,42	22,16	20,26	47,76
S ₅	50	45,14	23,65	21,49	47,60

Keterangan:

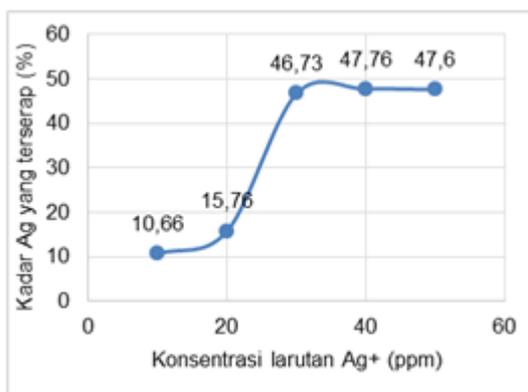
C_{Ag} : Konsentrasi Larutan Uji Ag⁺

C_{t blanko} : Konsentrasi Ag⁺ Blanko terabsorpsi

q_e : Besar Penyerapan Ag⁺

C_e : Konsentrasi Akhir Ag⁺ yang terabsorpsi

Ag_t : Kadar Ag⁺ yang terserap



Gambar 4. Kurva Hubungan antara Konsentrasi Larutan Ag⁺ terhadap Konsentrasi Ag⁺ teradsorpsi

Berdasarkan Tabel 1 hasil penyerapan resorsinarena terhadap ion logam Ag[I], dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara konsentrasi dengan konsentrasi terserap. Grafik ini dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi terserap yang paling optimum. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan Ag⁺ awal dengan kadar Ag⁺ yang terserap dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar Ag⁺ tertinggi yang terserap terjadi pada variasi konsentrasi 40 ppm yaitu sebesar 47,76% jika dibandingkan dengan

variasi konsentrasi lainnya. Dari variasi konsentrasi 10 ppm hingga 40 ppm, kadar Ag^+ yang terserap mengalami peningkatan secara kontinu. Akan tetapi, pada variasi konsentrasi 40 hingga 50 ppm kadar Ag^+ yang terserap mengalami sedikit penurunan atau relatif sama yang menandakan bahwa proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan dengan kadar Ag^+ terserap 47,76 – 47,60 %. Hal ini dikarenakan adsorpsi akan meningkat dengan kenaikan konsentrasi adsorbat, tetapi tidak berbanding lurus. Adsorpsi akan konstan jika terjadi kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi yang tersisa dalam larutan.

3. Kapasitas Adsorpsi Maksimum C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena untuk $Ag(I)$

Kapasitas adsorpsi maksimum molekul makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena terhadap Ag^+ sebagai fungsi konsentrasi dapat ditentukan dengan menghitung isothermal adsorpsinya. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap dua model isotherm adsorpsi yaitu Isotherm Adsorpsi Langmuir dan Isotherm Adsorpsi Freundlich. Berdasarkan data pada Tabel 1, selanjutnya dapat diolah menurut persamaan kedua model isotherm adsorpsi tersebut menghasilkan data pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan Isotherm Adsorpsi dan Parameter Adsorpsi

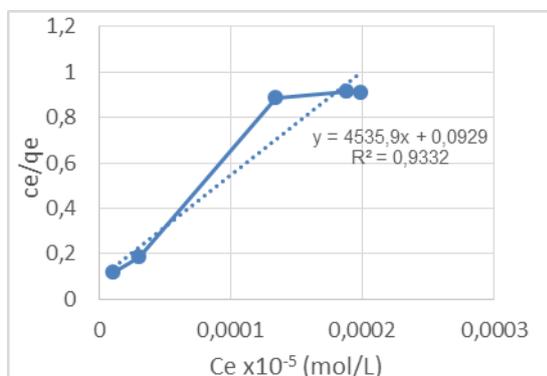
Isotherm Adsorpsi	Persamaan	Linearitas kurva, R^2
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{X_m \cdot K} + \frac{C_e}{X_m}$	0,9332
Freundlich	$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \log C$	0,7736

Berdasarkan Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa kurva yang dihasilkan dari persamaan isotherm adsorpsi Langmuir memiliki tingkat linearitas yang paling tinggi bila dibandingkan dengan isotherm adsorpsi Freundlich. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pola adsorpsi Ag^+ ke dalam molekul makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena mengikuti persamaan isotherm adsorpsi Langmuir.

Dengan berdasar pada persamaan Langmuir pada Table 2, dari plot $\frac{C_e}{q_e}$

terhadap C_e akan diperoleh suatu grafik dengan persamaan garis lurus $y = 4535,9x + 0,0929$ seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dengan demikian harga konstanta kesetimbangan K dan kapasitas adsorpsi maksimum dapat dari persamaan garis lurus yang diperoleh. Dari persamaan tersebut diperoleh harga kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 38,0494 mg/g dan konstanta kesetimbangan (K) sebesar 48828,125 L/mol. Hasil penentuan energi adsorpsi Ag^+ pada C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena dengan menggunakan persamaan energi

bebas Gibbs (ΔG° ads = - R T ln K) adalah sebesar- 26,7481 kJ/mol.



Gambar 5. Kurva Isoterm Adsorpsi Ag⁺ pada C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena menurut Langmuir

4. Mekanisme Adsorpsi Ag(I) pada C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena

Berdasarkan hasil penentuan isoterm adsorpsi pada bagian terdahulu, bahwa pola adsorpsi Ag⁺ ke dalam molekul makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena mengikuti persamaan isotherm adsorpsi Langmuir. Hal ini dapat diartikan proses adsorpsi terjadi pada lapisan (monolayer) Isoterm Langmuir menggambarkan situs – situs aktif pada permukaan adsorbat bersifat homogen, hal ini terjadi pada C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena mempunyai delapan sisi aktif berupa gugus hidroksi (OH) dan empat gugus karboksil yang mampu menyerap ion logam Ag[I] dengan ikatan yang sangat kuat pada permukaan tertentu.

Oleh karena itu, penjebakan ion logam Ag[I] oleh C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena diduga kuat terjadi secara eksokaliks. Penjebakan ekso-kaliks

yaitu penjebakan di luar rongga melalui interaksi dengan situs aktif yang ada pada senyawa Kaliksarena (Utomo, 2009). Hal ini diperkuat oleh adanya spektra FTIR C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena sebelum dan sesudah penjebakan/adsorpsi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil FTIR tersebut, perbedaan pergeseran serapan yang signifikan terletak pada serapan gugus fungsi O-H yaitu dengan bilangan gelombang 3417,04 cm⁻¹ untuk kaliksresorsinarena sebelum adsorpsi dan pada bilangan gelombang 3407,40 cm⁻¹ untuk kaliksresorsinarena setelah adsorpsi. Menurut penelitian Permanasari (2010) menyebutkan bahwa pergeseran nilai bilangan gelombang terjadi setelah proses adsorpsi, sehingga pada penelitian ini mengindikasikan bahwa terjadi adanya interaksi terhadap adsorbat. Dengan demikian, data FTIR mengindikasikan bahwa gugus aktif O-H baik pada karboksil maupun hidroksil residu cincin resorsin mengambil peranan dominan dalam mekanisme proses adsorpsi C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena terhadap Ag(I).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, senyawa makrosiklis C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena dapat dibuat melalui satu langkah reaksi dari bahan dasar p-metoksibenzaldehida dan asam 2,6-dihidroksibenzoat. Reaksi sintesis dapat berlangsung dengan bantuan katalis HCl pada pelarut etanol melalui proses refluks selama 24 jam. Produk sintesis yang diperoleh setelah melalui

proses pemurnian berupa padatan kristal merah kecoklatan sebanyak 87,65% dengan TL 330 °C. 87,65% berupa kristal merah kecoklatan dengan TL 330 °C. Molekul tarjet C-4-karboksimetoksifenil-kaliks[4]resorsinarena dapat digunakan sebagai host bagi ion logam Ag⁺ dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 38,0494 mg/g dan energi adsorpsi sebesar -26,7481 kJ/mol. Jenis isoterm yang terjadi adalah isoterm adsorpsi Langmuir dengan tingkat linieritas (R²) sebesar 0,9332. Mekanisme pengkelatan terjadi secara kimia (chemisorption), dimana terdapat ikatan yang kuat antara ion Ag⁺ dengan gugus aktif hidroksi (-OH) diluar rongga (eksokaliks).

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Suharso, Buhani, & Aprilia, L., 2014, Influence of Calix[4]arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation, Asian Journal of Chemistry, 26 (18), 6155-6158
- [2] Ngurah, B.I.M., Jumina, Anwar, C., Sunardi, & Mustofa, 2017, Synthesis and In Vitro Evaluation of C-methylcalix[4]resorcinyloctacinnamate and C-methylcalix[4]resorcinyloctabenzoate as the Sunscreen, Indones. J. Chem., 17(1), 63-70
- [3] Sayekti, E., Siswanta, D., Mustofa, & Jumina, 2016, Synthesis and Antioxidant Properties of C-4-allyloxyphenylcalix[4]resorcinarane, Int. J. ChemTech. Res., 9(8), 594-599
- [4] Utomo, S.B., Fujiyanti, M., Lestari, W.P., & Mulyani, S., 2018, Antibacterial Activity Test of the C-4-methoxyphenylcalix[4]resorcinarane Compound Modified by Hexadecyltrimethylammonium-Bromide against Staphylococcus aureus and Escherichia coli Bacteria, Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia (JKPK), 3 (3), 201-209.
- [5] Utomo, S.B., Jumina, Siswanta, D., and Mustofa, 2012, Kinetics and Equilibrium Model of Pb(II) and Cd(II) Adsorption onto Tetrakis-Thiomethyl-C-4-Methoxyphenylcalix[4]resorcinarane, Indo. J. Chem., 12(1), 49-56.
- [6] Utomo, S.B., Jumina, Siswanta, D., Mustofa, & Kumar, N., 2011, Synthesis of Thiomethylated Calix[4]resorcinarane Based on Fennel Oil via Chloromethylation, Indo. J. Chem., 11 (1), 1-8.
- [7] Santoso, P., Anwar, C., Jumina, Siswanta, D., Suharso, & Ohto, K., 2018, Synthesis of a Novel Calix[4]resorcinarane-Chitosan Hybrid, Orient. J. Chem., 34(1), 30-37
- [8] Jumina, Siswanto, D., Zulkarnain, A.K., Triono, S., Priatmoko, Yuanita, E., Imawan, A.C., Fatmasari, N., Nursalim, I., 2019, Development of C-Arylcalix[4]resorcinaranes and C-Arylcalix[4]pyrogallolarenes as Antioxidant and UV-B Protector, Indones, J. Chem., 19(2), 273-284

- [9] Utomo, S.B., & Setiati, T., 2019, Application of Calixarene as A Phase Transfer Catalyst in Vanilin Synthesis from Eugenol, Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia (JKPK), 4(3), 179-188
- [10] Yunitasari, W. (2013). Pengaruh Variasi Konsentrasi Cr^{3+} Terhadap Daya Adsorpsi 5,17-di(2-hidroksipropil trimetilammonium klorida)C-4-metoksifenilkaliks[4]resorsinarena, Seminar Kimia Tidak Dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- [11] Utomo, S.B., Jumina, Siswanta, D., & Mustofa, 2013, Synthesis of Tetrakis-N,N,N-trimethyl-ammonium methyl-C-3,4-dimethoxyphenyl calix[4]resorcinarene Iodide Based Vanillin and Its Antidote Activity for Chromium (VI) Intoxication, Indo. J. Chem., 13(2), 158-165.
- [12] Utomo, S.B., Saputro, A.N.C., & Rinanto, Y., 2016, Functionalization of C-4-methoxyphenylcalix[4]resorcinarene with several ammonium compounds, IOP Conf. Series: Material Science and Engineering, 107, 012042.
- [13] Permanasari, A.dkk. (2010). Uji Kinerja Adsorben Kitosan-Bentonit terhadap Logam Berat dan Diazinon secara Simultan. Journal Sains dan Teknologi Kimia. 1(2), 121 - 134