

PEMBENTUKAN MONOLAYER AZOBENZEN DISULFIDA DAN KARAKTERISASINYA

Fitrilawati¹, S. Hidayat¹, W. Widorini¹, S. Sesiaria A¹, M. Rosmiati¹,
H. Akiyama², dan K. Tamada²

¹Jurusan Fisika, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Bandung.

²National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Tsukuba, Japan.

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dilakukan studi kinetik adsorpsi pembentukan monolayer azobenzen disulfida pada substrat Au. Ada tiga jenis molekul azobenzen disulfida yang digunakan yaitu HAzC₁₂SSC₁₂, C₆AzC₁₂SSC₁₈, dan CNAzC₁₂SSC₁₂. Pengkajian tersebut dilakukan dengan pengukuran kinetik adsorpsi monolayer azobenzen disulfida dan spektrum SPR dengan menggunakan spektroskopi *surface plasmon resonance* (SPR). Hasil yang didapat menunjukkan molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ memiliki potensi yang lebih baik untuk membentuk *self-assembled monolayer* (SAMs), karena memiliki tahapan adsorpsi yang cepat dengan ketebalan yang optimal dan penyusunan molekul yang teratur.

Kata Kunci : *Self-assembled monolayer*, azobenzen disulfida, *surface plasmon resonance*

FORMATION OF AZOBENZENE DISULFIDE MONOLAYER AND ITS CHARACTERIZATION

ABSTRACT

We studied adsorption kinetic formation of azobenzene disulfide monolayer on gold substrate. Azobenzene disulfide molecules applied in this experiment were HAzC₁₂SSC₁₂, C₆AzC₁₂SSC₁₈, and CNAzC₁₂SSC₁₂. The adsorption kinetics of azobenzene disulfide molecules on gold substrate and SPR spectra were in-situ monitored by using a surface plasmon resonance (SPR) spectroscopy. The results show that C₆AzC₁₂SSC₁₈ molecule has better prospect to perform self-assembled monolayer (SAMs) since it has fast adsorption time with optimum thickness and ordered molecules.

Keywords: Self-assembled monolayer, azobenzen disulfide, surface plasmon resonance

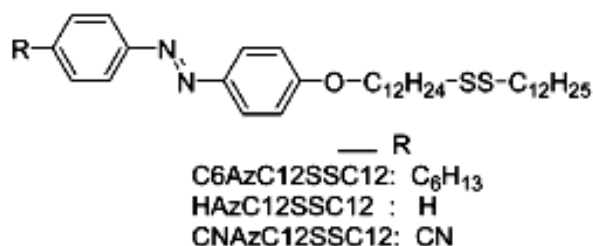
PENDAHULUAN

Bidang nanoteknologi yang berkaitan dengan aplikasi optoelektronik (Petrash *et al.*, 2001), biosensor (Tie *et al.*, 2003; Campbell, 1997; Joachim, 2000; Gray, 2004) dan divais biomedis saat ini berkembang dengan pesat. Divais biomedis yang meliputi *chip* protein (Tie *et al.*, 2003) dan *microarray* DNA (Ulman, 1991; Campbell, 1997; Joachim, 2000) dikembangkan dengan menggunakan sifat interaksi antara permukaan suatu molekul organik tertentu dengan senyawa biologi seperti IgG, protein, DNA dan sebagainya (Lehn, 1993; Xia, 2002).

Perkembangan bidang tersebut membutuhkan penguasaan teknik fabrikasi film tipis dengan ketebalan dalam orde molekul, yang disertai kemampuan untuk mengontrol sifat dan orientasi dari film tipis tersebut. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah teknik *Self-assembled Monolayers* (SAMs), yang merupakan model sempurna untuk menghasilkan monolayer pada suatu permukaan (Ulman, 1991; Lehn, 1993; Campbell, 1997; Joachim, 2000). Teknik SAMs merupakan teknik pembuatan film tipis melalui adsorpsi molekul surfaktan dalam suatu larutan pada suatu permukaan substrat. Melalui interaksi secara kimia antara molekul dengan substrat dapat terbentuk monolayer yang beraturan (*Close Packing Oriented monolayer*) yang stabil dalam waktu singkat. Interaksi tersebut dapat diamati secara insitu dengan menggunakan Spektroskopi *Surface Plasmon Resonance* (SPR) (Tamada, 2002; Martinsa, 2003; Li, 2003).

Untuk aplikasi biosensor, diperlukan suatu permukaan (*surface*) yang dapat mengenal dan berinteraksi dengan senyawa biologi. Pemilihan permukaan yang tepat dan pembuatannya melalui modifikasi suatu substrat merupakan tahapan penting untuk aplikasi tersebut. Dewasa ini banyak dilakukan penelitian secara intensif untuk mempelajari interaksi senyawa biologi dengan berbagai jenis permukaan, diantaranya yaitu permukaan hidroksilat dengan organosilikon (Lehn, 1993), Alkanethiol pada permukaan Au (Ishida, 1996; Flink, 2000; Winter, 2003; Mermut, 2004), dan alkil dengan permukaan Si (Tie, 2003). Selain itu telah dilaporkan juga hasil penelitian tentang interaksi antara DNA dan biotin pada permukaan Au yang telah dimodifikasi dengan *Hydroksialkanethiol* dengan menggunakan SPR (Campbell, 1997; Joachim, 2000)

Pada makalah ini akan dibahas tentang eksperimen untuk menghasilkan monolayer dari molekul azobenzen disulfida $\text{HAzC}_{12}\text{SSC}_{12}$, $\text{C}_6\text{AzC}_{12}\text{SSC}_{18}$ dan $\text{CNAzC}_{12}\text{SSC}_{12}$ pada permukaan Au. Struktur dari molekul-molekul tersebut diperlihatkan pada Gambar 1. Beberapa hal yang akan dipelajari antara lain interaksi antara permukaan emas (Au) dengan ketiga jenis molekul azobenzen disulfida, dan kinetik pembentukannya, serta ketebalan monolayer dari masing-masing molekul azobenzen disulfida.



Gambar 1. Struktur molekul azobenzen disulfida

BAHAN DAN METODE

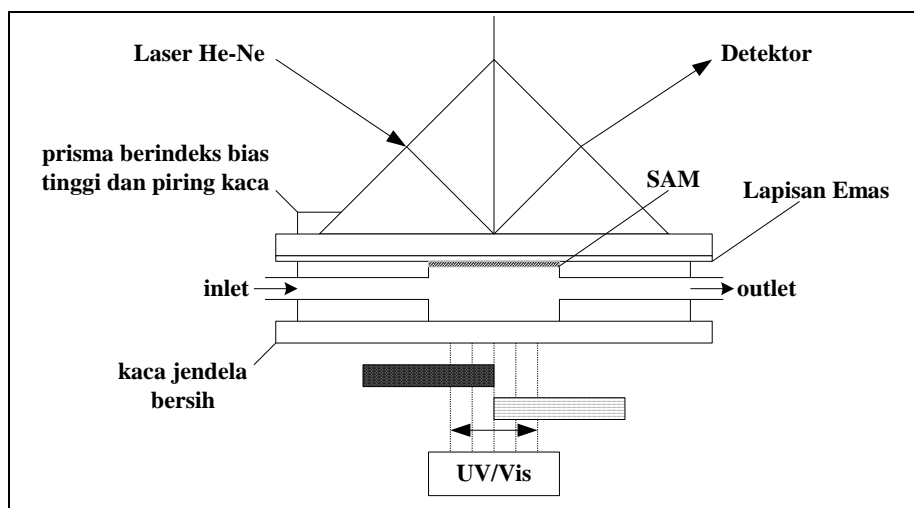
Monolayer azobenzen disulfida dibuat dari larutan azobenzen disulfida/heksan menggunakan teknik SAMs pada substrat Au dengan ketebalan sekitar 50 nm, yang dideposisi pada kaca LaSFN9. Pertumbuhan lapisan monolayer azobenzen disulfida pada permukaan Au tersebut diamati secara *in situ* didalam *liquid cell* yang dipasangkan pada peralatan SPR. Ada tiga macam molekul azobenzen disulfida yang dipergunakan dalam eksperimen ini (C₆Az C₁₂SSC₁₈, CNAz C₁₂SSC₁₂ dan HAz C₁₂SSC₁₂), yang masing-masing strukturnya telah diperlihatkan pada gambar 1.

Set-up peralatan SPR yang digunakan berdasarkan konfigurasi Kretschmann (Kretschmann, 1968) dan sumber cahaya yang digunakan adalah laser He-Ne *p-polarized* dengan panjang gelombang $\lambda = 632.8$ nm. Sinar laser tersebut setelah dilewatkan pada *chopper* yang dihubungkan dengan *lock in* amplifier diarahkan ke prisma menuju ke sampel. Intensitas dari cahaya yang direfleksikan oleh permukaan emas dideteksi oleh fotodiode. Kemudian, setelah melalui ADC (*analogue to digital conversion*) sinyal dc yang dihasilkan dihubungkan dengan komputer. Pada pengukuran *angular scan* untuk mendapatkan spektrum SPR, arah datang sinar laser berubah pada selang sudut tertentu sehingga data pengukuran berupa reflektansi sebagai fungsi dari sudut. Pada pengukuran kinetik, sinar laser datang pada sudut tertentu disekitar sudut kopling dan data pengukuran berupa reflektansi sebagai fungsi waktu.

Penyiapan monolayer dimulai dengan memasukkan pelarut heksan kedalam *liquid cell* yang sudah dilengkapi dengan substrat Au seperti pada Gambar 2. Setelah tercapai keadaan setimbang, larutan azobenzen disulfida/heksan dimasukkan secara perlahan kedalam *liquid cell* tersebut. Penambahan larutan azobenzen disulfida akan menyebabkan perubahan reflektansi yang menandakan adanya pertumbuhan monolayer. Setelah tercapai keadaan setimbang, sejumlah besar pelarut heksan ditambahkan kedalam *liquid cell* untuk mencuci permukaan monolayer yang terbentuk. Pada proses tersebut dilakukan pengukuran kinetik pertum-

bahan monolayer dan pengukuran spektrum SPR dari substrat Au dan spektrum SPR monolayer yang terbentuk.

Untuk mengestimasi ketebalan optik dan konstanta dielektrik monolayer dari masing-masing molekul yaitu dengan cara mencocokkan kurva data hasil eksperimen dengan kurva yang dihasilkan oleh persamaan Fresnel. Fitting kurva dapat dilakukan secara iteratif atau manual dengan metode *nonlinear least-squares*, menggunakan software WINSPALL 2.20.



Gambar 2. Skema *liquid cell* tempat pembuatan monolayer yang dipasangkan pada peralatan spektroskopi SPR

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinetik Adsorpsi Pembentukan Monolayer

Pembentukan monolayer azobenzen disulfida diamati secara *in-situ* dengan menggunakan spektroskopi SPR. Hasil pengamatan berupa kurva kinetik adsorpsi yang berupa grafik antara intensitas reflektansi dan waktu. Ketika molekul azobenzen disulfida dimasukkan ke dalam *liquid cell*, terjadi perubahan reflektansi yang menunjukkan terbentuknya lapisan azobenzen disulfida pada permukaan Au. Kurva kinetik adsorpsi hasil eksperimen dari tiga jenis molekul azobenzen disulfida diperlihatkan pada Gambar 3.

Kinetik adsorpsi ketiga jenis molekul azobenzen disulfida pada permukaan Au menyerupai model langmuir (Arthur, 1990), mengindikasikan lapisan yang terbentuk pada permukaan Au merupakan monolayer. Pembentukan monolayer azobenzen disulfida pada permukaan Au tersebut terjadi karena adanya ikatan kovalen antara atom S pada molekul azobenzen disulfida dengan atom Au, seperti

pada pembentukan monolayer alkanethiol pada permukaan Au (Campbell, 1997). Kondisi kesetimbangan setelah permukaan monolayer dibilas dengan pelarut menunjukkan proses pembentukan lapisan monolayer merupakan proses *chemisorption*.

Parameter kinetik adsorpsi monolayer diperoleh dari hasil fitting data kinetik dengan menggunakan persamaan (2). Selang data yang difitting adalah selang data pada saat reflektansi naik secara eksponensial, sebelum mencapai kondisi setimbang. Hasil fitting dengan menggunakan program grafik saintifik Origin berupa konstanta yang terdapat pada persamaan (1). Konstanta tersebut selanjutnya dikonversi menjadi parameter kinetik yang memberikan gambaran tentang proses pertumbuhan monolayer azobenzen disulfida pada permukaan Au. Bentuk kinetik adsorpsi dari molekul azobenzen disulfida merupakan bentuk adsorpsi isoterm model langmuir, yaitu proses pertumbuhan molekul pada suatu permukaan secara eksponensial pada kondisi temperatur konstan, dengan bentuk persamaan seperti seperti persamaan (1).

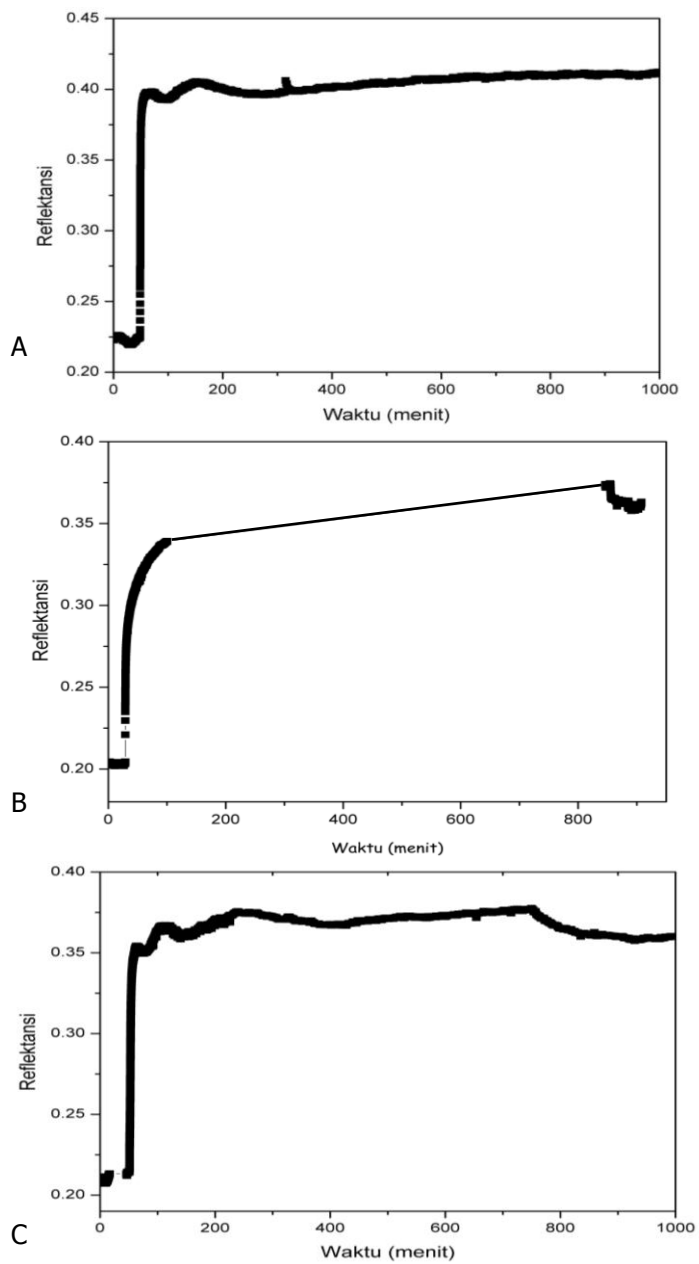
$$y = A(1 - \exp(-kx + kxc)) \quad (1)$$

Dengan mengasumsikan bahwa densitas permukaan sebanding dengan intensitas reflektansi ($R \approx \theta$), maka dapat ditulis bentuk lain dari persamaan adsorpsi langmuir seperti pada persamaan (2).

$$R = R_{eq}(1 - \exp(-k_a c + k_d)t) \quad (2)$$

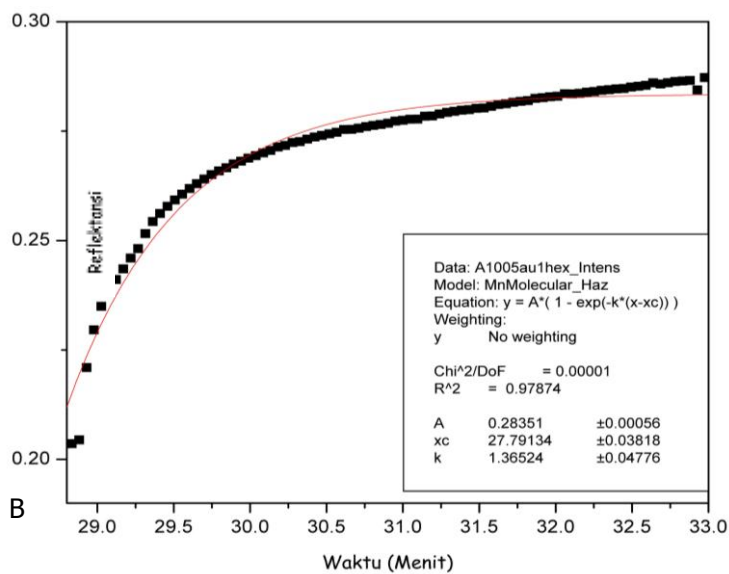
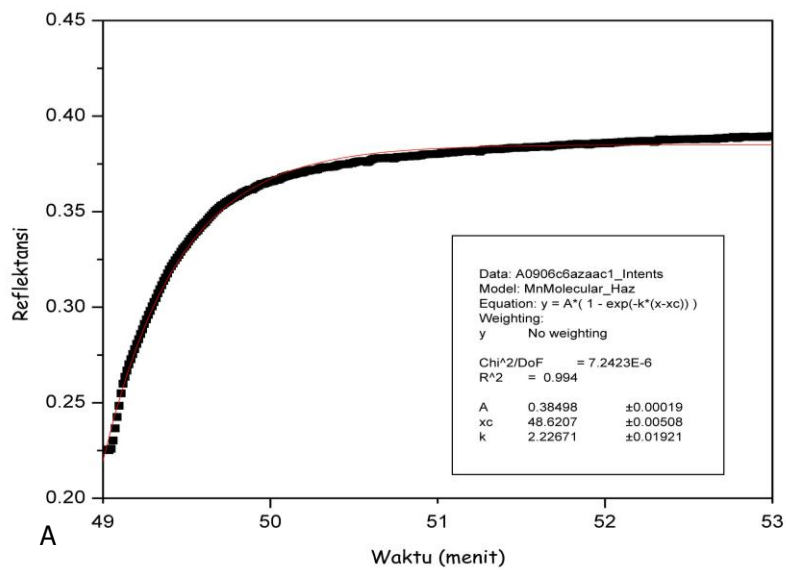
dengan t merupakan waktu adsorpsi, k_a dan k_d adalah konstanta tingkat adsorpsi dan desorpsi, dan c adalah konsentrasi larutan adsorbat.

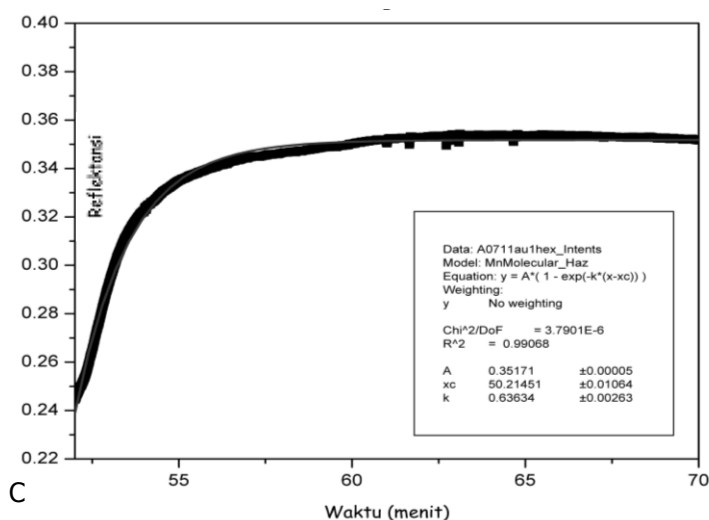
Dari kurva kinetik adsorpsi molekul $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ dilakukan fitting dengan menggunakan persamaan (2) dengan melibatkan data pada selang 5175 dengan 5525, pada menit ke 49 sampai menit ke 53. Untuk molekul $CNAzC_{12}SSC_{12}$ dilakukan fitting pada selang antara 846 sampai dengan 937, yaitu pada menit ke 28,8 sampai menit ke 33 dan untuk molekul $HazC_{12}SSC_{12}$ dilakukan fitting pada selang antara 2699 sampai dengan 4971, yaitu pada menit ke 52 sampai 70. Hasil fitting kinetik adsorpsi untuk masing-masing molekul diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Kinetik adsorpsi molekul azobenzen disulfida dalam larutan heksan pada permukaan Au (A) $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ (B) $CNAzC_{12}SSC_{12}$ (C) $HAzC_{12}SSC_{12}$

Pembentukan Monolayer Azobenzen Disulfida dan Karakterisasinya (Fitrilawati, dkk.)





Gambar 4. Kurva fitting data kinetik adsorpsi molekul azobenzen disulfida dalam larutan heksan pada permukaan Au (A). C₆AzC₁₂SSC₁₈ (B) CNAzC₁₂SSC₁₂ (C) HAzC₁₂SSC₁₂

Nilai konstanta fitting untuk masing-masing molekul azobenzen disulfida diperlihatkan pada Tabel 1. Nilai A pada konstanta tersebut menggambarkan bagian permukaan Au yang ditumbuhi oleh molekul azobenzen disulfida (*fractional surface coverage*). Sedangkan k dan xc adalah parameter yang berkaitan dengan konstanta adsorpsi, konstanta desorpsi dan konstanta langmuir.

Tabel 1. Konstanta hasil fitting data kinetik adsorpsi monolayer azobenzen disulfida

Konstanta	Monolayer		
	C ₆ AzC ₁₂ SSC ₁₈	HAzC ₁₂ SSC ₁₂	CNAzC ₁₂ SSC ₁₂
A	0,38498±0,00019	0,36171±0,00006	0,2851±0,000056
Xc	48,6207±0,60508	60.21451±0,0.064	27,79134±0,03818
K	2,22671±0,01921	0.63634±0,00263	1,36524±0,04776

Hasil fitting data kinetik molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ menunjukkan proses pertumbuhan monolayer pada permukaan Au mencapai kesetimbangan pada nilai reflektansi 0,38 dengan waktu adsorpsi 4 menit, dan membentuk monolayer dengan *fractional surface coverage* (θ) sebesar 38,45% dari seluruh permukaan Au yang digunakan sebagai substrat. Molekul azobenzen disulfida memerlukan *critical area* sebagai daerah penyapuan fotoisomerisasi (perubahan struktur dari trans ke

Pembentukan Monolayer Azobenzen Disulfida dan Karakterisasinya (Fitrilawati, dkk.)

cis sebesar $45 \text{ \AA}^2/\text{molekul}$, akibatnya permukaan substrat yang ditutupi oleh molekul azobenzen disulfida tidak mencapai 100%. Jumlah total material organik dalam *well packed* monolayer alkanethiol pada permukaan emas adalah $8,3 \times 10^{10}$ molekul/cm² (Flink, 2000), dengan asumsi tersebut pada keadaan ideal, dalam 1 cm² permukaan Au terdapat $4,15 \times 10^{10}$ molekul azobenzen disulfida. Banyak faktor yang mempengaruhi kinetik adsorpsi, antara lain konsentrasi larutan, suhu, dan struktur molekul.

Untuk molekul CNAzC₁₂SSC₁₂, hasil fitting tersebut menunjukkan proses pertumbuhan monolayer pada permukaan Au mencapai kesetimbangan pada reflektansi 0,28 dengan waktu adsorpsi 4,2 menit dan membentuk monolayer dengan *fractional surface coverage* (θ) sebesar 28,35% dari seluruh permukaan Au yang digunakan sebagai substrat. Untuk molekul HAzC₁₂SSC₁₂, proses pertumbuhan monolayer pada permukaan Au mencapai kesetimbangan pada reflektansi 0,36 dengan waktu adsorpsi 18 menit, dan membentuk monolayer dengan *fractional surface coverage* (θ) sebesar 36,17% dari seluruh permukaan Au yang digunakan sebagai substrat, dengan jumlah molekul yang tumbuh pada 1 cm² substrat Au sebanyak $1,50 \times 10^{10}$ molekul.

Dengan perhitungan sederhana menggunakan konstanta hasil fitting, parameter kinetiknya dapat ditentukan. Jika konsentrasi adsorbat sebesar 0,25 mM, diperoleh nilai-nilai parameter kinetik untuk masing-masing molekul seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter kinetik monolayer azobenzen disulfida

Parameter Kinetik	Monolayer		
	C ₆ AzC ₁₂ SSC ₁₈	HAzC ₁₂ SSC ₁₂	CNAzC ₁₂ SSC ₁₂
θ (%)	38,45	36,17	28,35
Waktu adsorpsi (menit)	4	18	4,2
Jumlah $\times 10^{10}$ (mol/cm ²)	1,59	1,50	1,12
$k_a \times 10^3$ (M ⁻¹)	8,91	2,55	5,46
K_d (s ⁻¹)	3,56	1,12	3,45
$K \times 10^{-4}$ (M/s)	3,99	4,41	6,32

Ketiga jenis molekul azobenzen disulfida yang diteliti memiliki kinetik pertumbuhan yang berbeda. Parameter kinetik yang dihasilkan bergantung pada struktur, konsentrasi adsorbat, dan gugus fungsi dari molekul azobenzen disulfida yang digunakan. Molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ memiliki waktu adsorpsi yang relatif cepat jika dibandingkan dengan CNAzC₁₂SSC₁₂ dan HAzC₁₂SSC₁₂. Molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ memiliki nilai θ yang lebih besar dan jumlah molekul yang lebih banyak dibandingkan dengan molekul yang lain. Hal ini mungkin berkaitan dengan gugus

C_6H_{13} pada $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ lebih panjang dibanding gugus CN dan H, sehingga monolayer yang dihasilkan lebih rapat dibanding monolayer $CNAzC_{12}SSC_{12}$ dan $HAzC_{12}SSC_{12}$.

Konstanta adsorpsi, konstanta desorpsi dan konstanta langmuir pada ketiga molekul tidak memperlihatkan adanya pola keteraturan yang sama, besar konstanta langmuir monolayer $CNAzC_{12}SSC_{12}$ lebih besar dibanding monolayer $HAzC_{12}SSC_{12}$ dan $C_6AzC_{12}SSC_{18}$. Berdasarkan hasil pengukuran spektroskopi UV dan sudut kontak (Akiyama, 2003), gugus *cyano* pada molekul $CNAzC_{12}SSC_{12}$ tidak membentuk struktur kristal, sehingga memiliki sifat yang kurang stabil dan membentuk struktur yang tidak teratur (*less ordered*). Gambaran tersebut sesuai dengan nilai konstanta desorpsi yang lebih besar pada molekul $CNAzC_{12}SSC_{12}$.

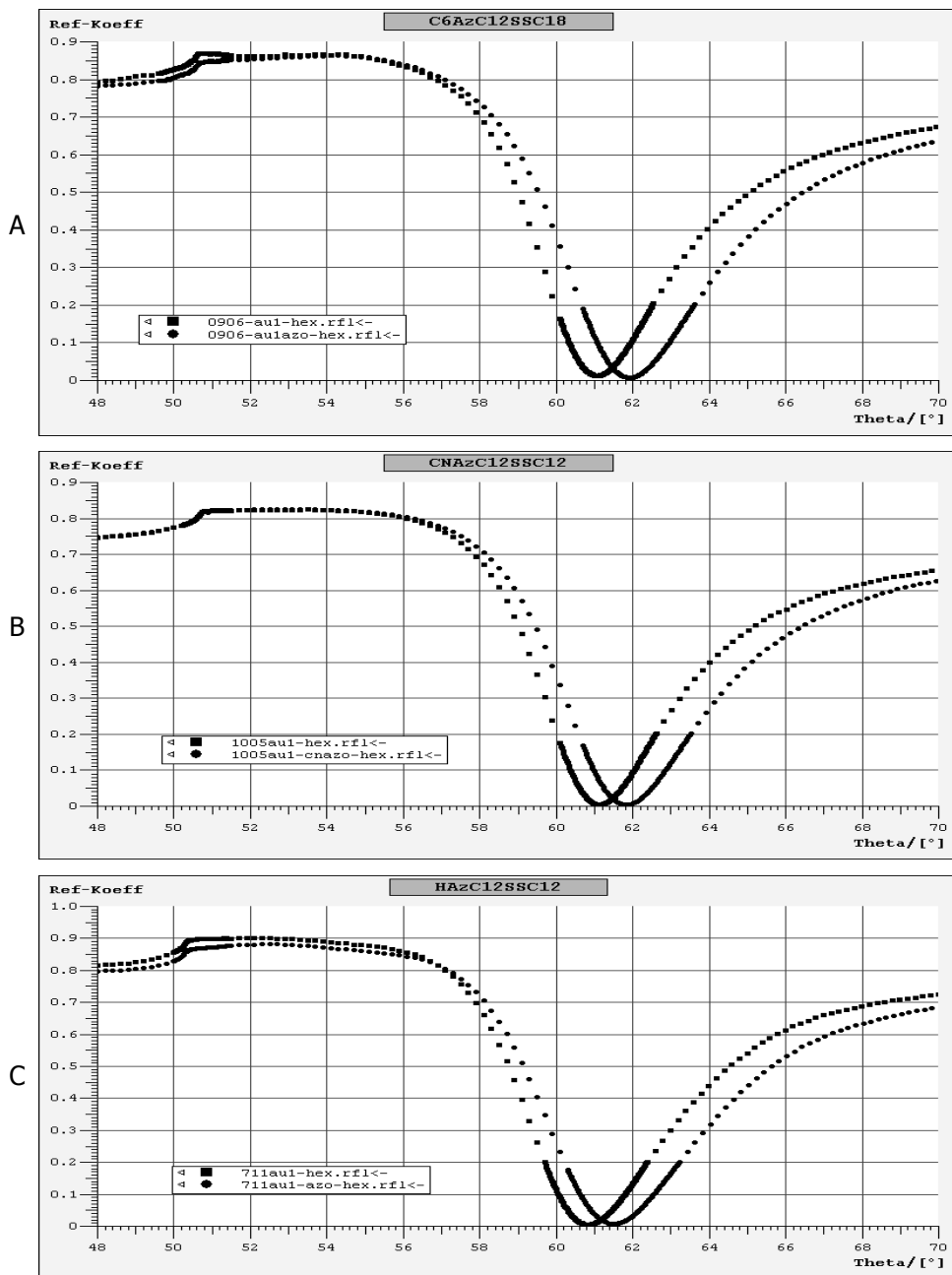
Spektrum SPR

Spektrum SPR diambil pada kondisi sebelum terjadi adsorpsi (spektrum SPR Au dalam pelarut heksan) dan setelah terjadinya adsorpsi (spektrum SPR monolayer azobenzen disulfida pada Au dalam pelarut heksan). Spektrum SPR untuk ketiga jenis molekul azobenzen disulfida diperlihatkan pada Gambar 5. Perbandingan spektrum pada kondisi sebelum dan sesudah adsorpsi memperlihatkan adanya pergeseran posisi minimum yang mengindikasikan adanya pertumbuhan lapisan molekul azobenzen disulfida pada permukaan Au. Monolayer $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ memiliki pergeseran spektrum yang lebih besar dibandingkan dengan monolayer $CNAzC_{12}SSC_{12}$ dan $HAzC_{12}SSC_{12}$, sehingga diperkirakan $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ akan membentuk monolayer dengan ketebalan yang lebih besar dari $CNAzC_{12}SSC_{12}$ dan $HAzC_{12}SSC_{12}$.

Parameter optik yang berupa ketebalan monolayer (d) dan indeks biasanya ditentukan melalui fitting dengan model yang dirumuskan berdasarkan persamaan Fresnel. Fitting data spektrum Au dengan menggunakan software WINSPALL menghasilkan ketebalan Au $d = 48,6$ nm dan konstanta dielektrik $\epsilon = -12,89 \pm 1,37i$, serta konstanta dielektrik heksan $\epsilon = 1,88 \pm 0$. Dengan memilih nilai indeks bias $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ $n=1,5$ ($\epsilon=2,25$), diperoleh ketebalan monolayer $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ 52\AA , ketebalan monolayer $CNAzC_{12}SSC_{12}$ $42,6\text{\AA}$, dan ketebalan monolayer $HAzC_{12}SSC_{12}$ $39,4\text{\AA}$.

Perbandingan ketiga monolayer azobenzen disulfida tersebut memperlihatkan molekul yang memiliki gugus fungsi berbeda mempunyai parameter optik yang bervariasi, bergantung kepada jenis gugus fungsinya seperti yang ditunjukkan pada Table 3. Simbol L-Nr pada tabel tersebut menunjukkan nomor lapisan, 1 adalah prisma, 2 adalah Au, 3 adalah monolayer azobenzen disulfida, dan 4 adalah pelarut heksan. $EpsX$ -real adalah konstanta dielektrik real dan $EpsX$ -imag menunjukkan konstanta dielektrik imajiner. Data hasil fitting untuk lapisan Au dan pelarut heksan pada ketiga jenis monolayer tersebut sesuai dengan nilai literatur (d Au ~ 48 nm; ϵ Au $= -12,9 \pm 1,3i$; ϵ heksan $= 1,87 \pm 0$) (Aldrich, 2003).

Pembentukan Monolayer Azobenzen Disulfida dan Karakterisasinya (Fitrilawati, dkk.)



Gambar 5. Spektrum SPR monolayer azobenzen disulfida dalam pelarut heksan dibandingkan dengan spektrum Au dalam pelarut heksan (A) $C_6AzC_{12}SSC_{18}$ (B) $CNAzC_{12}SSC_{12}$ (C) $HAzC_{12}SSC_{12}$

Tabel 3. Parameter optik monolayer azobenzen disulfida

Monolayer	Sistem lapisan (Layer-System)			
	L-Nr	Thick/[Å]	EpsX-real	EpsX-imag
C ₆ AzC ₁₂ SSC ₁₈	1	0	3,405	0
	2	485,9	-12,89	1,37
	3	52	2,25	0
	4	0	1,88	0
CNAzC ₁₂ SSC ₁₂	1	0	3,405	0
	2	487,6	-12,91	1,35
	3	42,6	2,25	0
	4	0	1,88	0
HAzC ₁₂ SSC ₁₂	1	0	3,405	0
	2	468,5	-12,97	1,44
	3	39,4	2,25	0
	4	0	1,87	0

Ketebalan yang dihasilkan monolayer sebanding dengan panjang struktur molekul yang membentuk monolayer. Ketebalan monolayer C₆AzC₁₂SSC₁₈ (d=52 Å) lebih besar dibanding dengan ketebalan monolayer CNAzC₁₂SSC₁₂ (d=42,6 Å) dan monolayer HAzC₁₂SSC₁₂ (d= 39,4 Å). Hal ini terjadi karena molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ memiliki gugus fungsi heksil (C₆H₁₃) yang lebih panjang daripada gugus CN pada CNAzC₁₂SSC₁₂ ataupun H pada HAzC₁₂SSC₁₂.

KESIMPULAN

Hasil yang didapat menunjukkan molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ dan molekul CNAzC₁₂SSC₁₂ dapat membentuk SAMs dalam waktu yang relatif lebih cepat dibanding molekul HAzC₁₂SSC₁₂. *Surface coverage* molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ lebih besar dibandingkan dengan molekul CNAzC₁₂SSC₁₂ dan molekul HAzC₁₂SSC₁₂. Ketebalan monolayer azobenzen disulfida yang terbentuk bergantung kepada panjang rantai dan gugus fungsinya. Monolayer C₆AzC₁₂SSC₁₈ yang dihasilkan relatif lebih tebal dibanding dengan monolayer CNAzC₁₂SSC₁₂ dan monolayer HAzC₁₂SSC₁₂. Ketebalan tersebut menggambarkan keteraturan dan kerapatan penyusunan molekul dalam membentuk monolayer. Dibandingkan molekul azobenzen yang lain, molekul C₆AzC₁₂SSC₁₈ memiliki potensi yang lebih baik untuk membentuk SAMs, karena memiliki tahapan adsorpsi yang cepat, dengan

ketebalan yang optimal dan penyusunan molekul yang teratur. Hal ini mengindikasikan bahwa substituen dari molekul memiliki peranan yang penting dalam proses pembentukan monolayer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada TPSDP UNPAD yang memberikan dana kepada penulis (F.F.) melalui proyek *Research Grant*.

DAFTAR PUSTAKA

- Akiyama, H., Tamada, K., Nagasawa, J., Abe, K., Tamaki, T. (2003), *Journal of Physical Chemistry B*, 107, 130.
- Aldrich (2003), *Handbook of chemical and laboratory equipment, Southeast Asia*, page 992. Campbell, H., Kress, J.D., Martin, R.L., Smith, D.L., Barashkov, N.N., Ferraris, J.P. (1997), *Applied Physics. Letters*, 71, 3528.
- Arthur, W., Adamason, A. (1990), *Physical chemistry of surfaces 5th edition*, John Willey and Son Interscience.
- Flink, S., van Veggel, F. C. J. M., and Reinhoudt, D. N. (2000), *Advanced materials*, 12, 1315.
- Gray, J. J. (2004), *Current opinion in structural Biology*, 14, 110
- Ishida, T., Nishida, N., Tsuneda, S., Hara, M., Sasabe, H., Knoll, W. (1996), *Japanese Journal of Applied. Physics*, 35, 1710
- Joachim, C., Gimzewski, J.K., Aviram, A. (2000), *Nature*, 408, 541.
- Kretschmann, E., Raether, H.Z. (1968), *Naturforsch. Teil*, 23, 2135
- Lehn, J. M. (1993), *Science*, 260, 1762.
- Li, L., Chen, S., and Jiang, S. (2003), *Langmuir*, 19, 2974
- Martinsa, M.C.L., Fonsecaa, C., Barbosaa, M.A., Ratner, B.D. (2003), *Biomaterials*, 24, 3697
- Mermut, O., El Halabieh, R.H., and Barret, C.J. (2004), *Pure applied chemistry*, 76,1445.
- Petrash, S., Cregger, T., Zhao, B., Pokidysheva, E., Foster, M. D., Brittain, W. J., Sevastianov, V., and Majkrzak, C. F. (2001), *Langmuir*, 17, 7645.
- Tamada, K., Akiyama, H., Wei, T.X. (2002), *Langmuir*, 18, 5239.
- Tie, Y., Calonder, C., and Van Tassel, P. R. (2003), *Journal of colloid and interface science*, 268, 1.

Ulman, A. (1991), An introduction to ultrathin organic films, from Langmuir-Blodgett to self-assembly, London: Academic Press.

Xia, N., Hu, Y., Grainger, D. W., and Castner, D. G. (2002), *Langmuir*, 18, 3255

Winter, B., Weber, R., and Hertel, I.V. (2003), *Journal of physical chemistry B*, 107, 7768.