



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**FABRIKASI DAN ORGANISASI FILM MONOMOLEKULER  
ARCHAEAL TETRAETHER LIPID  
DI ATAS SUBSTRAT WAFER SILIKON  
DENGAN METODE LANGMUIR BLODGETT**

**DISERTASI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor**

**Sri Vidawati  
0606158772**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
DEPARTEMEN FISIKA  
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL  
JAKARTA  
2010**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Sri Vidawati

NPM : 0606158772

Tanda Tangan : .....

Tanggal : 2010

Universitas Indonesia

## HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh:

Nama : Sri Vidawati  
 NPM : 0606158772  
 Program Studi : Ilmu Material  
 Judul Disertasi : Fabrikasi dan Organisasi Film Monomolekuler  
 Archaeal Tetraether Lipid di atas Substrat Wafer  
 Silikon dengan Metode Langmuir-Blodgett.

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

#### TIM PENGUJI

Dr. Adi Basukriadi M.Sc	(Ketua)	(.....)
Dr. Bambang Soegijono	(Promotor)	(.....)
Dr. Muhammad Hikam	(KoPromotor)	(.....)
Prof. Dr. H. J. Freisleben	(Anggota)	(.....)
Dr. Na Peng Bo	(Anggota)	(.....)
Dr. Harini Sosiati	(Anggota)	(.....)
Dr. Sastra Kusumawijaya	(Anggota)	(.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal :

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat mendapatkan gelar Doktor pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Departemen Fisika, Jurusan Ilmu Material, Universitas Indonesia Jakarta. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, tidak mungkin disertasi ini bisa diselesaikan dengan baik. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Bambang Soegijono, selaku Promotor dan Ketua Program Studi Ilmu Material yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk membantu dan membimbing dalam penulisan disertasi ini.
2. Dr. Muhammad Hikam, selaku Ko-Promotor yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penulisan disertasi ini.
3. DAAD ( Deutscher Akademischer Austauschdienst) yang telah memberi beasiswa selama penelitian di Jerman.
4. Dr. Ulrich Rothe yang telah membimbing dengan penuh kesabaran selama penelitian di Jerman.
5. Prof. Dr. Udo Bakowsky, Dr. Karin Dölling, Dr. Monika P, Mario Bandulik dan Johannes Sitterberg yang telah banyak membantu penulis selama penelitian di Jerman.
6. Prof. Dr. H.J. Freisleben dan Dr. Na Peng Bo yang telah banyak membantu untuk mendapatkan Host Institute di Jerman dalam penelitian ini.
7. Kementerian Negara Pemuda dan Olahraga Republik Indonesia yang telah memberikan bantuan Beasiswa pada tahun 2009.
8. Ibunda dan Keluarga yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk menyelesaikan pendidikan ini.
9. Seluruh Staf dan Karyawan di Program Pasca Sarjana Ilmu Material, Departemen Físika, Fakultas Matemátika dan Ilmu Pengetahuan Alam

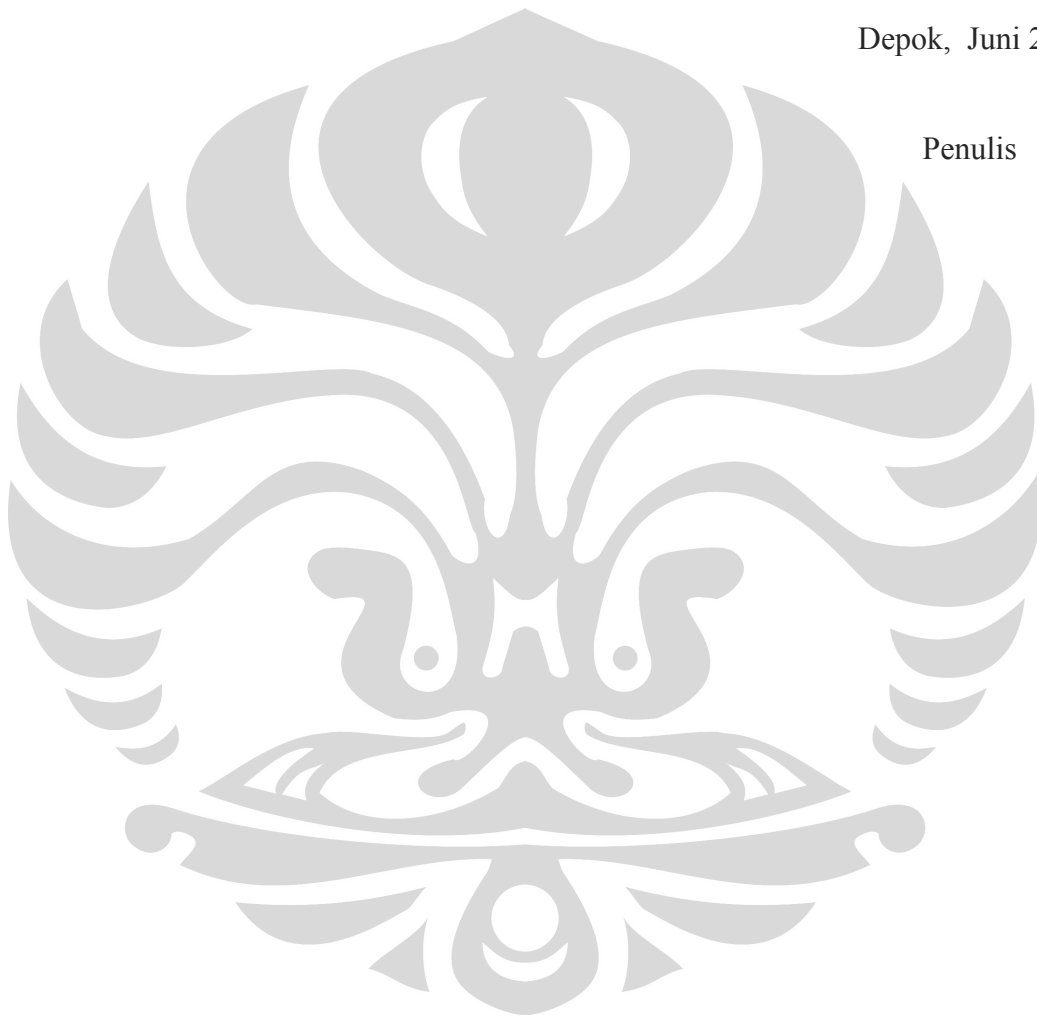
Universitas Indonesia

Universitas Indonesia serta semua pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pengembangan Ilmu Pengetahuan dan kesejahteraan masyarakat.

Depok, Juni 2010

Penulis



Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sri Vidawati  
NPM : 0606158772  
Program Studi : Ilmu Material  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Disertasi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Fabrikasi dan Organisasi Film Monomolekuler Archaeal Tetraether Lipid di atas Substrat Wafer Silikon dengan Metode Langmuir-Blodgett.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : Mei 2010  
Yang Menyatakan

(Sri Vidawati)

## ABSTRAK

Name : Sri Vidawati  
 Program Study : Material Sain  
 Title : Fabrikasi dan Organisasi Film Monomolekuler Archaeal Tetraether Lipid di atas Substrat Wafer Silikon dengan Metode Langmuir-Blodgett.

Riset mengenai organisasi monomolekuler dari archaeal tetraether lipid sangat menarik karena molekul ini sangat stabil sifat kimia maupun fisiknya dan tidak mudah terdegradasi oleh mikrobial. Film monolayer yang memiliki ketebalan hanya beberapa nanometer merupakan kunci yang sangat penting pada aplikasinya dibidang nanobiomedikal, nanoteknologi, dan nanobiomaterial.

Telah dilakukan fabrikasi film monolayer archaeal tetraether lipid dari *Thermoplasma Acidophilum* dan *Sulfolobus Metallicus* dengan menggunakan teknik Langmuir-Blodgett. Eksperimen ini dilakukan pada temperatur  $19^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$  dengan air murni sebagai subfase. Archaeal tetraether lipid 1 mMol dilarutkan didalam larutan kloroform 50 ml dan untuk setiap eksperimen pembentukan film digunakan Archaeal tetraether lipid sebesar  $30\mu\text{l}$ - $50\mu\text{l}$ . Film Langmuir ditransfer pada substrat wafer silikon yang telah dimodifikasi permukaannya menjadi bersifat Hidrofobik, Hidrofilik, dan Aminosilanisation.

Film monolayer pada wafer silikon dikarakterisasi dengan AFM untuk melihat apakah film archaeal tetraether lipid terbentuk pada substrat, ketebalannya serta morfologi dan organisasi molekul. Elipsomer juga digunakan untuk mengkarakterisasi ketebalan film monolayer yang menerangkan kombinasi konfigurasi domain lipid pada posisi tegak (upright) atau posisi baring (horse-shoe).

Hasil riset memperlihatkan bahwa semua film monolayer paling banyak terdiri dari campuran konfigurasi posisi molekul lipid yang tegak (upright) dan baring (horse-shoe). Film diatas permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik menghasilkan film yang paling homogen dibandingkan dengan film diatas permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation yang membentuk lipid hanya berbentuk pulau-pulau yang kecil.

Kapasitas panas film lipid ini juga diukur dengan menggunakan Differential Scanning Calorimetry (DSC) dari temperatur  $26^{\circ}\text{C}$  hingga  $100^{\circ}\text{C}$ . Hasil memperlihatkan bahwa kapasitas panas untuk asimetrik archaeal tetraether lipid (GDNT) lebih rendah dari film simetrik archaeal tetraether lipid. Perbedaan nilai kapasitas panas ini disebabkan oleh ikatan hidrogen yang terjadi pada asimetrik archaeal tetraether lipid dan ikatan ionik pada simetrik archaeal tetraether lipid.

Kata Kunci:

**Archaeal Tetraether lipids, Langmuir-Blodgett films, Atomic Force Microscopy, Ellipsometry, Differential Scanning Calorimetry, Hydrophilic, Hydrophobic, Aminosilanisation.**

Universitas Indonesia

## ABSTRACT

Name : Sri Vidawati  
 Program Study : Material Science  
 Title : Fabrication and organization monomolecular film of  
 Archaeal Tetraether Lipids on the Silicon Wafers  
 Prepared by Langmuir-Blodgett Method

The molecular organization of archaeal tetraether lipids is very interesting because they are extra-ordinary stable against chemical and microbial degradation. Film membranes (several nanometer thickness) are the key features of emerging nanotechnologies such as nanobiomaterial, nanobiomedical, nanobiosensors applications.

Fabrication and monomolecular organizations of the main archaeal tetraether lipids from the *Thermoplasma Acidophilum* and *Sulfolobus Metallicus* were studied by means of a Langmuir-Blodgett film balance. The experiments were performed at a temperature of  $19^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  with pure water as the subphase. The archaeal tetraether lipids 1 mMol were dissolved in chloroform 50 ml with the quantity solution 30 $\mu\text{l}$ -50 $\mu\text{l}$  for the Langmuir-Blodgett experiment.

Membrane films were transferred on silicon wafers substrate. Before transferring film, the surface of the substrate were prepared to become Hydrophobic, Hydrophilic, or Aminosilanization. These properties of the surface of the silicon wafers were very important for the success of the depositions membrane films. The monolayer films were further investigated using ellipsometry and atomic force microscopy to see whether the archaeal tetraetherlipids membrane films were formed on the substrate. Using Ellipsometry, the thickness of monolayer films was represented as a mean value combination of domains (horse-shoe and upright configuration of domain). Meanwhile, Atomic Force Microscopy (AFM) was employed to observe the surface morphology.

Deposition films were made at the plateau region with the highest surface pressure of the Langmuir Blodgett experiment. The results showed that all the films were mostly consist of mixture between horseshoe-orientation and upright standing conformation of the lipids. The most homogeneous organization formation depends on the surface properties. The hydrophobic transfer showed the most homogeneous organization than hydrophilic or aminozilanisation. The transferred film on hydrophilic or aminosilanization surfaces, the lipids are arranged only in small islands.

The behavior of archaeal tetraether lipids films in thermodynamic equilibrium is consistent with these experiments. The heat capacity was measured with Differential Scanning Calorimetry with the temperature between  $26^{\circ}\text{C}$  until  $100^{\circ}\text{C}$ . The results showed that the heat capacity for asymmetric archaeal tetraether lipids film are lower than the symmetric archaeal tetraether lipids film. This different value of the heat capacity are probably due to hydrogen



bonding for asymmetric archaeal tetraether lipids and ionic bonding for symmetric archaeal tetraether lipids.

**Keyword:** Archaeal Tetraether lipids; Langmuir-Blodgett films; Atomic Force Microscopy; Ellipsometry; Differential Scanning Calorimetry; Hydrophilic; Hydrophobic; Aminosilanization.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBARAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBARAN PERJANJIAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1. 1. Latar Belakang.....	1
1. 2. Perumusan Masalah.....	2
1. 3. Tujuan Penelitian .....	2
1. 4. Hipotesa.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2. 1. Struktur dan Sifat dari Lipid Membran.....	4
2. 2. Molekul Amfifilik.....	5
2. 2. 1. Monolayer/Membran Films dari	
Molekul Amfifilik.....	5
2. 3. Film Monolayer/Membran.....	6
2. 3. 1. Tegangan Permukaan – Luas Molekular	
Isotherm.....	6
2. 3. 2. Prinsip Film Langmuir.....	7
2. 3. 3. Sudut Kontak ( <i>Contact Angle</i> ).....	9
2. 4. Film Langmuir Blodgett.....	10
2. 5. Studi Literatur.....	11

	10
<b>BAB III. BAHAN DAN METODE PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3. 1. Lipid dan Bahan .....	14
3. 2. Eksperimen monolayer/membran.....	16
3. 2. 1. Modifikasi Substrat Wafer Silikon.....	16
3. 2. 2. Fabrikasi Monolayer/Membran.....	18
3. 2. 3. Deposisi Films.....	19
3. 3. Karakterisasi Film Archaeal Tetraether Lipid.....	20
3. 3. 1. Ellipsometer.....	20
3. 3. 2. Atomic Force Microscopy (AFM).....	21
3. 3. 3. Differential Scanning Calorimetry (DSC)...	21
<b>BAB IV. HASIL DAN DISKUSI.....</b>	<b>22</b>
4. 1. Hasil dan Diskusi.....	22
4. 1. 1. Film Langmuir.....	22
4. 1. 2. Hubungan Antara Hasil Data AFM dan Ellipsometer.....	26
4. 1. 2. 1. GDNT (Glycerol Dialkyl Nonitol Tetraether).....	27
4. 1. 2. 2. Caldarchaeol.....	31
4. 1. 2. 3. Caldarchaeol-CyCl.....	34
4. 1. 2. 4. Caldarchaeol-PO <sub>4</sub> .....	38
4. 1. 3. Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	44
4. 2. Pembahasan .....	45
<b>BAB V. KESIMPULAN.....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>58</b>

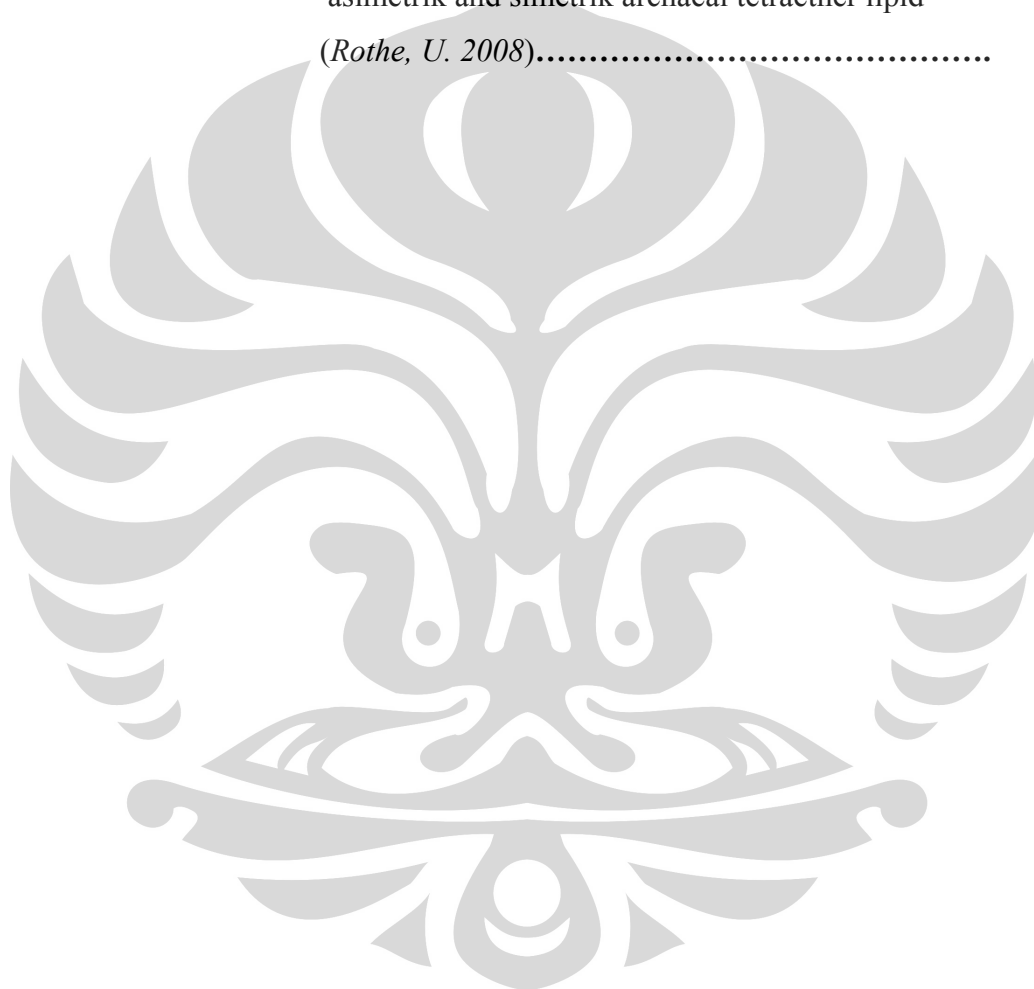
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Struktur Membran Fosfolipid ( <i>wikipedia figure reference</i> ).....	4
Gambar 2. 2	Kurva Tegangan Permukaan vs Luas Molekuler ( $\pi$ -A-Isotherm) pada fase yang berbeda : fase gas–fase cair–gas–fase cair–fase cair–padat– fase padat ( <i>Rothe, U, 2008</i> ).....	6
Gambar 2.3	Plat Wilhelmy.....	7
Gambar 2. 4	Skema sistem sudut kontak dari tetesan zat cair pada permukaan zat padat.....	9
Gambar 2. 5	Tipe dari transfer film Langmuir-Blodgett.....	11
Gambar 3. 1	(a) Struktur Lipid Palmatic acid ( $C_{16}H_{31}O_2$ ).....	15
	(b) Struktur Lipid DHGPG ( $C_{38}H_{79}O_8P$ ).....	15
	(c) GDNT.....	15
	(d) Caldarchaeol.....	15
	(e) Caldarchaeol-CyCl.....	15
	(f) Caldarchaeol- $PO_4$ .....	15
Gambar 3.2	Peralatan Langmuir-Blodgett.....	19
Gambar 3.3	Tipe dari transfer Langmuir-Blodgett .....	20
Gambar 3.4	Elipsometer .....	20
Gambar 3.5.	Atomic Force Microscopy (AFM).....	20
Gambar 3.6	Differential Scanning Calorimetry(DSC).....	21
Gambar 4.1	Kompresi-rekompresi tegangan permukaan vs Luas molekuler isotherm pada suhu 19°C, pH 5,5 untuk Caldarchaeol-CyCl 30 $\mu$ l 1 mMol (biru), GDNT 30 $\mu$ l 1 mMol (kuning), Caldarchaeol- $PO_4$ (dadu) 30 $\mu$ l 1 mMol.....	24
Gambar 4.2	Tegangan permukaan vs Luas molekuler isotherm pada suhu 19°C, pH 5,5 untuk Caldarchaeol- $PO_4$	

	30 $\mu$ l 1mMol (hijau) , GDNT 30 $\mu$ l 1mMol (biru), Caldarchaeol 30 $\mu$ l 1 mMol (dadu), Caldarchaeol-CyCl (kuning) 30 $\mu$ l 1mMol.....	<b>25</b>
Gambar 4. 3	GDNT pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 3,7 nm ( $\pm$ 0, 3 nm) dengan elipsometer.....	<b>28</b>
Gambar 4.4	GDNT pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 2,0 nm ( $\pm$ 0, 3 nm) dengan elipsometer.....	<b>28</b>
Gambar 4.5	GDNT hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM...	<b>29</b>
Gambar 4.6	Foto tiga dimensi film GDNT hidrofobia (transfer tipe-X) dengan AFM.....	<b>29</b>
Gambar 4.7	GDNT hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM....	<b>30</b>
Gambar 4.8	Foto tiga dimensi film GDNT hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	<b>30</b>
Gambar 4.9	Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 2,8 nm ( $\pm$ 0, 3 nm) dengan elipsometer....	<b>31</b>
Gambar 4.10	Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon aminosilanisation dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 1,8 nm ( $\pm$ 0, 3 nm) dengan elipsometer .....	<b>32</b>
Gambar 4.11	Caldarchaeol hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM.....	<b>32</b>
Gambar 4.12	Foto tiga dimensi film caldarchaeol hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM.....	<b>33</b>
Gambar 4.13	Caldarchaeol aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	<b>33</b>
Gambar 4.14	Foto tiga dimensi film caldarchaeol aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	<b>34</b>
Gambar 4.15	Caldarchaeol-CyCl pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 3,5 nm ( $\pm$ 0, 5 nm) dengan elipsometer.....	<b>35</b>

Gambar 4.16	Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 3,6 nm ( $\pm 0,3$ nm) dengan elipsometer.....	35
Gambar 4. 17	Caldarchaeol-CyCl pada permukaan wafer silikon aminosilanisation dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 3,3 nm ( $\pm 0,3$ nm) dengan elipsometer.....	36
Gambar 4.18	Caldarchaeol-CyCl hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	36
Gambar 4.19	Foto tiga dimensi film caldarchaeol-CyCl hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	37
Gambar 4. 20	Caldarchaeol-CyCl aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	37
Gambar 4.21	Foto tiga dimensi film caldarchaeol-CyCl aminosilanisation (transfer tipe-Y).....	38
Gambar 4.22	Caldarchaeol- PO <sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon aminosilanisation dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 1,7 nm ( $\pm 0,5$ nm) dengan elipsometer.....	39
Gambar 4.23	Caldarchaeol- PO <sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 1,0 nm ( $\pm 0,2$ nm) dengan elipsometer .....	39
Gambar 4.24	Caldarchaeol- PO <sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 4,5 nm ( $\pm 0,5$ nm) dengan elipsometer .....	40
Gambar 4.25	Caldarchaeol-PO <sub>4</sub> aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	41
Gambar 4.26	Foto tiga dimensi film caldarchaeol -PO <sub>4</sub> aminosilanization (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	41
Gambar 4.27	Caldarchaeol-PO <sub>4</sub> hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	42
Gambar 4.28	Foto tiga dimensi film caldarchaeol -PO <sub>4</sub> hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM.....	42
Gambar 4.29	Caldarchaeol-PO <sub>4</sub> hidrofobik (transfer tipe-X)	

	Dengan AFM.....	43
Gambar 4.30	Foto tiga dimensi film caldarchaeol –PO <sub>4</sub> hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM.....	43
Gambar 4.31	Kapasitas panas Film Monolayer Caldarchaeol-CyCl, Caldarchaeol-PO <sub>4</sub> , GDNT, di atas permukaan wafer silikon.....	44
Gambar 4.32	Model dari organisasi molekular bolaamfilik asimetrik and simetrik archaeal tetraether lipid ( <i>Rothe, U. 2008</i> ).....	47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Film monolayer tetraether lipid yang hanya memiliki ketebalan beberapa nanometer mempunyai potensi yang sangat besar pada berbagai macam bidang diantaranya pada bidang biomedis, biomaterial, biosensor, dan nano teknologi (*Dante et al. 1997, Gambacorta et al. 1995*). Selain itu tetraether lipid ini memiliki keistimewaan karena sifatnya yang sangat stabil dari reaksi kimia dan tahan terhadap degradasi mikrobial.

Lapisan film dapat dibuat dengan berbagai macam metode misalnya dengan *sputtering, molekular beam epitaxy, langmuir-blodgett, self-assembly*, dll. Untuk pembuatan lapisan film dari senyawa organik biasanya dengan menggunakan metode *Langmuir-Blodgett, spin coating, dan self-assembly*. Tetapi untuk mendapatkan film dengan ketebalan yang ultra tipis (hanya beberapa nanometer) dan homogen banyak digunakan teknik Langmuir-Blodgett.

Metode Langmuir-Blodgett adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan dan menjanjikan untuk pembuatan ultra lapisan film karena memiliki keistimewaan sebagai berikut:

1. Dapat mengontrol dengan tepat dan teliti ketebalan film monolayer/membran.
2. Menghasilkan film yang sangat homogen.
3. Dapat dibuat film dengan struktur lapisan yang dapat diatur dengan berbagai komposisi pada substrat.

Pada riset ini dilakukan pembuatan lapisan tipis tetraether lipid dan mempelajari organisasi molekulernya pada permukaan wafer silikon. Lapisan tipis ini memiliki aplikasi yang sangat besar pada bidang nanoteknologi, material sains dan biomimetik kimia.



## 1. 2. Perumusan Masalah

Pembuatan film tipis dengan metode Langmuir-Blodgett banyak dilakukan oleh banyak orang dan banyak yang berhasil, hal ini telah dilakukan sejak tahun 1910 (ketika Irwing Langmuir berhasil membuat film tipis *fatty acid* pada permukaan padat) hingga sekarang ini terus berkembang dengan berbagai macam lipid. Keberhasilan tersebut karena telah dikuasainya parameter-parameter pembuatan yang sangat berpengaruh pada keberhasilan. Tentunya, keberhasilan tersebut tidak dapat diklaim untuk semua jenis material. Salah satu material yang sulit dibuat sebagai film tipis sampai saat ini adalah tetraether lipid karena struktur lipidnya yang unik (misalnya tidak seperti struktur lipid pada umumnya). Oleh karenanya, melalui penelitian ini dilakukan :

Optimasi parameter-parameter yang mempengaruhi pembentukan film monolayer (membran) dengan metode Langmuir-Blodgett yang meliputi sifat permukaan substrat (hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation), banyaknya bolaamfilik tetraether lipid yang digunakan pada tiap pembuatan film monolayer, dan yang utama tingkat kebersihan alat, temperatur, getaran di sekitar, dll. Dengan keadaan peralatan dan parameter pendukung yang optimum diharapkan dapat dibuat film monolayer dari tetraether lipid yang memiliki struktur double rantai karbon yang khas.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Riset ini lebih memfokuskan pada fabrikasi, analisis struktur dan mempelajari organisasi molekuler film monolayer dari bolaamfilik simetrik dan asimetrik archaeal tetraether lipid. Secara sistematik, tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Pembuatan film monolayer (membran) pada substrat wafer silikon dengan permukaan (substrat) yang hidrofilik, hidrofobik dan aminosilanisation pada interface air-udara dengan menggunakan teknik Langmuir-Blodgett.

2. Mengukur dan menganalisa ketebalan dan kekasaran dari film monolayer (membran) dengan menggunakan elipsometer,
3. Menganalisa morfologi film monolayer (membran) dengan menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM).
4. Mengukur kapasitas panas film monolayer (membran) pada wafer silikon dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC).

#### 1.4 Hipotesa

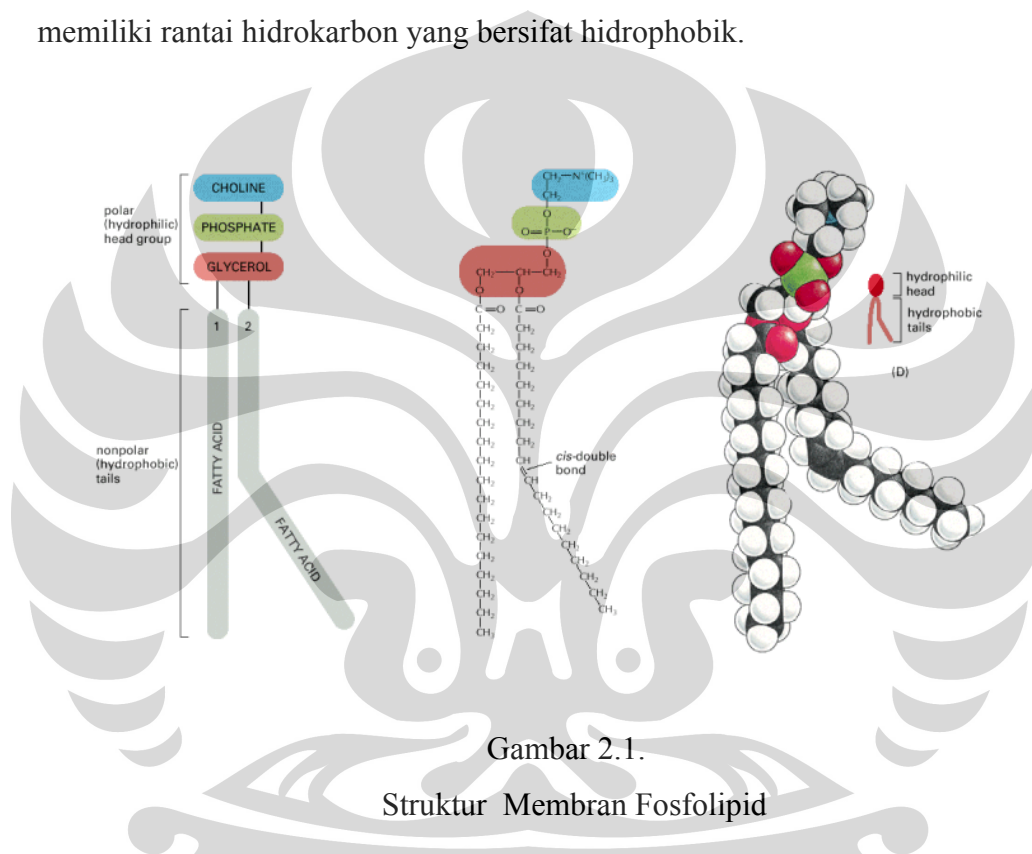
Terkait dengan rumusan permasalahan dan tujuan penelitian, ada beberapa hipotesa dalam penelitian ini.

1. Tetraether lipid dapat dibuat film monolayer (membran) pada permukaan wafer silikon di interface air-udara.
2. Tetraether lipid dapat memiliki kurva yang bersifat kristalin (tegangan permukaan – luas molekul, isotherm) dari eksperimen Langmuir-Blodgett.
3. Konfigurasi organisasi molekul lipid dapat berada pada posisi baring/horseshoe atau tegak/upright.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Struktur dan Sifat dari Membran Lipid

Sel membran biasanya terdiri dari 50% lipid dan 50% protein. Lipid memiliki struktur amfifilik yang terdiri dari grup kepala yang bersifat polar dan memiliki rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik.



Gambar 2.1.

Struktur Membran Fosfolipid

Lipid adalah lemak, seperti minyak dan tidak larut di dalam air. Struktur lipid mempunyai dua hal penting, yakni sifat hidrofilik yaitu senang sama air dan hidrofobik yang bersifat menolak air. Fungsi biologis yang terpenting dari lipid diantaranya untuk menyimpan energi, sebagai komponen struktural sel membran dan sebagai pensinyalan dari molekul. Fosfolipid merupakan golongan senyawa lipid yang berfungsi sebagai bahan penyusun sel membran. Molekul fosfolipid dapat dilihat terdiri dari dua bagian, yaitu gugus kepala dan gugus ekor. Bagian gugus kepala memiliki muatan positif dan negatif serta bagian gugus ekor tanpa

muatan. Bagian gugus kepala karena bermuatan bersifat hidrofilik, sedangkan bagian gugus ekor bersifat hidrofobik.

## **2. 2. Molekul Amfifilik**

### **2. 2. 1. Monolayer Membran Films dari Molekul Amfifilik**

Amfifilik adalah molekul yang tidak larut di dalam air dengan salah satu bagiannya bersifat hidrofilik dan bagian lainnya bersifat hidrofobik. Ini semua membuat energi permukaan dan tegangan permukaan dari material menjadi berkurang yang mengakibatkan dengan mudahnya terbentuk permukaan yang baru. Keseimbangan antara molekul hidrofilik dan hidrofobik seperti misalnya molekul amfifilik pada interface air-udara, dimana rantai hidrofobiknya berlawanan arah dengan udara dan gugus kepala hidrofiliknya searah dengan air.

Amfifilik biasanya tidak larut dalam air dan memiliki tegangan permukaan yang lebih rendah dari air sehingga bisa membentuk lapisan monolayer pada interface air-udara. Lapisan monolayer ini disebut juga film Langmuir.

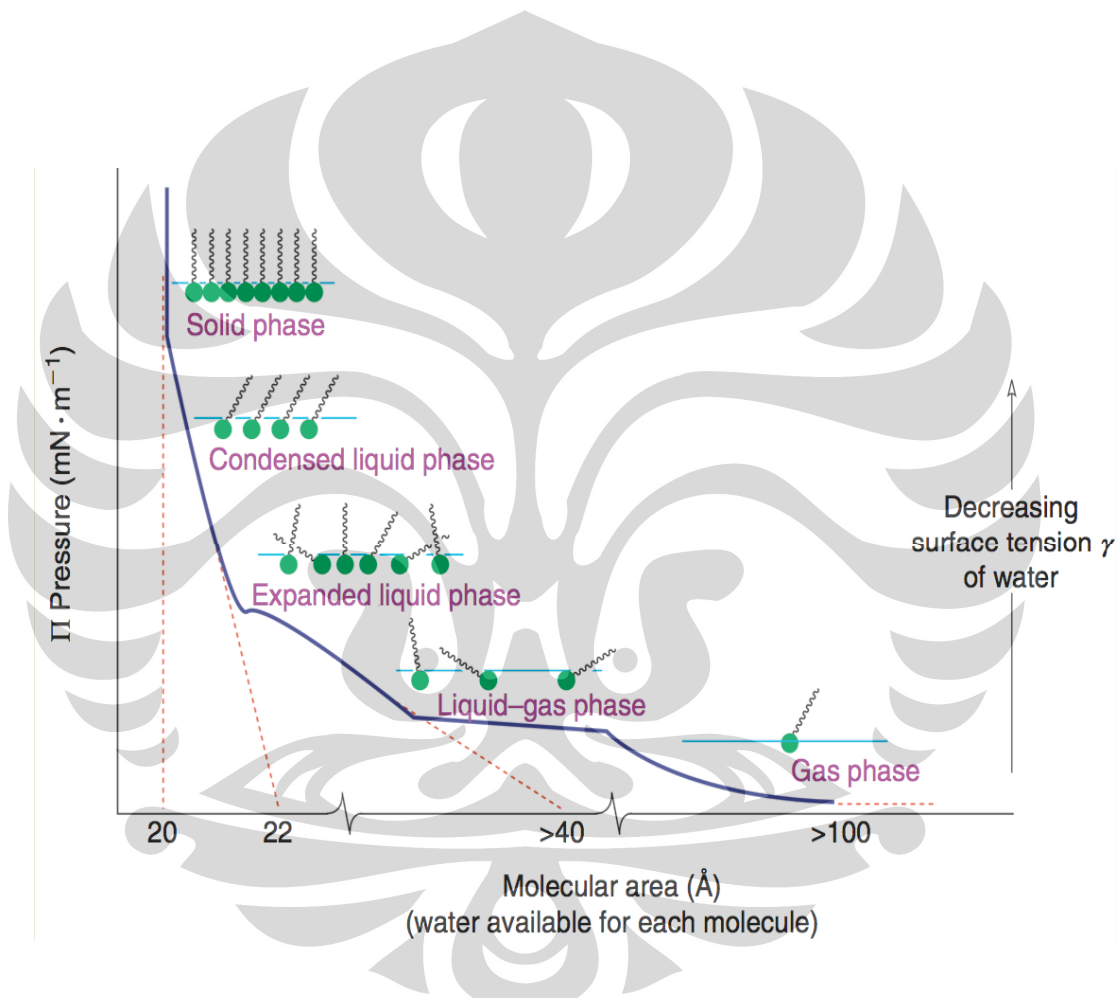
Sebagian besar film yang bersifat hidrofobik dibuat dari molekul yang tidak larut dengan subfase, sedangkan grup kepala hidrofilik berguna untuk menjaga molekul tetap pada lingkungan interfacenya serta mencegah ambruknya film yang terbentuk (*Huang et al. 2002*).

Film monolayer atau membran yang dibentuk dari amfifilik yang tidak larut dengan air. Amfifilik ditetaskan pada permukaan air dengan pelarut yang mudah menguap (misalnya klorofom). Keseimbangan permukaan digunakan untuk membentuk monolayer dan juga dengan berbagai tehnik pengukuran untuk mengkarakterisasi sifat monolayer ini.

## 2. 3. Film Monolayer/Membran

### 2. 3. 1. Tegangan Permukaan – Luas Molekular Isotherm

Hal yang sangat penting pada pembuatan membran film monolayer adalah pengukuran Tegangan Permukaan terhadap Luas Molekul ( $\Pi$ -A) yang dilakukan pada temperature tetap dan sama (*isotherm*). Skematika  $\Pi$ -A *Isotherm* dapat dilihat pada Gambar (2.2).



Gambar 2. 2

Kurva Tegangan Permukaan vs Luas Molekular ( $\Pi$ -A Isotherm) pada fase yang berbeda : fase gas – fase cair-gas – fase cair – fase cair-padat – fase padat

Kurva Tegangan Permukaan-Luas Molekul isotherm memberikan informasi bahwa keadaan stabil dari monolayer/membran pada interface udara-air tergantung dari posisi arah molekul dan transisi fase.

Pada fase gas, jumlah molekul persatuan luas kecil dan biasanya interaksi antara molekul kecil, dengan demikian tegangan permukaan rendah.

Jika luas diperkecil, jumlah molekul persatuan luas membesar mengakibatkan jarak molekular semakin berkurang dan besarnya tegangan permukaan semakin bertambah. Terjadi transisi fase dari keadaan gas ke cair. Pada fase cair, molekul lebih teratur dan koheren.

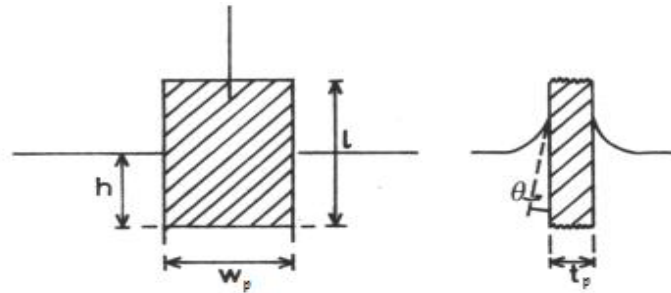
Jika luas diperkecil lagi, artinya jumlah molekul persatuan luas diperbesar akan terjadi transisi fase yang kedua dari fase cair ke fase padat. Pada fase padat susunan molekul teratur dan uniform. Jika tekanan terus diberikan pada monolayer maka akan terjadi “collapse” dan ketidakstabilan film.

### **2. 3. 2. Prinsip Film Langmuir**

Sebelum membuat film Langmuir-Blodgett, hal utama yang harus dilakukan adalah mendapatkan film Langmuir dari kurva Tegangan Permukaan (II)-Luas Molekuler (A). Untuk mendapatkan film Langmuir ini diperlukan suatu kesetimbangan dari sistem dengan berbagai parameter yang akan diuraikan berikut ini.

Tegangan permukaan adalah gaya yang diperlukan untuk menambah luas permukaan per jumlah molekul pada keadaan isotherm. Pengukuran tegangan permukaan pada teknik Langmuir dikenal dengan nama neraca Wilhelmy (*Wilhelmy Balance*) atau metode Wilhelmy.

Bentuk umum dari neraca Wilhelmy adalah plat tipis yang biasanya terbuat dari kaca, kuarsa, mika atau platina, yang dicelupkan pada permukaan air (Gambar 2.3)



Gambar 2.3  
Plat Wilhelmy

Prosedur yang biasa digunakan pada neraca Wilhelmy (*WilhelmyBalance*) adalah mengusahakan plat mengalami pembasahan yang sempurna ( $\cos\theta = 1$ ). Dengan mendefinisikan tegangan permukaan ( $\Pi$ ) sebagai selisih antara tegangan muka air murni  $\gamma_0$  dengan permukaan yang telah dilapisi  $\gamma$ , didapatkan persamaan:

Tegangan permukaan ( $\Pi$ ) monolayer didefinisikan sebagai berikut:

$$\Pi = \gamma_{\text{udara}} - \gamma_{\text{monolayer}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana  $\gamma_{\text{air}}$  adalah tegangan permukaan dari subfase yang bersih di udara dan  $\gamma_{\text{monolayer}}$  adalah tegangan permukaan dari lipid monolayer.

$$\Pi = -\Delta\gamma = -\left[ \frac{\Delta F}{2(t_p + w_p)} \right] \approx -\frac{\Delta F}{2w_p} \dots\dots\dots (2.2)$$

ketika  $w_p \gg t_p$

dimana  $l_p, w_p$  and  $t_p$  adalah dimensi dari plat, dan  $\Delta F$  adalah gaya.

Energi antara monolayer dan substrat akan membuat terjadinya sudut kontak (*contact angle*) antara monolayer dan substrat yang diterangkan oleh persamaan Young-Dupre (persamaan 2.3).

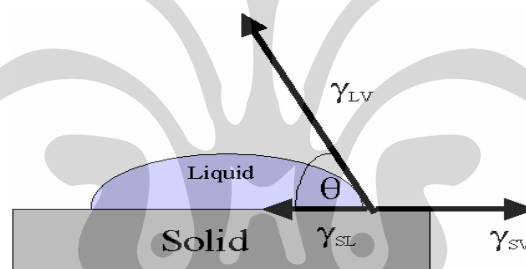
$$\Delta W = (1 - \cos\theta) \gamma_{\text{monolayer}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Ketika  $\theta$  mendekati  $0^\circ$ , Energi  $\Delta W$ , juga mendekati nol, sehingga mengakibatkan energi pada subfase cair dengan sendirinya akan berkurang antara monolayer dan substrat.

### 2.3.3. Sudut Kontak (*Contact Angle*)

Sudut kontak antara zat cair dan zat padat digunakan untuk memprediksi kebasahan (*wetting*) dan sifat adhesi dari tegangan permukaan gas dan zat padat. Sudut kontak ini dapat juga didefinisikan sebagai sudut antara permukaan padat dan sudut tangen dari interface cair-gas dari tetesan zat cair.

Pada tahun 1805 *Thomas Young* mendefinisikan sudut kontak  $\theta$  antara gaya yang terjadi pada tetesan zat cair pada permukaan padat.



Gambar 2.4

Skema sistem sudut kontak dari tetesan zat cair pada permukaan zat padat

Sudut kontak (Gambar 2.4) dari tetesan zat cair pada permukaan zat padat didefinisikan bahwa kesetimbangan mekanika terjadi dibawah pengaruh interaksi tiga tegangan permukaan:

$$0 = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} \cos\theta$$

$$\gamma_{\text{padat-gas}} = \gamma_{sv}, \gamma_{\text{padat-cair}} = \gamma_{sl}, \text{ dan } \gamma_{\text{cait-gas}} = \gamma_{lv}.$$

Kesetimbangan ini dinyatakan dengan persamaan Young. Dimana  $\theta$  adalah sudut kontak, digunakan untuk memperkirakan interaksi tegangan



permukaan padat-gas dan padat-cair sehingga dapat dipersiapkan sifat dari permukaan zat padat (hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation) (*Zisman 1964*).

Subtrat permukaan hidrofilik pada zat padat apabila ditetaskan zat cair memiliki sudut kontak kurang dari  $20^\circ$ . Selain itu permukaan hidrofobik pada zat padat apabila ditetaskan zat cair memiliki sudut kontak antara  $90^\circ - 120^\circ$  serta permukaan aminosilanisation pada zat padat kalau ditetaskan zat cair memiliki sudut kontak antara  $60^\circ - 80^\circ$ .

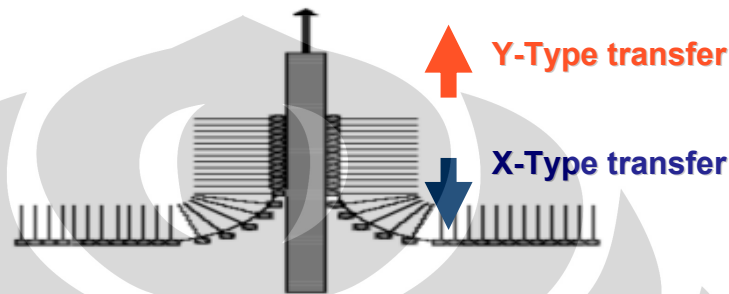
#### 2. 4. Film Langmuir Blodgett

Konsep dasar daripada teknik Langmuir-Blodgett adalah memindahkan film Langmuir yang dibentuk di atas permukaan air ke atas substrat. Film yang termendap biasa disebut dengan film Langmuir-Blodgett. Penyusunan molekul di atas permukaan air dilakukan dengan menekan molekul secara perlahan-lahan dan mempertahankannya untuk tekanan tertentu. Sedangkan pemindahan molekul film dari permukaan air ke atas substrat dilakukan dengan cara menarik substrat dari dalam air ke luar permukaan air secara perlahan-lahan sehingga diperoleh satu lapisan molekul film.

Teknik Langmuir-Blodgett (LB) memungkinkan untuk menyusun molekul dalam bentuk film monolayer. Nama Langmuir-Blodgett diambil dari dua peneliti yaitu *Irving Langmuir* dan *Katherine Blodgett* yang telah berjasa mengembangkan teknik tersebut pada tahun 1930-an. Dengan teknik ini dimungkinkan untuk menyusun molekul film dan memendapkannya dalam skala Angstrom ( $10^{-10}$  m) dengan kualitas lapisan yang homogen. Jenis bahan yang memungkinkan untuk diendapkan menggunakan teknik LB adalah bahan organik atau kombinasi organik dan logam (*organometallic*) yang memiliki sifat tertentu yaitu tidak larut dalam air dan dapat membentuk lapisan film di atas permukaan air. Teknik ini memerlukan ketelitian dalam pemilihan bahan juga selama proses pembuatan film. Meskipun begitu, hasil film yang diperoleh adalah sangat homogen dengan ketebalan yang sangat akurat.

Transfer film Langmuir-Blodgett ada beberapa macam, diantaranya transfer tipe-X dan transfer tipe-Y yang diperlihatkan pada Gambar 2. 5.

Deposisi film Langmuir-Blodgett pada benda padat sangat tergantung dari banyak faktor, diantaranya arah dan kecepatan dari substrat, tegangan permukaan, komposisi, temperatur dan pH dari subfase.



Gambar 2.5

Tipe dari transfer film Langmuir-Blodgett

## 2. 5. Studi Literatur

Irwing Langmuir adalah orang yang pertama kali memperkenalkan film monolayer pada permukaan air pada tahun 1910. Pada awal tahun 1920 ia berhasil melakukan transfer film molekul asam lemak (*fatty acid*) dari permukaan air ke material padat. *Langmuir* mendapat hadiah Nobel pada bidang Kimia pada tahun 1932 tentang “*surface chemistry*”. Tetapi pada perkembangannya untuk lebih lengkap dan baik dari transfer film monolayer ini disempurnakan oleh *Katherine Blodgett*. Karena banyaknya kontribusi Langmuir dan Blodgett pada sains dan teknologi lapisan tipis, maka teknologi pembuatan lapisan tipis ini dikenal sebagai teknologi Langmuir-Blodgett.

Film Langmuir-Blodgett agak tenggelam pada perang dunia kedua sampai ketika *Kuhn* dan *Möbius* pada tahun 1960-an menemukan bahwa monolayer dapat dibuat dari struktur supermolekular. Perkembangannya hingga sekarang pembuatan film membran organik dengan menggunakan teknik Langmuir-

Blodgett terus berkembang dengan aplikasinya diberbagai bidang terutama sekali aplikasinya pada bidang nanoteknologi membran untuk medikal.

Organisasi molekular film pada interface air-udara pada wafer silikon banyak aplikasinya diberbagai macam bidang diantaranya nanoteknologi, material sains dan biokimia (*Michael et al. 2002*). Dan hingga sampai saat ini fungsional dari molekul amfifilik pada interface air-udara terus dipelajari dan dikembangkan (*Rolandi et al. 1986*), (*Bakowsky et al. 1995, 2000*).

Fase dan organisasi molekular dari natural dan sintesis archaeal tetraether lipid telah dilakukan lebih dari 20 tahun yang lalu hingga sekarang, banyak pendapat yang sejalan dan bertentangan.

Pada eksperimen Strobl's tentang Langmuir-Blodgett dengan tetraether lipid (*Strobl et al. 1985*) berhasil mendapatkan stabilitas film monolayer pada luas molekular  $0,72 \text{ nm}^2$  dan menyatakan bahwa orientasi monomolekular tetraether lipid pada interface air-udara posisi lipid dalam keadaan tegak (*upright standing*).

Sintetik bolaamfifilik lebih fleksibel dan didapatkan konfigurasi lipid pada keadaan baring (horseshoe) dari organisasi molekular pada interface air-udara (*Fuhrhop et al. 1986*). Eksperimen monolayer dengan lipid dari *Archaeobacterium* yang dilakukan oleh *Tomoia et al. (1992)* juga menghasilkan konfigurasi lipid dalam keadaan baring (horse-shoe). Sintetik tetraether bolaamfifilik yang dilakukan oleh *Kim (1992)* juga menghasilkan konfigurasi lipid pada keadaan baring (horse-shoe) dari organisasi molekularnya. Eksperimen *De Rosa (1996)* menerangkan kalau hasil konfigurasi organisasi molekularnya juga pada posisi lipid yang baring (horse-shoe) dengan luas molekular yang lebih besar ( $1,5 \text{ nm}^2$ ).

*Franz et al. (1998)* menerangkan bahwa model organisasi monolayer lipid pada interface air-udara tidaklah mudah atau sulit untuk dijelaskan konfigurasi molekularnya sampai saat ini.

Dimensi tetraether lipid (ketebalan 5-6 nm) merupakan monolayer film yang kelihatannya seperti bilayer/dua lapisan membran (*Stern et al. 1992*).

Konfigurasi lipid pada keadaan tegak (*upright*) dari organisasi molekular tetraether lipid biasanya terjadi pada keadaan metastabil. Tetapi bolaamfifilik tidak dapat terus menjaga kestabilan tegangan permukaannya. Tegangan

permukaan akan jatuh ketika tidak diberikan tekanan pada semua keadaan (fase) (Rolandi *et al.* 1986).

Kalkulasi dengan komputer dilakukan oleh Gabriel *et al.* (2000) memperkirakan ketebalan konfigurasi organisasi molekul tetraether lipid dengan posisi lipid yang tegak (up-right) sekitar 5 nm dan 2 nm untuk posisi lipid yang baring (horseshoe).

Riset yang dilakukan oleh Bakowsky *et al.* (2000), tentang struktur molekular tetraether lipid yang *asimetrik* pada interface air-udara dengan karakterisasi film menggunakan elipsometer, Difraksi Sinar-X dan AFM. Pada riset mereka ini menerangkan model organisasi monolayer tetraether lipid pada interface air-udara apakah berkonfigurasi tegak (up-right) atau baring (horseshoe) tergantung pada lamanya waktu menunggu kesetimbangan lipid sebelum dilakukan pembuatan film Langmuir-Blodgett dan tegangan permukaan.

Sedangkan pada riset ini, dilakukan pembuatan film monolayer natural *simetrik* dan *asimetrik* tetraether lipid diatas substrat wafer silicon pada interface air-udara. Fabrikasi dan Karakterisasi film menggunakan peralatan Langmuir-Blodgett, elipsometer, AFM, dan DSC. Model Organisasi molekulernya pada substrat silikon juga dibahas.

## Bab III

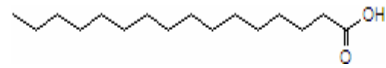
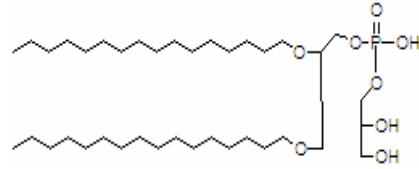
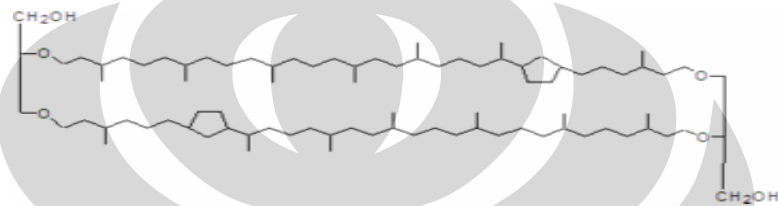
### BAHAN DAN METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lipid dan Bahan

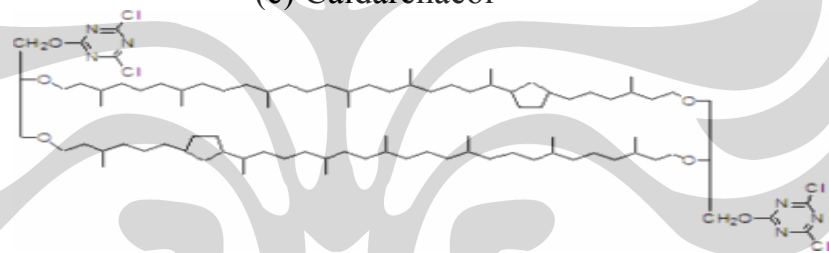
Pada riset ini digunakan lipid dari archae *Sulpholobus Acidocaldarius* (*S. Acidocaldarius*) dan *Thermoplasma Acidophilum* (*Freisleben et al. 1993, 1994, 1995*). Lipid dipersiapkan berdasarkan metode dari (*duPlessis 2008*). Caldarchaeol diekstrak dan dimurnikan mengikuti metode dari Blöcher et al. (1984) yang kemudian dimodifikasi melalui dua step kromatografis dengan DEAE-selulosa (*Freisleben et al. 1996*). Semua bahan kimia didapat dari Merck (Damstadt) atau Sigma (Deisenhofen) yang memiliki kemurnian yang sangat tinggi (99,99%). Caldarchaeol-PO<sub>4</sub> dan caldarchaeol-CyCl disintesa mengikuti paten dari Bakowsky et al. (2006). Penelitian film monolayer ini dilakukan dengan tetraether yang memiliki kemurnian yang sangat tinggi

Lipid pada umumnya terdiri dari gugus kepala yang bersifat hidrofilik dan gugus ekor (rantai karbon) yang bersifat hidrofobik seperti pada Gambar 3.1(a) dan 3.1(b). Lipid seperti ini tidak banyak memiliki kesulitan dalam fabrikasi film Langmuir-Blodgett karena struktur/posisi dari gugus kepala (hidrofilik) dan gugus ekor (hidrofobia) seperti pada Gambar 3.1(a),(b) lebih mudah untuk membentuk kurva isotherm yang kristalin pada film Langmuir. Tetraether lipid memiliki struktur lipid yang khas sehingga membuat tetraether lipid ini memiliki keistimewaan karena strukturnya yang sangat stabil dari reaksi kimia dan tahan terhadap degradasi mikrobial. Akan tetapi dengan keunikan struktur lipid dari tetraether lipid ini sangat sulit untuk dilakukan pembuatan film Langmuir-Blodgett, karena sangat sulitnya terbentuk film Langmuir untuk mendapatkan kurva isotherm yang kristalin.

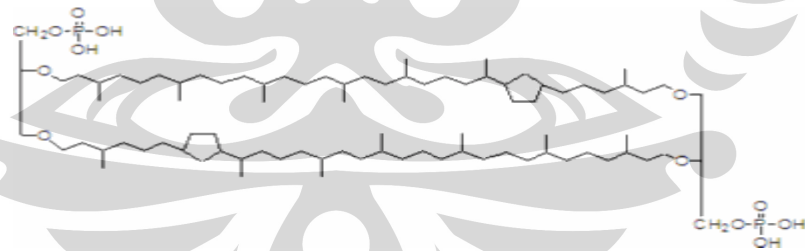
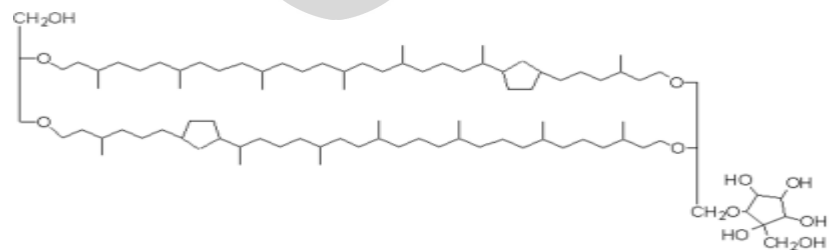
Adapun tetraether lipid yang digunakan pada eksperimen ini archaeal tetraether lipid simetrik yang terdiri dari caldarchaeol (Gambar 3.1c), caldarchaeol-CyCl (Gambar 3.1d), dan caldarchaeol-PO<sub>4</sub> (Gambar 3.1e), sedangkan archaeal tetraether lipid asimetrik (Gambar 3.1f) digunakan GDNT (Glycerol Dialkyl Nonitol Tetraether).

(a) Struktur Lipid Palmatic acid ( $C_{16}H_{31}O_2$ )(b) Struktur Lipid DHGPG ( $C_{38}H_{79}O_8P$ )

(c) Caldarchaeol



(d) Caldarchaeol-CyCl

(e) Caldarchaeol- $PO_4$ 

(f) GDNT

Gambar 3. 1

(a) Palmatic Acid, (b) Lipid DHGPG

(c) Struktur Tetraether lipid simetrik caldarchaeol, (d) caldarchaeol-CyCl,  
(e) caldarchaeol-PO<sub>4</sub> dan (f) Struktur tetraether lipid asimetrik GDNT

### 3. 2. Eksperimen monolayer/membran

#### 3. 2. 1. Modifikasi Substrat Wafer Silikon

Wafer silikon dipersiapkan dengan ukuran 1 cm x 1 cm yang kemudian dibersihkan dengan metode Piranha. Adapun metode Piranha adalah sebagai berikut:

1. Wafer silikon dimasukkan ke dalam tabung larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang direaksikan dengan perbandingan 3:7 kemudian didiamkan selama 20 menit.
2. Setelah itu larutan dibuang dan dicuci dengan air murni selama 3 atau 4 kali.
3. Wafer Silikon dikeringkan dengan gas N<sub>2</sub>.
4. Homogenitas dan ketebalan lapisan SiO<sub>2</sub> diukur dengan ellipsometer (ketebalan lapisan SiO<sub>2</sub> harus berkisar antara 1,6 nm hingga 2,2 nm apabila hal ini tidak tercapai mungkin karena impuritas dibersihkan lagi dengan metode Piranha ini).

Pada eksperimen ini permukaan wafer silikon dibuat sehingga menjadi permukaan wafer silikon yang hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation hal ini dilakukan agar lipid dapat menempel pada permukaan substrat dalam hal ini wafer silikon.

Untuk membentuk permukaan substrat wafer silicon yang bersifat hidrofilik dilakukan cara sebagai berikut:

1. Wafer silikon dibersihkan dengan metode Piranha.

2. Untuk aktivasi permukaan wafer silikon digunakan lampu UV (Xeradex, Lampenwerk Wipperfürth, Jerman) selama 5 menit.
3. Permukaan hidrofilik yang dihasilkan memiliki sudut kontak  $< 20^\circ$ , dimana sebelumnya sudut kontak wafer silikon sekitar  $40^\circ$ .

Untuk membentuk sifat permukaan wafer silikon yang hidrofobik dilakukan cara-cara sebagai berikut:

1. Wafer silikon dibersihkan dengan metode Piranha.
2. Dimethyl  $C_{18}$  – Chlorsilan 20 $\mu$ l diletakkan pada permukaan wafer silikon kemudian ditutup dengan wafer silikon lainnya, setelah itu dimasukkan ke dalam wadah yang tertutup rapat dan steril kemudian dipanaskan pada suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 12 jam.
3. Setelah itu wafer silikon didinginkan pada temperatur kamar dan dicuci dengan kloroform.
4. Ketebalan lapisan didapat sekitar 1,5 nm dan sudut kontak  $90^\circ$ .

Untuk membentuk permukaan wafer silikon yang bersifat aminosilanisation dilakukan cara sebagai berikut:

1. Wafer silikon dibersihkan dengan menggunakan metoda Piranha.
2. Wafer silikon diberi aktivasi sinar UV/Ozon selama 5 menit.
3. Aminopropyldimethylethoxysilane 1% diberikan ke permukaan wafer silikon di dalam larutan kloroform kemudian dipanaskan dengan suhu  $70^\circ$  selama 12 jam.
4. Setelah itu wafer silikon dibersihkan selama 5 menit dengan ultrasonik di dalam larutan kloroform.
5. Lapisan yang bersifat aminosilanisation terbentuk pada substrat wafer silikon dengan ketebalan 1,5 nm dan sudut kontak  $70^\circ$ .

Setiap peneliti mempunyai cara modifikasi wafernya bisa berbeda, yang utama hasil dari modifikasinya yang bersifat hidrofilik, hidrofobik dan aminosilanisation (seperti sudut kontak/*contac angle* dan ketebalan), tingkat kesulitannyapun

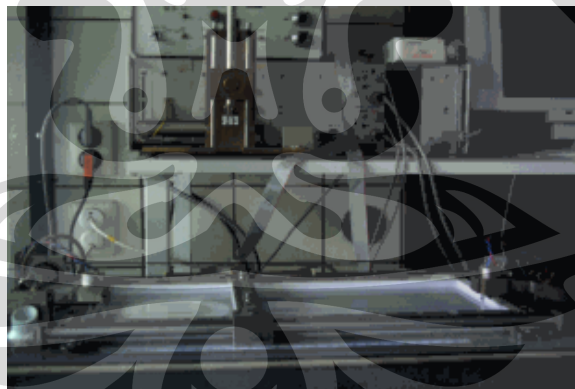


berbeda misalnya silannya yang digunakan sebagai aktivasi harus disimpan dibawah suhu  $-30^{\circ}\text{C}$ .

### 3. 2. 2. Fabrikasi Monolayer/Membran

Teknik Langmuir-Blodgett digunakan pada penelitian ini dengan acuan grafik kompresi tegangan permukaan vs. luas molekuler ( $\Pi - A$ ) isotherm dan transfer film monolayer/membran.

Eksperiment film membran/monolayer pada riset ini menggunakan peralatan Langmuir yang dilengkapi komputer kontrol dari Langmuir-Blodgett Riegler & Kirstein GmbH, Mainz, Jerman (seperti pada gambar 3.1) dengan thermostat dari Teflon dengan luas efektif wadah Langmuir sekitar  $418\text{ cm}^2$  dan kedalaman 1 cm. Tegangan permukaan diukur dengan menggunakan neraca Wilhelmy. Suhu subfase dikontrol pada  $19^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , dan subfase menggunakan air murni dengan kualitas ( $18.2\text{ M}\Omega$ , pH 5.6). Sebelum eksperimen dilakukan, permukaan subfase dibersihkan dengan menggunakan etanol.



Gambar 3.2

Peralatan Langmuir-Blodgett

Pada riset ini, untuk membentuk film, bolaamfifilik tetraether lipid dilarutkan dengan menggunakan kloroform, dimana kloroform ini tidak bereaksi dengan subfase (air murni). Banyak parameter yang menentukan kualitas dari film Langmuir ini, diantaranya:

1. Kualitas kestabilan monolayer pada interface air-udara.
2. Sifat dari subfase (suhu, pH).
3. Tegangan Permukaan untuk transfer film Langmuir-Blodgett.
4. Kecepatan transfer.
5. Parameter pendukung lainnya, misalnya: kebersihan, komposisi kimia, permukaan energi bebas, dll)

Untuk setiap eksperimen film Langmuir-Blodgett, bolaamfilik asimetrik and simetrik (GDNT, caldarchaeol, caldarchaeol-CyCl, dan caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) 1mMol dilarutkan didalam larutan kloroform 50 ml. Bolaamfilik asimetrik and simetrik (GDNT, caldarchaeol, caldarchaeol-CyCl, dan caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) didalam larutan kloroform 50 ml digunakan dalam jumlah yang sangat kecil sekali antara 30 µl-70 µl yang disebar dengan injeksi pada wadah Langmuir-Blodgett di interface air-udara. Setelah bolaamfilik archaeal tetraether lipid disebar (*spreading*) pada wadah Langmuir kemudian ditunggu kesetimbangannya sekitar 2 jam sampai 12 jam sebelum dilakukan pengukuran kurva tegangan permukaan vs luas molekuler isotherm (II-A).

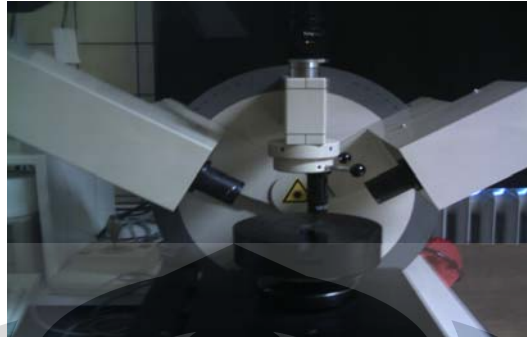
### 3. 2. 3. Deposisi Film

Teknik deposisi film yang ditransfer ke benda padat (*Thor et al. 1995*), (*Luo et al. 2006*) pada teknik Langmuir-Blodgett ada beberapa cara, pada riset ini kita menggunakan deposisi transfer tipe-X untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik dan deposisi transfer tipe-Y pada permukaan wafer silikon yang hidrofilik dan aminosilanisation. Hasil dari deposisi Film Langmuir-Blodgett sangat tergantung pada pH dari subfase, suhu, kecepatan deposisi, dan sudut kontak dari substrat.

Pada ekperimen ini, deposisi film untuk setiap tetraether lipid dilakukan pada subfase dengan pH 5,6. Kecepatan deposisi film pada kecepatan yang sangat kecil sekitar 0,1 mm/detik dan akan mendapatkan hasil yang maksimal pada suhu 19°C ± 1°C.

### 3. 3. Karakterisasi Film Archaeal Tetraether Lipid

#### 3. 3. 1. Elipsometer



Gambar 3.3

#### Elipsometer

Elipsometer digunakan untuk mengkarakterisasi ketebalan, kekasaran permukaan, dan komposisi. Elipsometer yang digunakan pada riset ini menggunakan elipsometer tipe SE-400 ( Sentec Instrument, Berlin, Jerman) dengan sumber cahaya sinar laser He/Ne dengan panjang gelombang  $\lambda = 632,8$  nm. Indeks bias = 3,874 yang digunakan untuk substrat silikon. Bolaamfifilik (archaeal tetraether lipid) ditransfer ke permukaan wafer silikon dengan ukuran  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ . Jarak titik pengukuran dari lapisan oksida ( $\text{SiO}_2$ ) hingga lapisan lipid. Jarak titik pengukuran  $200 \mu\text{m}$  dengan satu luas pengukuran sebesar  $250 \mu\text{m}^2$ .

#### 3. 3. 2. Atomic Force Microscopy (AFM)

Beberapa tahun terakhir ini AFM menjadi standard pengukuran segala macam karakterisasi permukaan titik nanometrik.



Gambar 3.5.

#### Atomic Force Microscopy (AFM) .

Morfologi dari transfer film bolaamfilik archaeal tetraether lipid dikarakterisasi dengan menggunakan AFM. Peralatan AFM yang digunakan pada riset ini menggunakan tipe AFM pada NanoWizard (JPK Instruments, Berlin, Jerman) di dalam keadaan tekanan 1 atm. Tipe pyramid yang digunakan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (NSC16 AIBS, Estonia) dengan puncak *cantilever* mempunyai panjang 230  $\mu\text{m}$ , frekuensi yang digunakan sekitar 170 kHz dan gaya yang digunakan sebesar 40 N/m. Kecepatan *scanning* sebanding dengan bentuk frekuensi antara 0,5 dan 1,5 Hz.

### 3. 3. 3. Differential Scanning Calorimetry (DSC)



Gambar 3. 6

#### Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Peralatan Differential Scanning Calorimetry (DSC) digunakan untuk menerangkan transisi panas dari berbagai material organik dan inorganik. DSC memiliki kemampuan untuk mengkarakterisasi kapasitas panas ( $C_p$ ), suhu transisi ( $T_g$ ) dengan cepat dan akurat. Akurasi hasil pengukuran tergantung pada kalibrasi material terutama pada suhu transisi (*Blöcher et al. 1984*). Pada riset ini hanya mengukur kapasitas panas ( $C_p$ ) karena keterbatasan alat yang digunakan tidak dapat beroperasi pada suhu negatif.

Kapasitas panas film monolayer tetraether lipid diatas substrat wafer silicon diukur dengan menggunakan peralatan DSC-Shimadzu-50. Pada karakterisasi ini pengukuran dimulai dari suhu 28°C hingga 400°C dengan kecepatan 5,0 °C/min didalam atmosfir nitrogen.

## BAB IV HASIL DAN DISKUSI

### 4. 1. Hasil dan Diskusi

#### 4. 1. 1. Film Langmuir

Organisasi molekuler dan fase yang terkait pada archaeal tetraether lipid sangat menarik karena lipid terbentuk dari biomolekul yang sangat stabil dan memiliki potensi aplikasi yang sangat besar di bidang sains dan engineering (*Fuhrhop et al. 1986*).

Bolaamfifilik archaeal tetraether lipid dilarutkan didalam kloroform dengan konsentrasi 1 mMol untuk setiap eksperimen film Langmuir. Sebelum eksperimen film Langmuir dilakukan, permukaan subfase dibersihkan dengan etanol dan standar kebersihan subfase yang dikontrol oleh komputer.

Bolaamfifilik asimetrik and simetrik (GDNT, caldarchaeol, caldarchaeol-CyCl, dan caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) digunakan dalam jumlah yang sangat kecil sekali antara 30µl-70µl yang disebar pada wadah Langmuir-Blodgett di interface air-udara. Setelah bolaamfifilik archaeal tetraether lipid disebar (*spreading*) pada wadah kemudian ditunggu kesetimbangannya sekitar 2 jam sampai 12 jam sebelum dilakukan pengukuran kurva tegangan permukaan vs luas molekuler isotherm (II-A).

Pada kompresi teknik Langmuir .Blodgett dengan tekanan yang rendah, yakni dibawah 10 mNm<sup>-1</sup> tidak ada gaya adhesi diantara molekul bolaamfifilik tetraether lipid dan disebut dengan keadaan fase gas. Pada keadaan ini bolaamfifilik tetraether lipid tidak dapat menembus membran dan hanya penyebaran difusi pada interface air-udara.

Dengan bertambahnya kompresi (tekanan semakin tinggi), mengakibatkan jarak intermolekular semakin berkurang dan tegangan permukaan semakin bertambah. Untuk tekanan antara 10 mNm<sup>-1</sup> sampai 30 mNm<sup>-1</sup>, film Langmuir berada pada keadaan fase cair dimana monolayer/membran bolaamfifilik bersifat koheren serta molekul bolaamfifilik tetraether lipid sebagian berada pada posisi baring (*horseshoe*) dan sebagian lagi terserap pada monolayer bolaamfifilik.

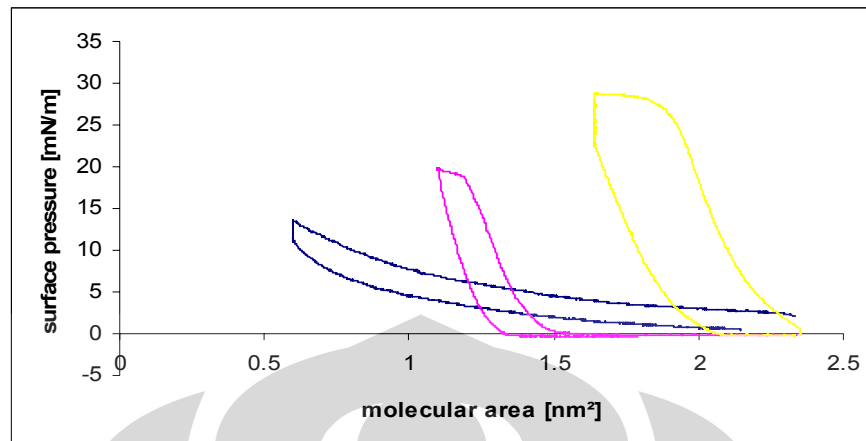
Kompresi terus diberikan sehingga terjadi perubahan fase membran dari fase cair berubah ke fase padat/kristalin pada tekanan sekitar  $30\text{mNm}^{-1}$  -  $40\text{mNm}^{-1}$ . Pada daerah kompresi ini susunan monolayer/membrane lebih stabil dan film Langmuir-Blodgett akan homogen sehingga sangat baik untuk dilakukan transfer film pada pemberian kompresi sebesar ini.

Ketika tekanan diberikan diatas  $40\text{mNm}^{-1}$  resiko molekul akan overlapping kemungkinan besar akan terjadi sehingga terjadi *collapse*/ketidakstabilan dan monolayer bersifat tidak stabil.

Stabilitas dari monolayer/membran sangat penting karena hal ini berhubungan dengan efisiensi dari transfer dan kualitas film Langmuir-Blodgett yang dihasilkan. Untuk semua eksperimen ini dilakukan kompresi dengan memberi tekanan sebesar  $35\text{mNm}^{-1}$  dengan kecepatan  $0,1\text{mm/s}$ .

Pada riset ini kurva tegangan permukaan ( $\Pi$ ) terhadap luas molekular ( $A$ ) dipelajari untuk mengkarakterisasi monolayer/membran pada interface air-udara. Stabilitas monolayer pada interface air-udara didapat. Semua film langmuir-Blodgett dikompresi.

Kompresi dan re-kompresi isotherm untuk GDNT (bolaamfilik asimetrik), caldarchaeol-CyCl, dan caldarchaeol-  $\text{PO}_4$  (bolaamfilik simetrik) diperlihatkan pada Gambar 4.1.

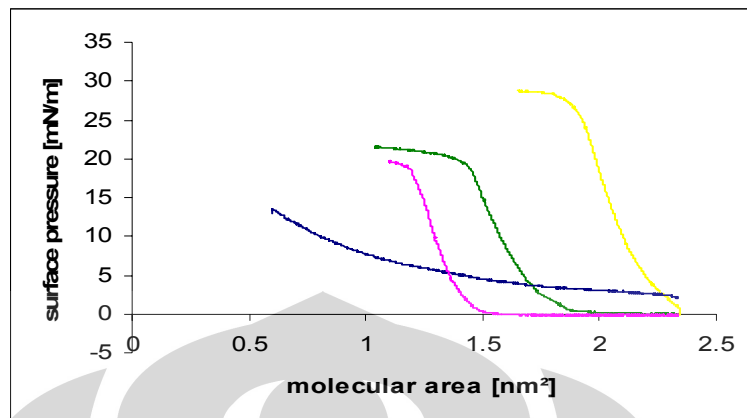


Gambar 4.1.

Kompresi-rekompresi tegangan permukaan vs Luas molekuler isotherm pada suhu 19°C, pH 5,5 untuk Caldarchaeol-CyCl 30 $\mu$ l 1 mMol (biru), GDNT 30 $\mu$ l 1 mMol (kuning), Caldarchaeol-PO<sub>4</sub> (dadu) 30  $\mu$ l 1 mMol

Film bolaamfifilik (GDNT, caldarchaeol-CyCl, dan caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) stabil dalam waktu yang singkat, dan tegangan permukaan akan turun apabila tidak diberikan kompresi.

Transfer film Langmuir-Blodgett dari bolaamfifilik pada interface air-udara diatas permukaan wafer silikon dilakukan pada nilai tegangan permukaan yang tertinggi. Untuk GDNT nilai tertinggi tegangan permukaannya sekitar 28 mN/m, caldarchaeol pada nilai 20mN/m, Caldarchaeol-PO<sub>4</sub> 18 mN/m, dan Caldarchaeol-CyCl 14mN/m. Semua bolaamfifilik di dalam konsentrasi 30 $\mu$ l 1 mMol untuk setiap eksperimen seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2

Tegangan permukaan vs Luas molekular isotherm pada suhu 19°C, pH 5,5 untuk Caldarchaeol-PO<sub>4</sub> 30µl 1mMol (dadu), GDNT 30µl 1mMol (kuning), Caldarchaeol 30µl 1 mMol (hijau), Caldarchaeol-CyCl (biru) 30µl 1mMol

Pembuatan monolayer/membran bolaamfifilik archaeal tetraether lipid diatas wafer silikon dengan teknik Langmuir-Blodgett dengan variasi tipe transfer. Transfer tipe-X untuk permukaan wafer silikon yang hidrofobik dan tipe-Y untuk permukaan wafer silikon yang hidrofilik dan aminosilanisation. Transfer bolaamfifilik archaeal tetraether lipid dilakukan pada nilai tegangan permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Bolaamfifilik asimetrik tetraether lipid (GDNT) memiliki tegangan permukaan lebih tinggi dari simetrik tetraether lipid (caldarchaeol, caldarchaeol-CyCl, caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) karena memiliki gugus kepala dari bolaamfifilik asimetrik tetraether lipid (GDNT) yang tidak sama sedangkan gugus kepala bolaamfifilik simetrik tetraether lipid, hal ini mempengaruhi hasil kompresi terhadap nilai tegangan permukaan yang dihasilkan.



#### 4. 1. 2. Hubungan Karakterisasi AFM dan Elipsometer

Karakterisasi elipsometer banyak digunakan untuk menerangkan ketebalan dari film organik dan monolayer. Selain itu untuk melihat apakah film yang dihasilkan itu homogen atau tidak bisa dilihat dengan elipsometer. Salah satu indikasi apakah film yang dihasilkan dari teknik Langmuir-Blodgett itu berhasil atau tidak, dilihat ketebalan dan kehomogenan film dengan elipsometer. Apabila film yang dikarakterisasi dengan elipsometer menghasilkan yang baik (kehomogenan film yang terbentuk), baru di karakterisasi morfologi film dengan menggunakan AFM.

Elipsometer mengukur ketebalan film dengan luas area  $250 \mu\text{m}^2$  dan tidak dapat menerangkan perbedaan struktur morfologi. AFM memiliki kemampuan untuk menerangkan morfologi permukaan dan ketebalan film bolaamfifilik tetraether lipid.

Tabel 1 menerangkan ketebalan film bolaamfifilik archaeal tetraether lipid yang diukur dengan menggunakan elipsometer.

Tabel 1. Ketebalan Film Monolayer Bolaamfifilik Tetraether Lipid dengan menggunakan elipsometer

Bola Amfifilik	Hidrofilik (nm)	Hidrofobik (nm)	Aminosilansasi (nm)
Asymmetric			
1. GDNT	$2,0 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,3$
Symmetric			
1.Caldarchaeol	$1,5 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,3$
2.CaldarchaeolCyCl	$3,6 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$
3.Caldarchaeol-PO <sub>4</sub>	$1,0 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,2$

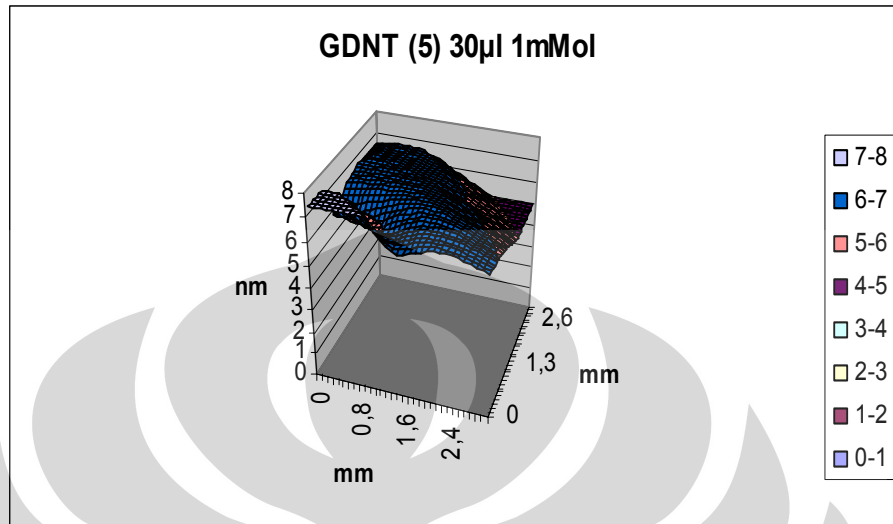
Ketebalan dan morfologi film monolayer/membran dipelajari dengan menggunakan AFM. Hasil karakterisasi dengan AFM dari film Langmuir-Blodgett pada permukaan wafer silikon yang hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation dapat dilihat pada sub bab.

#### 4.1.2.1. GDNT (Glycerol Dialkyl Nonitol Tetraether)

Bolaamfilik asimetrik GDNT memiliki tegangan permukaan tertinggi pada nilai 28 mN/m dengan luas molekular antara 1,0 nm<sup>2</sup> dan 1,8 nm<sup>2</sup>. Kompresi dan re-kompresi pada GDNT menyebabkan pengurangan luas molekular hasil ini sama yang pernah dilakukan oleh (Dote et al. 1990).

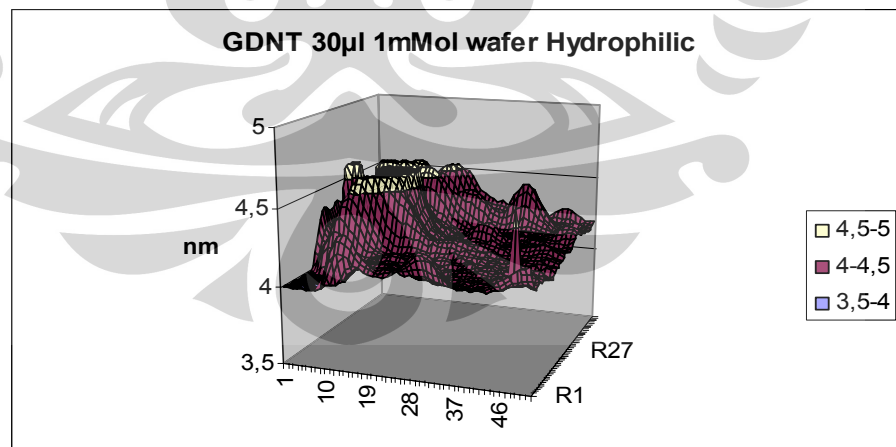
Elferinck et al. (1992) film monomolekular GDNT yang dihasilkannya mempunyai posisi lipid yang tegak (*upright*) dengan luas molekular 0,82 nm<sup>2</sup>. Eksperimen yang dilakukan (De Rosa et al. 1996) dengan menggunakan GDNT dari *Sulfolobus Acidocaldarius* menerangkan bahwa setelah kompresi mendapatkan luas molekular antara 1,0 nm<sup>2</sup> and 1,6 nm<sup>2</sup> dan bentuk lipid yang dihasilkan pada posisi baring (*horseshoe*).

Pada riset ini ultrafilm GDNT dibuat diatas wafer silikon dengan menggunakan transfer tipe-X untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik dan transfer tipe-Y untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik. Dari data elipsometer menunjukkan ketebalan maksimum 3,5 nm didapat setelah transfer film tipe-X pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik, dan ketebalan rata-rata sekitar 2,0 nm setelah transfer film tipe-Y pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik. Dan bentuk lipid diperkirakan dari data elipsometer ini untuk GDNT pada permukaan wafer silikon hidrofobik pada posisi tegak (*upright*), dan permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik pada posisi baring (*horseshoe*).



Gambar 4.3

GDNT pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 3,7 nm ( $\pm$  0,3 nm) dengan elipsometer

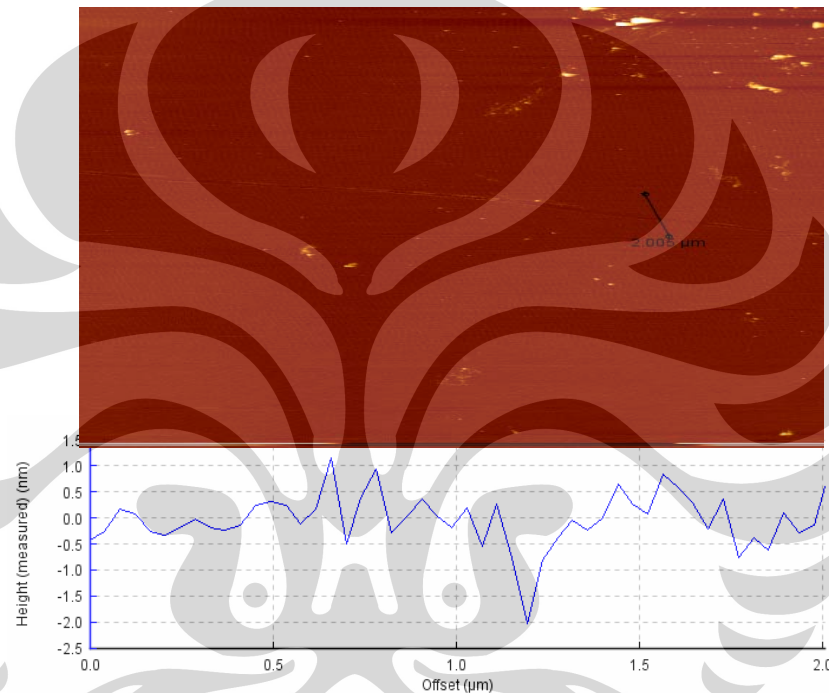


Gambar 4.4

GDNT pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 2,0 nm ( $\pm$  0,3 nm) dengan elipsometer

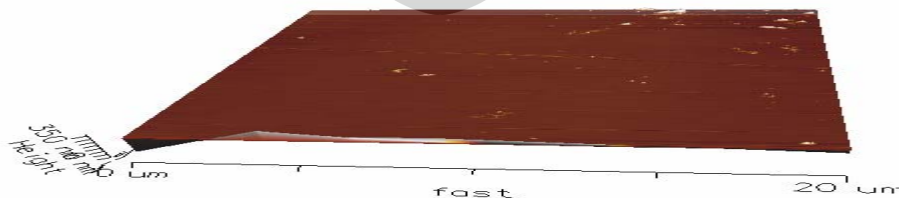
Kekasaran film GDNT (lihat Gambar 4.3 dan 4.4) dari hasil elipsometer ini sangat homogen sehingga film Langmuir-Blodgett ini kemudian dikarakterisasi struktur morfologinya dengan AFM.

Dari hasil AFM juga terlihat bahwa film GDNT Langmuir-Blodgett pada permukaan wafer silikon yang hidrofobik sangat homogen (lihat Gambar 4.5) dengan ketebalan sekitar 2,0 nm (hanya sedikit domain dengan ketebalan 5 nm dapat dilihat).



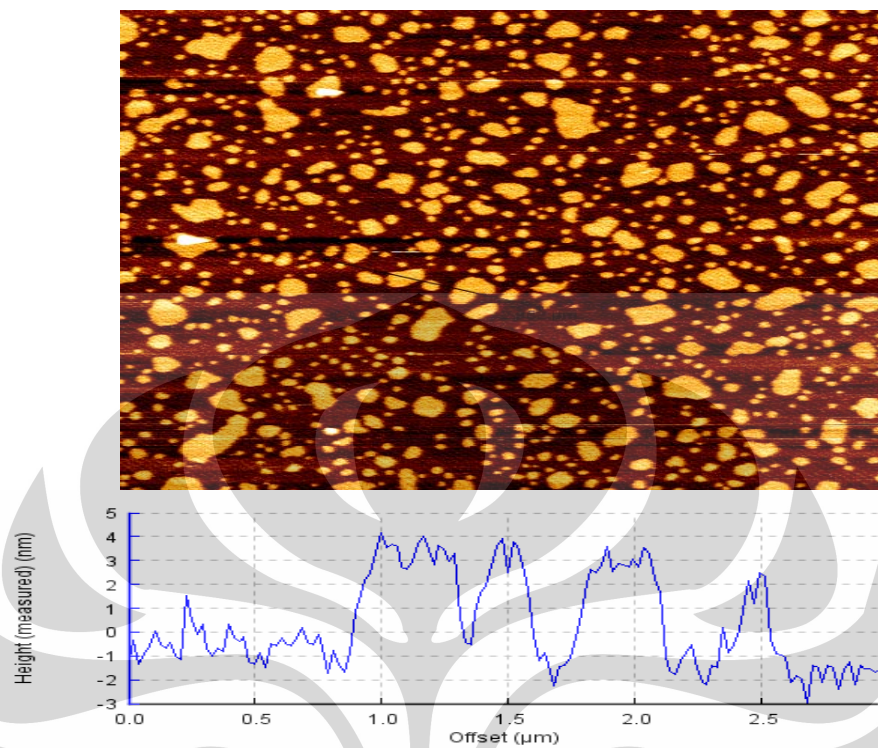
Gambar 4.5

GDNT hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM

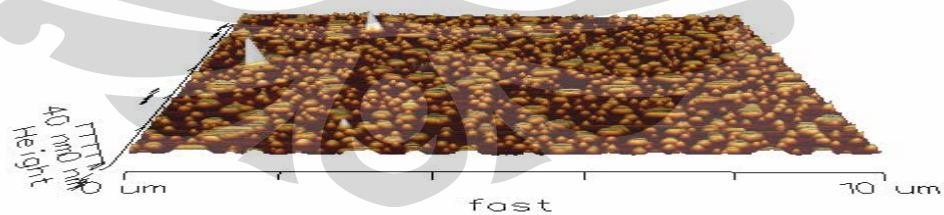


Gambar 4.6

Foto tiga dimensi film GDNT hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM



Gambar 4.7  
GDNT hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM



Gambar 4.8  
Foto tiga dimensi film GDNT hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM

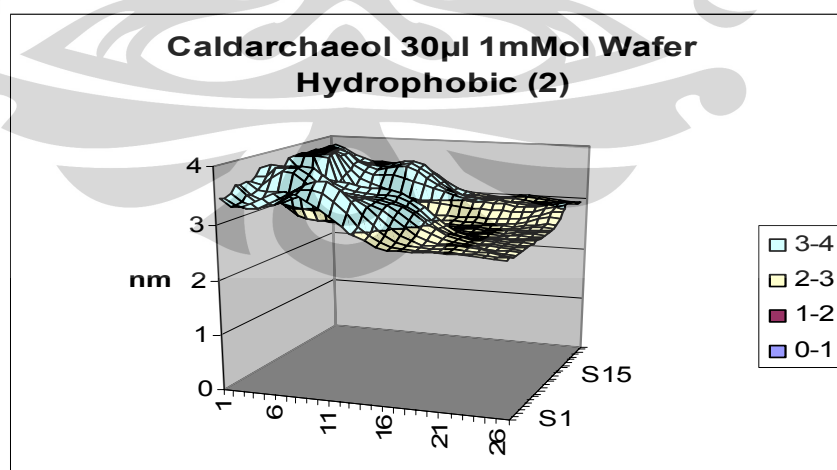
Film Langmuir-Blodgett untuk GDNT pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik, terdapat domain-domain kecil dengan ketebalan antara 2 nm sampai 6 nm, film tidak homogen dan bentuk lipid terdiri dari posisi lipid yang tegak (*upright*) dan baring (*horseshoe*).

#### 4. 1. 2. 2. Caldarchaeol

Bolaamfifilik simetrik caldarchaeol memiliki tegangan permukaan tertinggi sekitar 20mN/m dan luas molekular 1,4 nm<sup>2</sup>. Caldarchaeol merupakan lipid yang memiliki kestabilan yang singkat sehingga tidak dapat di plot kurva kompresi-rekompresi.

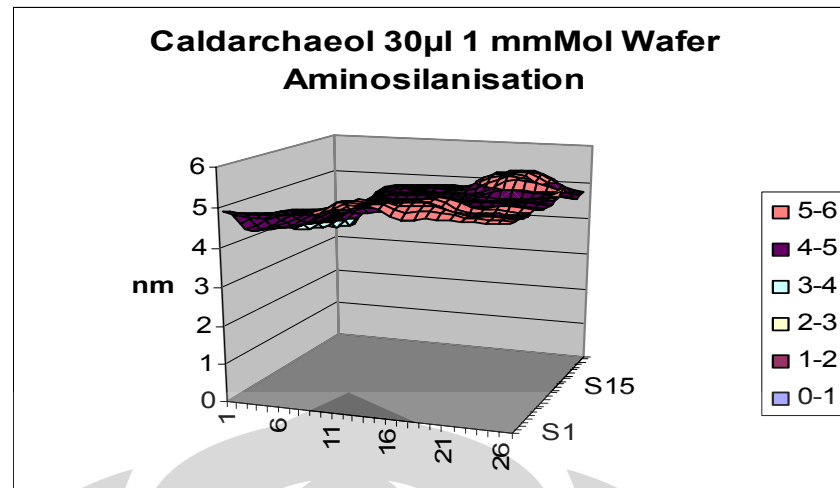
Transfer film Langmuir-Blodgett dari caldarchaeol tetap dilakukan walaupun kestabilan lipid yang sangat singkat. Transfer film tipe-X dilakukan untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik dan transfer film tipe-Y dilakukan untuk permukaan wafer silikon yang bersifat aminosilanisation.

Dari data hasil karakterisasi dengan elipsometer memperlihatkan setelah transfer film Langmuir-Blodgett pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik (tipe-X) ketebalan film caldarchaeol sekitar 2,8 nm dan setelah transfer film pada permukaan wafer silikon yang bersifat aminosilanisation (tipe-Y) ketebalan hanya 1,5 nm. Ini semua memberi informasi semua film berada pada posisi lipid yang baring (*horseshoe*).



Gambar 4.9

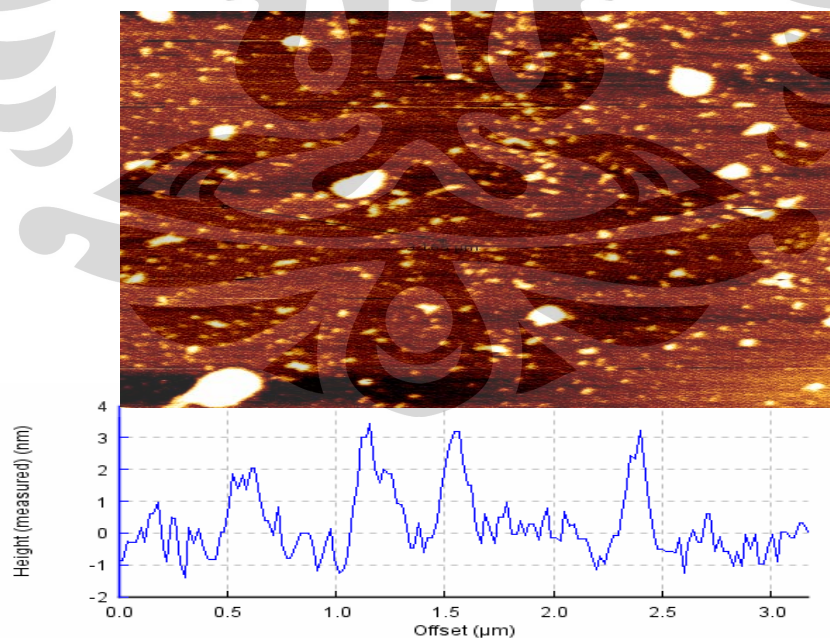
Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 2,8 nm ( $\pm$  0, 3 nm) dengan elipsometer



Gambar 4.10

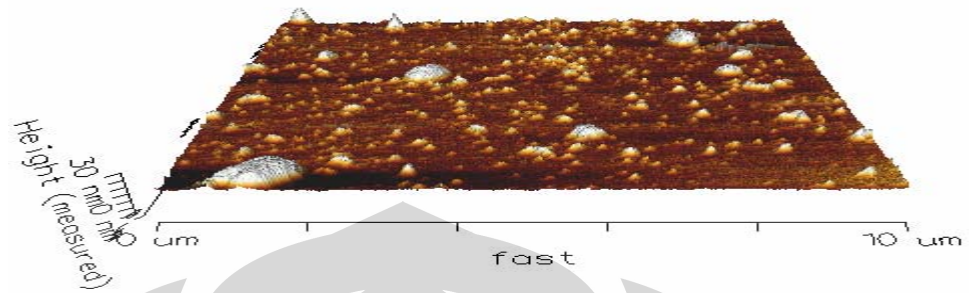
Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon aminosilanisation dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 1,8 nm ( $\pm 0,3$  nm) dengan elipsometer

Hasil AFM untuk film Langmuir-Blodgett dari caladarchaeol pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik terlihat sedikit homogen dengan ketebalan tanpa domain sekitar 2 nm (hanya sedikit domain yang mempunyai ketebalan 5 nm dapat dilihat).



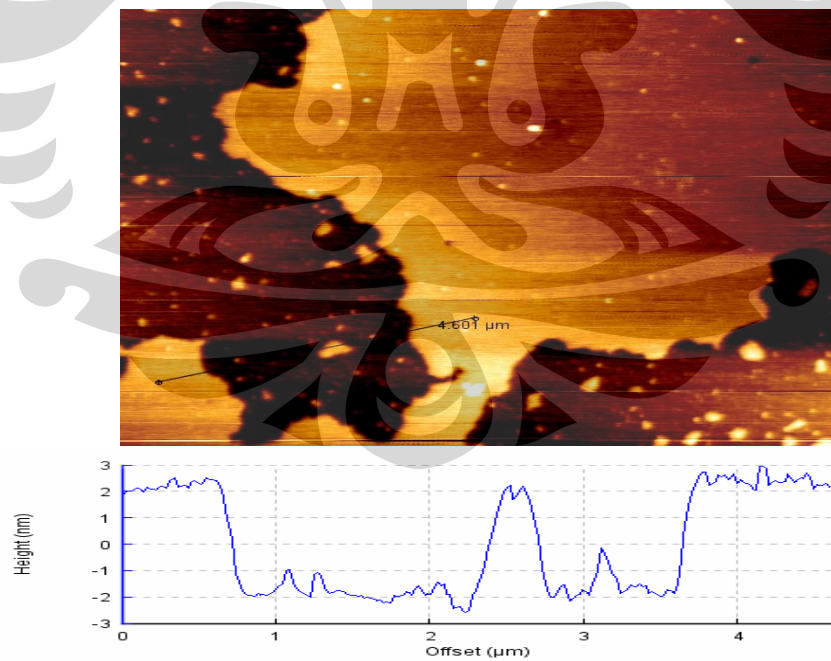
Gambar 4.11

Caldarchaeol hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM



Gambar 4.12

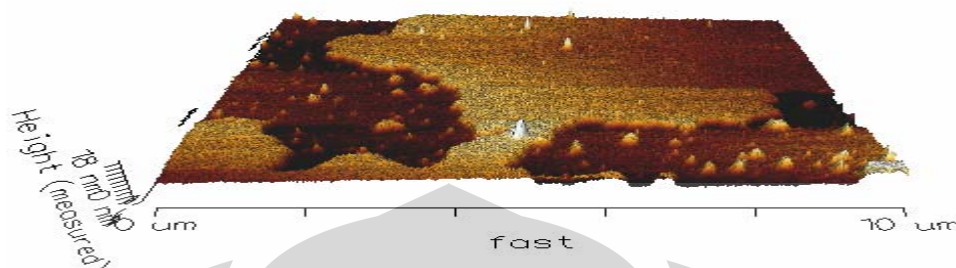
Foto tiga dimensi film caldarchaeol hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM



Gambar 4.13

Caldarchaeol aminosilansiation (transfer tipe-Y) dengan AFM





Gambar 4.14

Foto tiga dimensi film caldarchaeol aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM

Film Langmuir-Blodgett caldarchaeol pada permukaan wafer silikon yang bersifat aminosilanisation (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan domain yang besar (hampir homogen) dengan ketebalan 6 nm (lipid berada pada posisi tegak/upright) dan hanya sebagian kecil yang memiliki ketebalan 2 nm (lipid pada posisi baring/horseshoe).

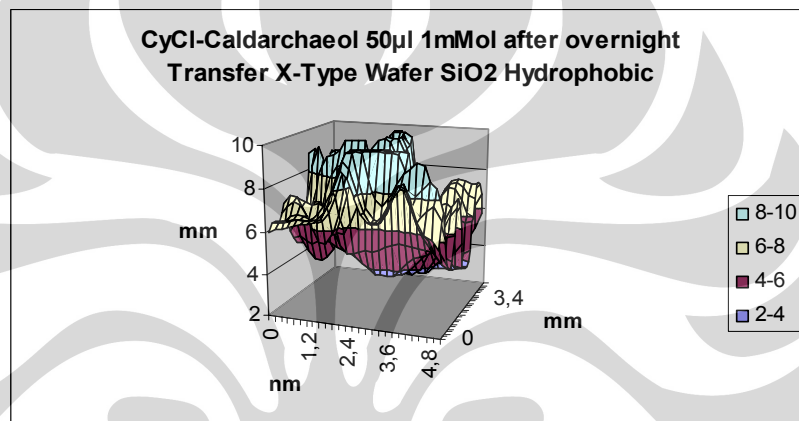
#### 4. 1. 2. 3. Caldarchaeol-CyCl

Caldarchaeol, merupakan struktur jenis fosfolipid dari *archaeobacterium thermoplasma acidophilum*. Grup kepala (grup hidroksil) dari caldarchaeol diberi aktivasi cyanuric chloride. Kemudian aktivasi caldarchaeol diuji karakteristiknya ini dengan menggunakan NMR dan FTIR .

Bolaamfilik simetrik archaeal tetraether lipid caldarchaeol-CyCl memiliki tegangan permukaan tertinggi yang rendah, yakni sekitar 14 mN/m dan luas molekuler mendekati 0,65 nm<sup>2</sup>. Tegangan permukaan tertinggi dari caldarchaeol-CyCl sangat rendah untuk dilakukan transfer film Langmuir-Blodgett, tetapi tetap dilakukan transfer film pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation.

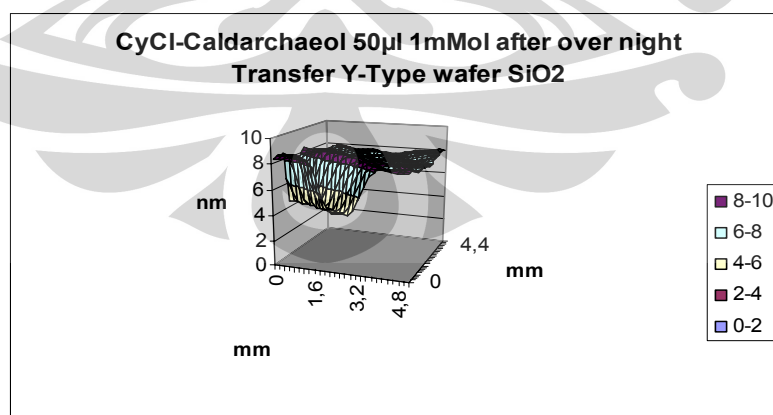
Pada riset ini film monolayer caldarchaeol-CyCl dibuat diatas wafer silikon dengan menggunakan transfer tipe-X untuk permukaan wafer silikon bersifat hidrofobik, transfer tipe-Y untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation.

Data dari pengukuran dengan elipsometer untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik (transfer tipe-X) memiliki ketebalan rata-rata 3,5 nm, hidrofilik (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan 3,6 nm dan aminosilanisation (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan 3,3 nm. Semua film dari caldarchaeol-CyCl ini memberi informasi lipid pada keadaan posisi tegak/*upright*



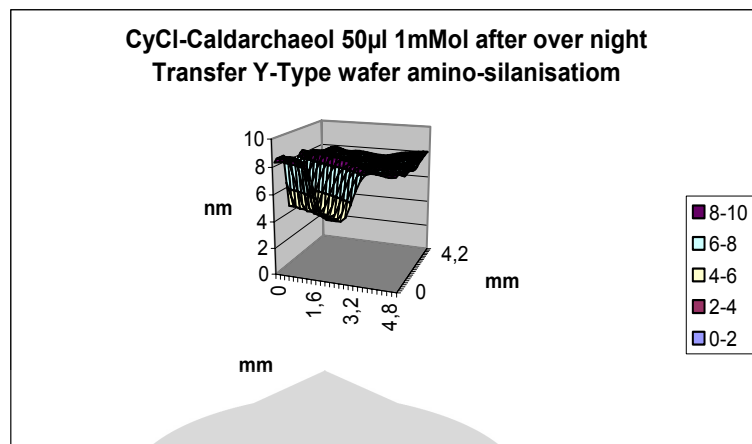
Gambar 4.15

Caldarchaeol-CyCl pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 3,5 nm ( $\pm 0,5$  nm) dengan elipsometer



Gambar 4.16

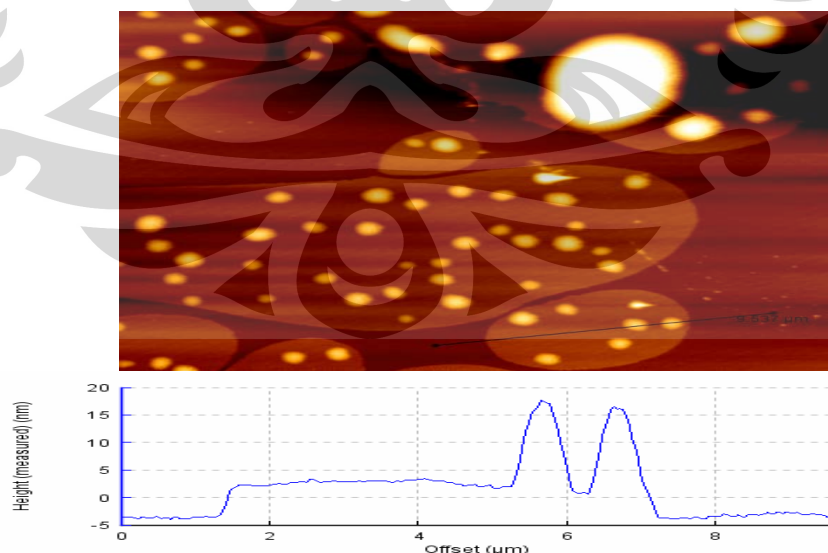
Caldarchaeol pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 3,6 nm ( $\pm 0,3$  nm) dengan elipsometer



Gambar 4. 17

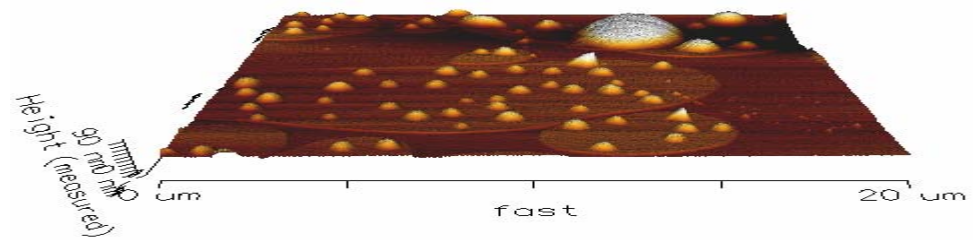
Caldarchaeol-CyCl pada permukaan wafer silikon aminosilanisation dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 3,3 nm ( $\pm 0, 3$  nm) dengan elipsometer

Hasil AFM tidak memperlihatkan domain dari caldarchaeol-CyCl yang bersifat hirofobik karena *collapse*. Pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation dapat diamati ketebalan domain rata-rata antara 4 nm dan 5 nm. Hanya sedikit domain di daerah perbatasan memiliki ketebalan 2 nm. Dari hasil AFM ini domain caldarchaeol-CyCl pada permukaan wafer silikon hidrofilik dan aminosilanisation terdiri dari lipid dengan posisi tegak/*upright*.



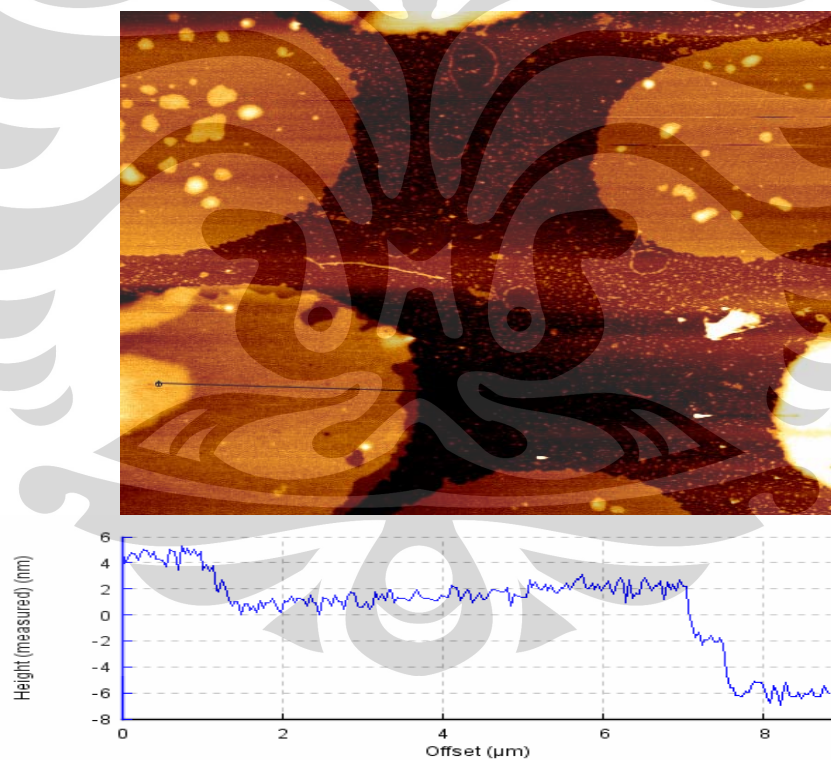
Gambar 4.18

Caldarchaeol-CyCl hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM



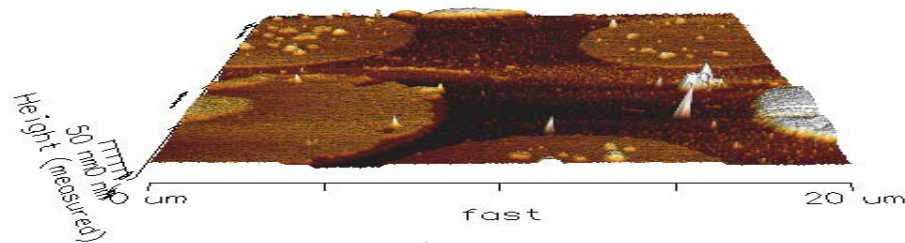
Gambar 4.19

Foto tiga dimensi film caldarchaeol-CyCl hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM



Gambar 4.20

Caldarchaeol-CyCl aminosilanesation (transfer tipe-Y) dengan AFM



Gambar 4.21

Foto tiga dimensi film caldarchaeol-CyCl aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM

#### 4. 1. 2. 4. Caldarchaeol-PO<sub>4</sub>

Caldarchaeol diekstrak dan dimurnikan melalui dua step *kromatografi* dengan DEAE-selulosa dan silika dengan kloroform dan methanol (*Freisleben et al 1994*).

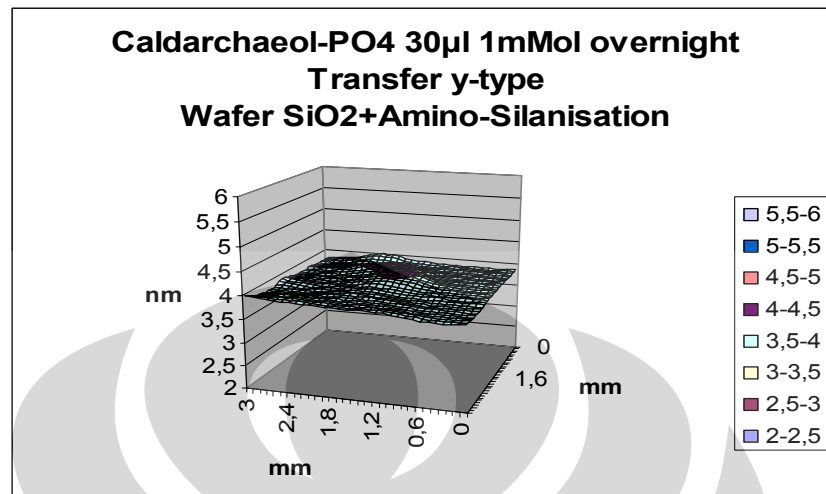
Grup kepala (grup hidrosil) dari caldarchaeol diaktivasikan dengan fosfat (Paten dari *Bakowsky et al 2006*). Aktivasi caldarchaeol ini diuji karakterisasinya dengan menggunakan NMR dan FTIR.

Bolaamfilik simetri caldarchaeol-PO<sub>4</sub> memiliki tegangan permukaan tertinggi pada nilai 18 mN/m dan luas molekular antara 1,0 nm<sup>2</sup> dan 1,5 nm<sup>2</sup>.

Pembuatan film Langmuir-Blodgett caldarchaeol-PO<sub>4</sub> dilakukan pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation. Transfer tipe-X digunakan untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik, dan transfer tipe -Y digunakan untuk permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation.

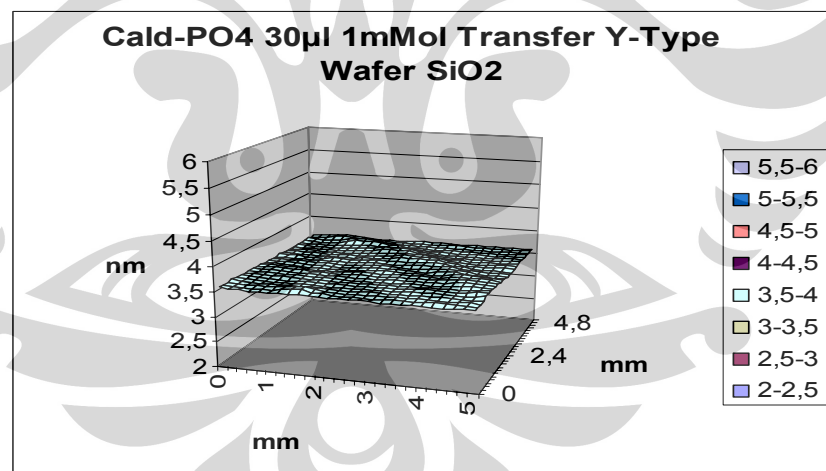
Data elipsometer dari transfer film pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik (transfer tipe-X) memiliki ketebalan film sekitar 4,5 nm (bentuk lipid pada posisi tegak/*upright*) dan transfer film pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan 1 nm (bentuk lipid pada posisi baring/*horse shoe*) serta transfer film pada permukaan wafer

silikon yang bersifat aminosilanisasi (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan film 1,7 nm (bentuk lipid pada posisi baring/*horseshoe*).



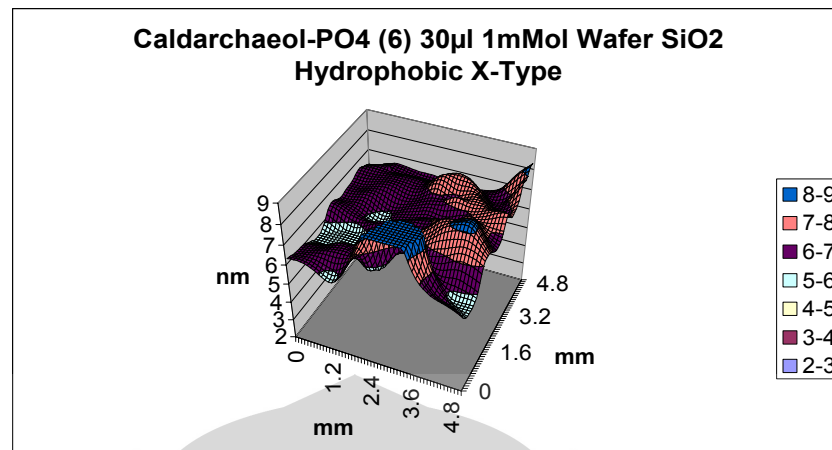
Gambar 4.22

Caldarchaeol- PO<sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon aminosilanisasi dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 1,7 nm ( $\pm 0,5$  nm) dengan elipsometer



Gambar 4.23

Caldarchaeol- PO<sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon hidrofilik dengan transfer tipe-Y, ketebalan sekitar 1,0 nm ( $\pm 0,2$  nm) dengan elipsometer

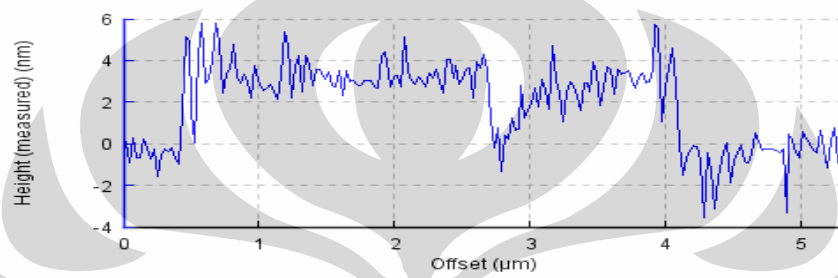
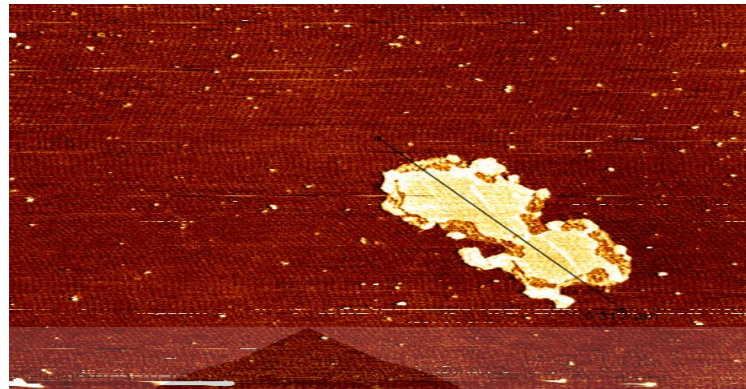


Gambar 4.24

Caldarchaeol- PO<sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon hidrofobik dengan transfer tipe-X, ketebalan sekitar 4,5 nm ( $\pm$  0, 5 nm) dengan elipsometer

Tetapi dari hasil AFM untuk transfer film caldarchaeol-PO<sub>4</sub> pada permukaan yang bersifat hidrofobik (transfer tipe-X) terlihat domain lingkaran yang memiliki ketebalan antara 4 nm – 5 nm dengan domain kecil kedua di tengah dengan ketebalan antara 3 nm – 4 nm.

Transfer film caldarchaeol-PO<sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik (transfer tipe-Y) banyak terdapat domain-domain kecil dengan ketebalan antara 2 nm dan 4 nm. Serta transfer film caldarchaeol- PO<sub>4</sub> pada permukaan wafer silikon yang aminosilansiation (transfer tipe-Y) memiliki ketebalan antara 2,0 nm dan 4,5 nm.



Gambar 4.25

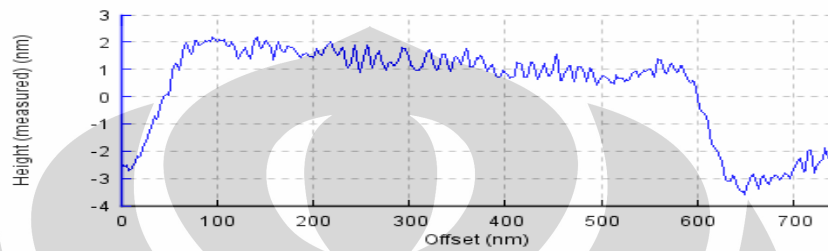
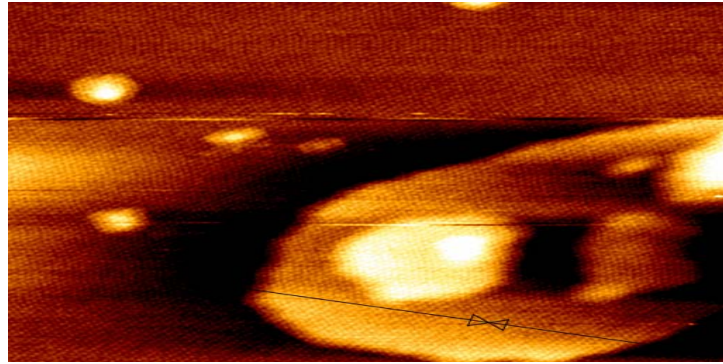
Caldarchaeol- $\text{PO}_4$  aminosilanisation (transfer tipe-Y) dengan AFM



Gambar 4.26

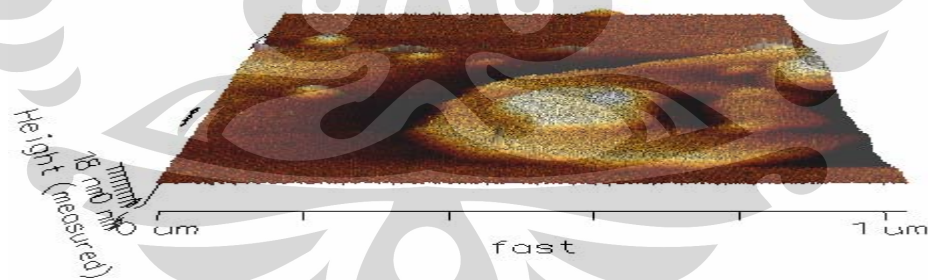
Foto tiga dimensi film caldarchaeol- $\text{PO}_4$  aminosilanization (transfer tipe-Y) dengan AFM





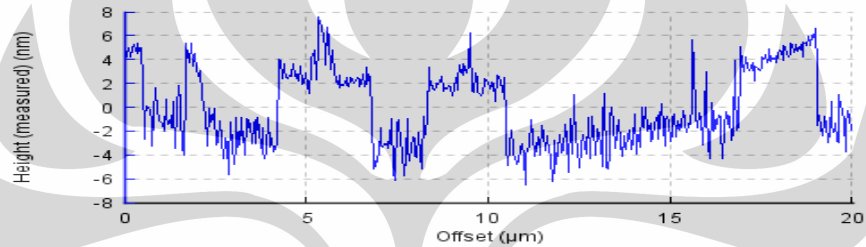
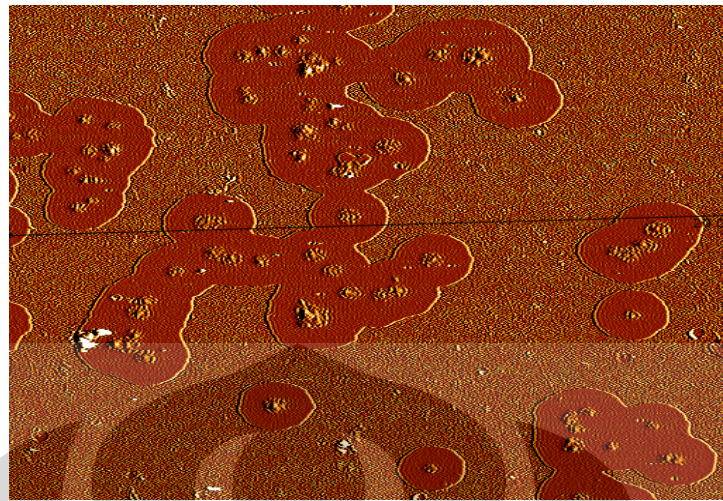
Gambar 4.27

Caldarchaeol- $\text{PO}_4$  hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM



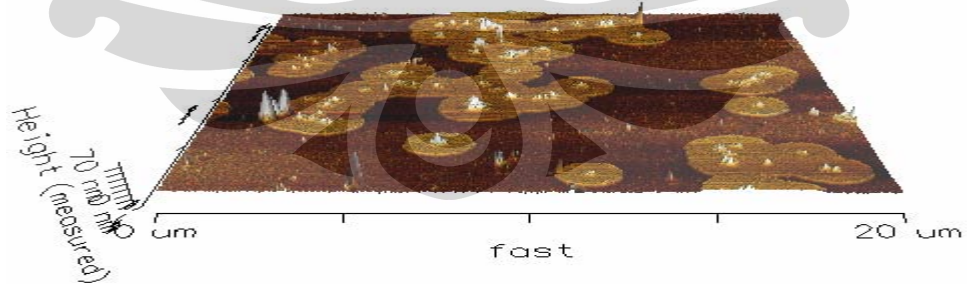
Gambar 4.28

Foto tiga dimensi film caldarchaeol- $\text{PO}_4$  hidrofilik (transfer tipe-Y) dengan AFM



Gambar 4.29

Caldarchaeol- $\text{PO}_4$  hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM



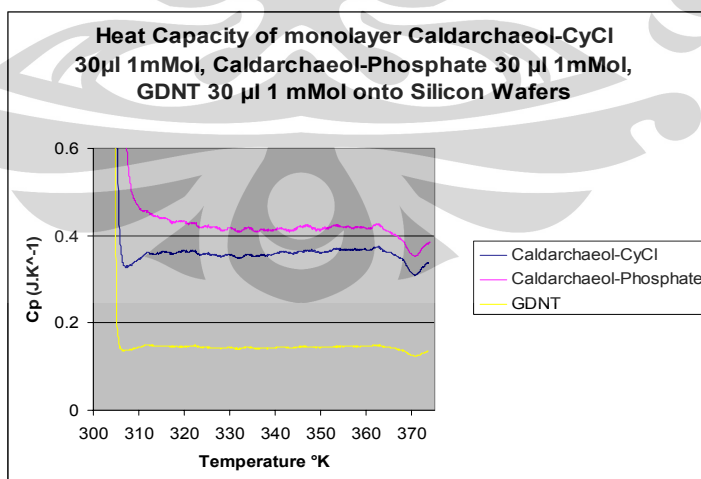
Gambar 4.30

Foto tiga dimensi film caldarchaeol - $\text{PO}_4$  hidrofobik (transfer tipe-X) dengan AFM

Bolaamfilik simetrik caldarchaeol-PO<sub>4</sub> dapat ditransfer pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik dengan hasil yang baik dan domain terbentuk dari molekul lipid pada posisi tegak (*upright*), tetapi pada transfer film Langmuir-Blodgett pada permukaan wafer silikon yang bersifat aminosilanisation dan hidrofilik didapatkan hasil film yang terdiri dari domain yang terdiri dari posisi molekul lipid yang tegak/*upright* dan baring/*horseshoe*.

#### 4. 1. 3. Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Bolaamfilik adalah molekul-molekul yang mempunyai grup kepala yang bersifat polar dan rantai karbon yang panjang bersifat hidrofobik. Bolaamfilik dapat dibuat film monolayer di atas permukaan benda padat seperti wafer silikon. Monolayer/membrane bolaamfilik archaeal tetraether lipid memiliki asosiasi molekul yang spontan pada keadaan termodinamika yang setimbang (*Blöcher et al. 1991*) didalam struktur yang teratur dari interaksi ikatan hydrogen, ikatan ionik, dan ikatan Van der Walls. Bagaimanapun sifat termodinamika dari bolaamfilik archaeal tetraether lipid sebagai fungsi kapasitas panas (*Freisleben et al. 1992*) (*Ernst et al. 1998*) tidak sederhana untuk dijelaskan, tetapi pada riset ini dilakukan pengukuran kapasitas panas dari film Langmuir-Blodgett bolaamfilik archaeal tetraether lipid diatas wafer silikon.



Gambar 4.31

Kapasitas panas Film Monolayer Caldarchaeol-CyCl, Caldarchaeol-PO<sub>4</sub>, GDNT,  
di atas permukaan wafer silikon

Dari karakterisasi dengan DSC didapatkan hasil kapasitas panas bolaamfilik tetraether lipid dari temperatur 28°C sampai 100°C seperti pada gambar 4.31. Dari hasil eksperimen ini tidak terdapat perbedaan yang menyolok nilai kapasitas panas tetraether lipid. Tetapi kapasitas panas dari bolaamfilik asimetri tetraether lipid (GDNT) memiliki nilai kapasitas panas yang lebih rendah dari bolaamfilik simetri tetraether lipid (caldarchaeol-CyCl, caldarchaeol-PO<sub>4</sub>). Hal ini disebabkan dari gugus dan kepala rantai karbon tetraether lipid terdapat perbedaan ikatan antar molekulnya yang sangat berpengaruh terhadap nilai kapasitas panas. Ikatan ionik pada bolaamfilik simetrik tetraether lipid (caldarchaeol-PO<sub>4</sub>, caldarchaeol-CyCl) membuat nilai kapasitas bolaamfilik simetrik lebih tinggi dari kapasitas panas asimetrik tetraether lipid (GDNT) yang hanya memiliki ikatan hidrogen.

## 1.2. Pembahasan

Pada pembentukan film Langmuir, lipid ditetes sekitar 30 $\mu$ l-70 $\mu$ l dengan konsentrasi 1 mMol dan disebar kemudian ditunggu keadaan setimbangnya antara 2 jam hingga 12 jam sebelum dikompresi. Kompresi menghasilkan film monolayer yang homogen dan film yang stabil.

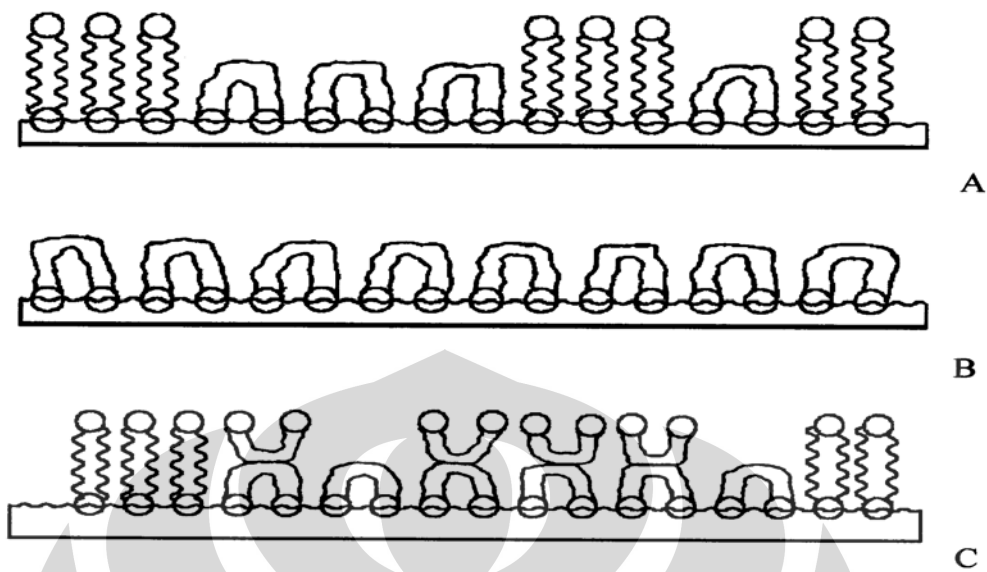
Kompresi-rekompresi *isotherm* dan kurva tegangan permukaan terhadap luas molekular *isotherm* untuk bolaamfilik asimetrik dan simetrik natural archaeal tetraether lipid terjadi kestabilan film sehingga bisa ditransfer ke permukaan yang padat yakni wafer silikon. Pada riset ini film Langmuir-Blodgett dibentuk dari keadaan stabil (mendekati fase kristalin) dimana molekul bolaamfilik tetraether lipid berada pada luas molekular antara 0,5 nm<sup>2</sup> hingga 2,0 nm<sup>2</sup>.

Sifat kimia dari bolaamfilik simetrik tetraether lipid (gugus kepala yang sama) membuat sangat sulit untuk mencapai fase kristalin dengan nilai tegangan permukaan yang lebih tinggi dari kurva tegangan permukaan – luas molekular *isotherm* (lihat Gambar 4.2) dibandingkan dengan bolaamfilik asimetrik yang memiliki nilai tegangan permukaan yang tinggi pada kurva *isotherm* tegangan permukaan – luas molekuler.

Bentuk organisasi molekul-molekul dari film Langmuir-Blodgett tetraether lipid diatas permukaan wafer silikon dari hasil karakterisasi dengan AFM, rata-rata terdiri dari campuran posisi molekul lipid yang tegak (*upright*) dengan ketebalannya sekitar 4 nm hingga 6 nm dan posisi molekul lipid yang baring (*horseshoe*) dengan ketebalan sekitar 2 nm hingga 3 nm, hal ini dilukiskan seperti pada Gambar 4.32 (a).

Apabila organisasi molekul-molekul film bolaamfifilik tetraether diatas wafer silikon lipid berada pada posisi molekul lipid dalam keadaan baring/*horse shoe* semua ini bisa dilihat modelnya seperti pada gambar 4. 32 (b). Dari hasil karakterisasi dengan ellipsometer untuk caldarchaeol, semua film terlihat terdiri dari posisi lipid yang baring (*horse-shoe*) dan bisa dilukiskan seperti model organisasi lipid pada Gambar 4. 32 (b).

Model organisasi molekular bolaamfifilik simetrik dan asimetrik natural archaeal tetraether lipid setelah mencapai tegangan permukaan yang tetinggi dari kompresi *isotherm* dijelaskan seperti pada Gambar 4.32 (c). Pada daerah *plateau*, orientasi organisasi molekul-molekul lipid berada pada posisi baring (*horseshoe*), tegak (*upright*), dan fase *bulk* (campuran posisi lipid yang tegak dan baring). Film monolayer/membran/Langmuir-Blodgett dibuat pada daerah *plateau isotherm* pada wafer silikon dengan variasi sifat dari permukaan substrat (hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation) pada interface air dari bolaamfifilik simetrik dan asimetrik natural tetraether lipid. Sifat kimia dari bolaamfifilik simetrik tetraether lipid (gugus kepala yang sama) membuat sangat sulit untuk mencapai fase kristalin dari kurva tegangan permukaan – luas molekular *isotherm*. Ketebalan film dari tetraether lipid memberi informasi bahwa film terdiri dari kombinasi domain-domain dengan posisi molekul lipid yang tegak (*upright*) dan baring (*horseshoe*) dan juga tergantung dari sifat sifat permukaan substrat wafer silikon (hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation).



Gambar 4.32

Model dari organisasi molekular bolaamfilik asimetrik and simetrik archaeal tetraether lipid (Rothe, U. 2008)

Keterangan gambar 4. 32 :

(A) Organisasi molekul-molekul dari film Langmuir-Blodgett tetraether lipid. Organisasi molekular ini terdiri dari domain-domain dengan campuran posisi molekul lipid yang tegak (*upright*) ketebalannya sekitar 4 nm hingga 6 nm dan posisi molekul lipid yang baring (*horseshoe*) dengan ketebalan sekitar 2 nm hingga 3 nm dapat dilihat.

(B) Organisasi molekul-molekul film bolaamfilik tetraether lipid berada pada posisi molekul lipid dalam keadaan baring/*horse shoe*.

(C) Organisasi molekul-molekul dari bolamfilik tetraether lipid setelah mencapai tegangan permukaan yang tertinggi, disini molekul-molekul lipid berada di daerah *plateau*. Pada daerah *plateau* ini organisasi molekul-molekul lipid berada pada posisi tegak/*upright*, posisi baring/*horseshoe*, dan fase *bulk*/campuran posisi lipid yang tegak dan baring.

Elipsometer merupakan teknik pengukuran yang tidak cukup/terbatas untuk menjelaskan domain-domain karena luas pengukuran terkecil dari ellipsometer yang hanya  $250 \mu\text{m}^2$ , sehingga hasil pengukuran elipsometer menunjukkan kombinasi rata-rata dari domain-domain lipid yang berada pada posisi tegak/*upright* dan baring/*horseshoe*. Dari data elipsometer (tabel 1) menjelaskan bahwa semua film Langmuir-Blodgett bolaamfilik simetrik dan asimetrik archaeal tetraether lipid dari permukaan yang bersifat hidrofobik berada pada posisi tegak/*upright* (kecuali film Langmuir-Blodgett caldarchaeol yang semua film pada semua permukaan substrat (hidrofilik, Hidrofobik, dan aminosilanisation) berada pada organisasi lipid yang baring/*horseshoe* hal ini disebabkan kestabilan film caldarchaeol yang sangat singkat dan kadang-kadang sangat sulit untuk mendapatkan kurva tegangan permukaan–luas molekular isotherm  $\Pi$ -A).

Berdasarkan data-data dari elipsometer apakah film-film Langmuir-Blodgett baik atau tidak untuk dikarakterisasi dengan AFM. Dari hasil AFM memperlihatkan semua domain-domain film memiliki ketebalan yang bervariasi dari 2 nm hingga 5 nm. Hal ini sesuai dengan asumsi bahwa domain-domain di fase daerah *plateau* memiliki orientasi lipid yang tegak/*upright* dan baring/*horseshoe*.

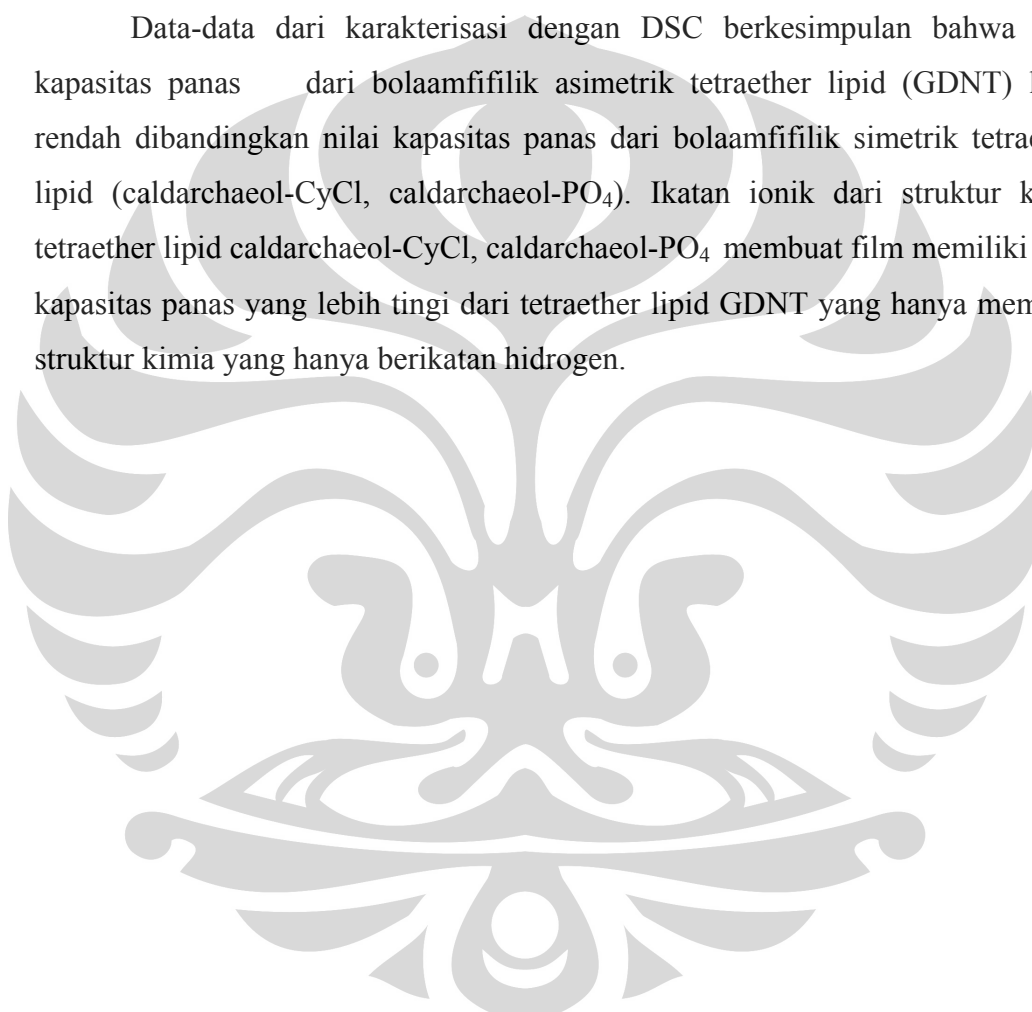
Semua film dari permukaan substrat yang bersifat hidrofobik paling homogen organisasi molekul-molekulnya. Pada permukaan substrat yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation terlihat organisasi molekul-molekul lipid berbentuk pulau-pulau yang kecil pada substrat.

Film langmuir-Blodgett bolaamfilik simetrik dan asimetrik archaeal tetraether lipid pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik memiliki domain-domain yang sangat homogen dan posisi lipid berada pada posisi yang tegak/*upright* (kecuali caldarchaeol). Selain itu film Langmuir-Blodgett dari bolaamfilik tetraether lipid pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik atau aminosilanisation (kecuali caldarchaeol-CyCl) hanya sedikit domain-domain yang homogen, atau dengan kata lain semua film Langmuir-Blodgett pada permukaan wafer silicon yang bersifat hidrofilik dan

aminosilanisation mempunyai domain-domain pada posisi lipid yang baring/*horseshoe*.

Hasil dari karakterisasi kapasitas panas dengan DSC memberikan informasi nilai dari kapasiats panas film Langmuir-Blodgett tetraether lipid diatas permukaan wafer silikon. Tetapi tidak dapat mengetahui lebih terperinci apakah nilai kapasitas panas ini dari film Langmuir-Blodgett tetraether lipid pada posisi lipid yang tegak/*upright* atau baring/*horseshoe*.

Data-data dari karakterisasi dengan DSC berkesimpulan bahwa nilai kapasitas panas dari bolaamfilik asimetrik tetraether lipid (GDNT) lebih rendah dibandingkan nilai kapasitas panas dari bolaamfilik simetrik tetraether lipid (caldarchaeol-CyCl, caldarchaeol-PO<sub>4</sub>). Ikatan ionik dari struktur kimia tetraether lipid caldarchaeol-CyCl, caldarchaeol-PO<sub>4</sub> membuat film memiliki nilai kapasitas panas yang lebih tinggi dari tetraether lipid GDNT yang hanya memiliki struktur kimia yang hanya berikatan hidrogen.





## BAB V

### KESIMPULAN

Pada riset ini dipelajari organisasi monomolekular dari natural simetrik dan asimetrik archaeal tetraether lipid dari *Thermoplasma Acidophilum* dan *Sulfolobus Metallicus* diatas permukaan wafer silikon. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan :

Film monolayer/membran berhasil dibuat dengan menggunakan teknik Langmuir-Blodgett untuk bolaamfifilik simetrik archaeal tetraether lipid (caldarchaeol, caldarchaeol-CyCl, caldarchaeol-PO<sub>4</sub>) diatas substrat wafer silikon.

Semua film yang dihasilkan terdiri dari campuran konfigurasi molekular lipid pada keadaan tegak (*upright*) dan baring (*horseshoe*). Dan domain dari bolaamfifilik simetrik archaeal tetraether lipid juga tergantung pada sifat permukaan wafer silicon (hidrofilik, hidrofobik, dan aminosilanisation).

Semua film yang di transfer pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofobik lebih homogen organisasi molekulnya dibanding pada transfer film pada permukaan wafer silikon yang bersifat hidrofilik dan aminosilanisation.

Ikatan ionik pada bolaamfifilik simetrik archaeal tetraether lipid membuat film ini memiliki kapasitas panas lebih besar dibandingkan bolaamfifilik asimetrik archaeal tetraether lipid (GDNT) yang hanya memiliki ikatan hidrogen.

## DAFTAR REFERENSI

- Bakowsky, U., Rothe, U., Antonopoulos, E., Martini, T., Henkel, B., Freisleben, H.-J., (2000). *Monomolecular organization of the main tetraether lipid from Thermoplasma acidophilum at the water-air interface*, Chem. Phys. Lipids 105: 31-42
- Bakowsky, U., Kneuer, C., Rothe, U., Liefelth, K., Frant, M., K. Dölling., Schmid, R., Johnsen, H., and Stenstad, (2006), Patent PCT/DE2005/001162.
- Bartucci, R., Gambacorta, A., Gliozzi, A., Marsh, D., Sportelli, L., (2005). *Bipolar Tetraether Lipids: Chain Flexibility and Membrane Polarity Gradients from Spin-Label Electron Spin Resonance*, Biochemistry 44: 15017-15023
- Benjamin. I., (1997). *Molecular structure and dynamics at liquid-liquid interfaces*, Annu. Rev. Phys. Chem., 48: 407-451.
- Benvegna, T., Re thore, G., Brard, M., Richter, W., Plusquelle, D., . (2005). *Archaeosomes based on novel synthetic tetraether-type lipids for the development of oral delivery systems*, Chem. Commun 98: 5536-5538.
- Blöcher, D., Freisleben, H.-J., and Ring, K., (1991). *Thermotropic properties of dispersions of cholesterol with tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum*, Biophys. 290: 224-228.
- Blöcher, D., Freisleben, H.-J., Becker, G., Jung, G., and Ring, K., (1991). *Incorporation of synthetic peptidehelices in membranes of tetraetherlipids from Thermoplasma acidophilum. A calorimetric study*, Biochem. Biophys. Acta 1065: 160-166.
- Blöcher, D., Gutermann, R., Henkel, B., Ring, K., (1990). *Physicochemical characterization of tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum. V.*

*Evidence for the existence of a metastable state in lipids with acyclic hydrocarbon chains*, Biochim. Biophys. Acta 1024: 54-60.

Blöcher, D., Gutermann, R., Henkel, B., Ring, K., (1984). *Physicochemical characterization of tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum. Differential scanning calorimetry studies on glycolipids and glycerophospholipids*. Biochim. Biophys. Acta 778: 74-80.

Böhme, P., Hicke, H-G., Boettcher, C., Fuhrhop, J-H., (1995). *Reactive and rigid monolayers of bisaroyl azide diamide bolaamphiphiles on polyacrylonitrile surfaces*, Am. Chem. Soc., 117: 5824-5828

Charitat, T., Bellet-Amalric, E., Fragneto, G., Graner, F., (1999). *Adsorbed and free lipid bilayer at the solid liquid*, Eur. Phys. B 8: 583-593

Dante, S., Ponzi Bossi, M.G., Rustichelli, F., (1997) *Langmuir Blodgett films of archeal lipids: properties and perspectives*, Electrical and related Properties of Organic Solids. 3. High technology 24: 431-443.

De Rosa, M., (1996). *Archaeal lipids: structural features and supramolecular organization*, Thin Solid Films 284-285: 13-17.

Dote, J.L., Barger, W.R., Behroozi, F., Chang, E.L., Lo, S-LC., Montague, E., Nagumo, M., (1990). *Monomolecular film behaviour of tetraether lipids from a thermoacidophilic archaeobacterium at the air/water interface*, Langmuir 6: 1017-1023.

Du Plessis, Buddo, S.R., Minnar, S.H., and, Bode M.L., (2008). *Extraction, isolation and NMR data of the tetraether lipid calditoglycerocaldarchaeol (GDNT) from Sulfolobus metallicus harvested from a bioleaching reactor*. Chem. Phys. Lipids, 154: 94 -104.

Ernst, M., Freisleben, H.-J., Antonopoulos, E., Henkel, L., Mlekusch, W., and Reibnegger, G., (1998). *Calorimetry of archaeal tetraether lipid - indication of a novel metastable thermotropic phase in the main phospho*

*tetraether lipid from Thermoplasma acidophilum cultured at 59°C*, Chem. Phys. Lipids 94: 1-12.

Fittabile, L., Robello, M., Relini, A., De Rosa, M., Gliozzi, A., (1996). *Organization of monolayer-formed membranes made from archaeal ether lipids*, Thin Solid Film 284-285: 735-738

Frant, M., Stenstad, P., Johnsen, H., Dölling, K., Rothe, U., Schmid, R., Liefelth, K., (2006). *Anti-infective surfaces based on tetraether lipids for peritoneal dialysis catheter systems*, Mat-wiss. u. Werkstofftech 37: 6.

Franz, H., Dante, S., Wappmannsberger, Th., Petry, W., De Rosa, M., Rustichelli, F., (1998). *An X-ray reflectivity study of monolayers and bilayers of archae lipids on a solid substrate*, Thin Solid Film 327-329: 52-55.

Freisleben, H-J., Antonopoulos, E., Rothe, U., Bakowsky, U., Hoppe-Seyler's Z., (1994). *Oxydative modification of the main tetraetherlipid from Thermoplasmaacidophilum*, Physiol.Chemie 248: 132-133.

Freisleben, H.-J., Antonopoulos, E., Bakowsky, U., Rothe, U., (1996) *Purified tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum and liposomes containing these tetraether lipids*. German and European Patents (196 07 722.2; PCT/EP97/01011; 97 905 135.6) (Patent)

Freisleben, H.-J., Blöcher, D., and Ring, K., (1992) *Calorimetry of tetraetherlipids from Thermoplasma acidophilum. Incorporation of alamethicin, melittin, valinomycin and nonactin*. Arch. Biochem. Biophys. 294: 418-426.

Freisleben, H.-J., Bormann, J., Lehr, F., Litzinger, D.C., Rudolph, P., Schatton, W., and Huang, L., . (1995). *Toxicity and biodistribution of liposomes of the main phospholipid from the archaeobacterium Thermoplasma acidophilum in mice*, Liposome 5: 215-223.

- Freisleben, H.-J., Henkel, L., Gutermann, R., Rudolph, P., John, G., Sternberg, B., Winter, S. and Ring, K. (1994). *Fermentor cultivation of Thermoplasma acidophilum for. the production of cell mass and of the main phospholipid fraction*, Appl. Microbiol. Biotechnol 40: 745-752.
- Freisleben, H.-J., Neisser, C., Hartmann, M., Rudolph, P., Geck, P., Ring, K., and Müller, W.E.G., (1993). *Influence of the main phospholipid (MPL) from Thermoplasma acidophilum and of liposomes from MPL on living cells: cytotoxicity and mutagenicity*, Liposome Res. 3: 817-833.
- Freisleben, H.-J., Zwicker, K., Jezek, P., John, G., Bettin-Bogutzki, A., Ring, K., and Nawroth, T., (1995). *Reconstitution of bacteriorhodopsin and ATP synthase from Micrococcus luteus into liposomes of the purified main tetraether lipid from Thermoplasma acidophilum: Proton conductance and light-driven ATP synthesis*, Chem. Phys. Lipids 78: 137-147.
- Fuhrhop, J., David, HH., Mathieu, J., Liman, U., Winter, HJ., Boekema, E., (1986). *Bolaamphiphiles and monolayer lipid membranes made from 1, 6, 19, 24-Tetraoxa-3, 21-cyclohexatriacontadiene-2,5,20,23-tetrone*, Am. Chem. Soc. 108: 1785-1791.
- Gambacorta, A., Gliozzi, A., and De Rosa, M., (1995) *Archaeal lipids and their biotechnological application*, Microbiology and Biotechnology 11: 115-131.
- Huang, D.M., and Chandler, D., (2002). *The hydrophobic effect and the influence of solute-solvent attraction*, Phys. Chem. B 106: 2047-2053.
- Jerome, L., Parkson, G., Chong, L-G., (2000). *Molecular modeling of archaeobacterial bipolar tetraether lipid membrans*, Chem. Phys. Lipids 105: 193-200.
- Johnson, R.A., Nagarajan, R., (2000). *Modeling self-assembly of surfactants at solid-liquid interfaces. II. Hydrophilic surfaces*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 167: 21-30.

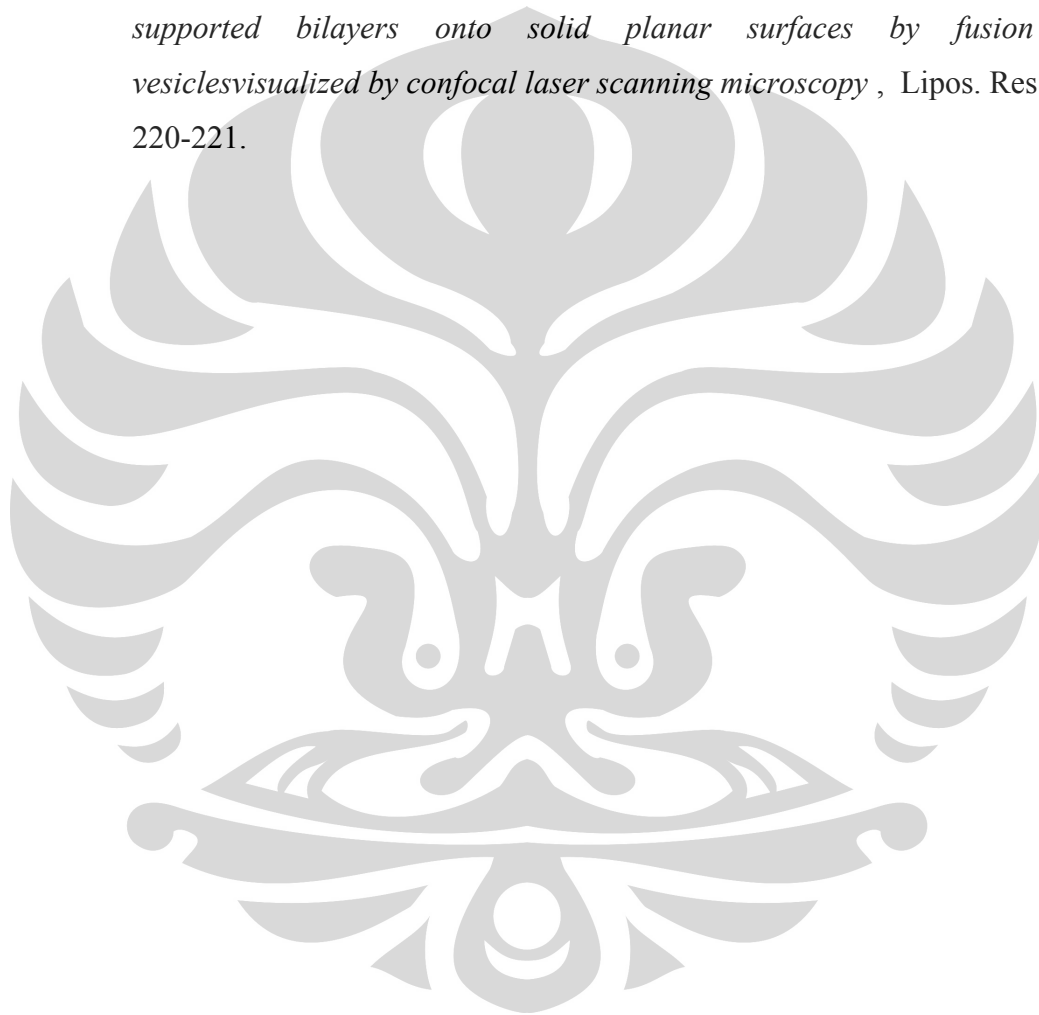
- Kim, J-M., Thompson, D-H., (1992). *Tetraether bolaform amphiphiles as models of Archaeobacterial membrane lipids: synthesis, differential, scanning calorimetry, and monolayer studies*, Langmuir 8: 637-644.
- Köhler, K., Meister, A., Dobner, B., Drescher, S., Ziethe, F., Blume, A., (2006). *Temperature-dependent aggregation behaviour of symmetric long-chain bolaamphiphiles at the air-water interface*, Langmuir 22: 2668-2675
- Luis, A., Bagatoli, (2006). *To see or not to see: Lateral organization of biological membranes and fluorescence microscopy*, Biochimica et Biophysica Acta 1758: 1541–1556.
- Luo, M.F., Yeh, Y.L., Chen, P.L., Nien, C.H., Hsueh, Y.W., (2006). *An atomic force microscope study of thermal behavior of phospholipid monolayers on mica*, Chem. Phys. 124: 194702-7
- Michael, J., Hanford, Tonya, L., Peeples, (2002). *Archaeal Tetraether Lipids Unique Structures and Applications*, Applied Biochemistry and Biotechnology 97: 45-62.
- Nicolas, J.P., (2005). *A Molecular Dynamics Study of an Archaeal Tetraether Lipid Membrane: Comparison with a Dipalmitoylphosphatidylcholine Lipid Bilayer*, JAOCS 82: 10-16
- Papra, A., Penacorada, F., Reiche, J., Katholy, S., Brehmer, L., Hicke, H.G., (1997). *Structure and stability of Langmuir monolayers and Langmuir-Blodgett films of bisaroyl azide bolaamphiphiles*, Supramolecular Science 4: 423-426.
- Pratt, L.R., and Pohorille, A., (2002), *Hydrophobic effects and modeling of biophysical aqueous solution interfaces*, Chem. Rev. 102: 2671-2692.
- Raj Kumar Gupta, K.A., Suresh., (2004). *AFM studies on Langmuir-Blodgett film of cholesterol*, Eur. Phys. 14: 35-42.

- Rao, N., Plant, A.L., V. Silin, S., Wight and Hui, S. W., (1997). *Biophys.* 74: 3066-3077
- Relini, A., Cassinadri, D., Fan, Q., Gulik, A., Mirghani, Z., De Rosa, M., and Ghiozzi, A., (1996). *Effect of physical constraints on the mechanisms of membrane fusion: bolaform lipid vesicles as model systems*, *Biophys* 71: 1789–1795.
- Rolandi, R., Schindler, H., De Rosa, M., Gambacorta, (1986). *Monolayers of ether lipids from archaebacteria*, *Eur Biophys* 14: 19-27.
- Rothe, U.,(2008), *private communication*
- Stern, J., Freisleben, H.-J., Janku, S., and Ring, K., (1992). *Black lipid membranes of tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum*. *Biochim. Biophys. Acta* 1128: 227-236.
- Strobl, C., Six, L., Heckmann, K., Henkel, B., Ring, K., (1985). *Physicochemical Characterization of tetraether lipids from Thermoplasma acidophilum. II Film balance studies on the monomolecular organization of the main glycephospholipid in monofilms*, *Z. Naturforsch.* 40c: 219-222.
- Taguchi, K., Arakawa, K., Eguchi, T., Kakinuma, K., Nakatani, Y., Ourisson, G., (1998). *Synthesis of macrocyclic phosphates as models of archaean membrane lipids. Monolayer and bilayer studies*, *Chemical* 65: 63-69.
- Thor, D., Osborn, and Yager, P., (1995). *Modeling success and failure of Langmuir-Blodgett transfer of phospholipid bilayer to silicon dioxide*, *Biophys.* 68: 1364-1373.
- Tiberg, F., Harwigsson, I., Malmsten, M., (2000). *Formation of model lipid bilayers at the silica-water interface by co-adsorption with non-ionic dodecyl maltoside surfactant*, *Eur. Biophys* 29: 196-203.
- Tomoaia-Cotisel, M., Chifu, E., Zsako, J., Mocanu, A., Quinn, P.-J., and Kates, M., (1992). *Monolayer properties of archaeol and caldarchaeol*

*polar lipids of methanogenic archaeobacterium, Methanospirillum hungatei, at the air/water interface, Chem. Phys. Lipids 63: 131-138.*

Venkataramanan, M., Pradeep, T., (2000). *A Method To Study the Phase Transition and Desorption of Self-Assembled Monolayer on Planar Gold Surfaces, Anal. Chem 72: 5852-5856.*

Vogel, J., Bendas, G., Rothe, U., Bakowsky, U., Nuhn, P. (1996) *Formation of supported bilayers onto solid planar surfaces by fusion of vesicles visualized by confocal laser scanning microscopy, Lipos. Res. 61: 220-221.*





## PUBLIKASI ILMIAH

### INTERNATIONAL JOURNAL

1. Sri Vidawati, Johannes Sitterberg, Udo Bakowsky and Ulrich Rothe, *AFM and Ellipsometric studies on LB-films of Natural Asymmetric and Symmetric Bolaamphiphilic Archaeobacterial tetraether lipids on Silicon Wafers*, **J. Elsevier Colloid and Surfaces B: Biointerfaces** 78 (2010) pp. 303-309.

### INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS

1. Sri Vidawati, Ulrich Rothe, Bambang Soegijono, and M. Hikam : Study of Monolayer Films for Organic Solar Cells, **American Institute Physics (AIP) Conference Proceedings**, Advanced Materials for Renewable and New Energy. September 14, 2009 (1169) : pp 127- 131. . ISBN: 978-0-7354-0706-0.
2. Sri Vidawati, Ulrich Rothe, Bambang Soegijono, and M. Hikam : AFM and Ellipsometry Study of Thin Film Monolayer Organic using Langmuir-Blodgett Methode for Nano Technology, Proceeding for The 11 International Conference on **QiR** (Quality in Research) Depok, Indonesia, 3-6 August 2009 .ISSN: 114-1284.

### SEMINAR INTERNATIONAL

1. Sri Vidawati, Ulrich Rothe, Bambang Soegijono, and M. Hikam : Study of Monolayer Films for Organic Solar Cells, International Workshop on Advance Materials for Renewable and New Energy, Jakarta, 2009 sebagai presenter.
2. Sri Vidawati, Ulrich Rothe, Bambang Soegijono, and M. Hikam : AFM and Ellipsometry Study of Thin Film Monolayer Organic using Langmuir-Blodgett Methode for Nano Technology, The 11 International Conference on QiR (Quality in Research) Agustus 2009 di Jakarta (Indonesia) sebagai presenter.