



**APLIKASI METODE ADSA-OVERLAY UNTUK MENGUKUR TEGANGAN  
PERMUKAAN**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Moh. Azhar Alhadi**

**081810301057**

**JURUSAN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2015**



**APLIKASI METODE ADSA-OVERLAY UNTUK MENGUKUR TEGANGAN  
PERMUKAAN**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains.

Oleh  
**Moh. Azhar Alhadi**  
**081810301057**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Rasa syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah meridhoi setiap langkah dan tindakan dalam menyelesaikan skripsi ini. Saya persembahkan skripsi ini untuk keluarga :

1. Bapak Syamsul dan Ibu Rinda yang telah memberikan segalanya;
2. adikku Furqon, Salma, dan Zifah.
3. keluarga besar Mbah Bingah;
4. keluarga besar Mbah Kakung.

## MOTTO

“Apa saja yang Allah anugerahkan kepada manusia berupa rahmat, maka tidak ada seorangpun yang dapat menahannya, dan apa saja yang ditahan oleh Allah, maka tidak ada seorangpun yang sanggup melepaskannya sesudah itu “.

(terjemahan Q.S Fatir : 2-3)\*)

Sukses yang sejati terletak pada kemampuan untuk merasakan pikiran bahagia

(Erbe Sentanu)\*\*)

- 
- \*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. Al Qur'an Terjemahannya. Bandung : CV Penerbit Jamanut ' Ali-Art.
- \*\*\*) Sentanu. E dalam Mustofa. A. 2007. Quantum Ikhlas Teknologi Aktivasi Kekuatan Hati. Jakarta : Elex Media Komputindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Azhar Alhadi

NIM : 081810301057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Aplikasi Metode *ADSA-Overlay* Untuk Mengukur Tegangan Permukaan” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2015  
Yang menyatakan,

Moh. Azhar Alhadi  
NIM 081810301057

**SKRIPSI**

**APLIKASI METODE ADSA-OVERLAY UNTUK MENGUKUR TEGANGAN  
PERMUKAAN**

Oleh

Moh. Azhar Alhadi

NIM 081810301057

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Tri Mulyono. S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing anggota : Dwi Indarti, S.Si, M.Si

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Aplikasi Metode *ADSA-Overlay* Untuk Mengukur Tegangan Permukaan” telah disetujui dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Pembimbing

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA)

Tri Mulyono. S.Si., M.Si  
NIP 196810021998021001

Dwi Indarti, S.Si, M.Si  
NIP 197409012000032004

Anggota Tim Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Drs. Sudarko, Ph.D.  
NIP 196903121992031002

Yeni Maulidah Muflihah SSi, M.Si.  
NIP 198008302006042002

Mengesahkan  
Dekan,

Prof. Drs, Kusno DEA., Ph.D.  
NIP 196101081986021001

## RINGKASAN

**Aplikasi Metode ADSA-Overlay Untuk Mengukur Tegangan Permukaan.** Moh. Azhar Alhadi, 081810301057; 2015: 35 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengentahuan Alam Universitas Jember.

Metode *Pendant drop* didasarkan pada hubungan perubahan bentuk dari tetesan cairan dengan tegangan permukaannya. Profil dari *pendant drop* bergantung pada kesetimbangan antara gaya gravitasi, yang cenderung memperpanjang profil tetesannya, dan tegangan permukaan yang mengurangi luas permukaan tetesan sehingga profilnya semakin berbentuk bola (Faouret al, 1996). *Axisymetric Drop Shape Analysis* (ADSA) merupakan metode yang didasarkan pada perbandingan bentuk tetes yang didapat dari eksperimen dengan model matematis dari persamaan Laplace klasik. Penelitian ini mengukur tegangan permukaan dengan cara mencocokkan bentuk model matematis persamaan Laplace pada bentuk tetes yang didapatkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk (1) Mengetahui kemampuan program ADSA-Overlay dalam menentukan tegangan permukaan yang dicari dan (2) Mengetahui validitas metode ADSA-Overlay (akurasi dan presisi).

Penelitian ini menggunakan air, etanol, dan aseton sebagai cairan yang akan diukur tegangan permukaannya. Pengambilan gambar tetes cairan dilakukan pada suhu 25°, 26 °C, 27 °C, 28 °C, dan 29 °C. Pengaturan suhu cairan dilakukan dengan cara larutan dialirkan dalam selang yang direndam dalam air yang telah diatur suhunya.

Cairan diteteskan melalui ujung kapiler secara perlahan, gambar tetesan diambil dengan menggunakan mikroskop digital yang disambungkan pada komputer. Gambar profil tetes yang telah didapat digunakan untuk *fitting* model matematis persamaan laplace. Konstanta kapilaritas yang didapatkan dari *fitting* model matematis persamaan laplace digunakan untuk menentukan besarnya tegangan permukaan cairan.



Validitas metode ADSA-Overlay ditentukan berdasarkan akurasi dan presisi dari tegangan permukaan cairan. Akurasi dan presisi dari metode ADSA-Overlay pada suhu 25°C untuk cairan aquades adalah 99,8%, dan 98,61%; etanol adalah 98,4%, dan 99,01%; dan aseton adalah 92,4% dan 99,01%.



## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala hidayah dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Aplikasi Metode Adsa-Overlay Untuk Mengukur Tegangan Permukaan*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Bapak Tri Mulyono, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Dwi Indarti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Drs. Sudarko, Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Ibu Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik, saran dan masukan dalam penyempurnaan skripsi ini;
5. Sohob Turidi, Fendra, Dhea, Nyit, dan Jaka yang selalu ada dalam kebersamaan selama ini;
6. Mbak Lisa yang selalu memberikan motivasi dan semangat selama ini;
7. semua teknisi di Jurusan Kimia (mas Darma, mas Dulkolim, mbak Sari dan mas Maryono) terima kasih atas dukungannya selama penelitian;
8. adik-adik angkatan jurusan kimia yang telah memberikan dukungan.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Desember 2015

Penulis

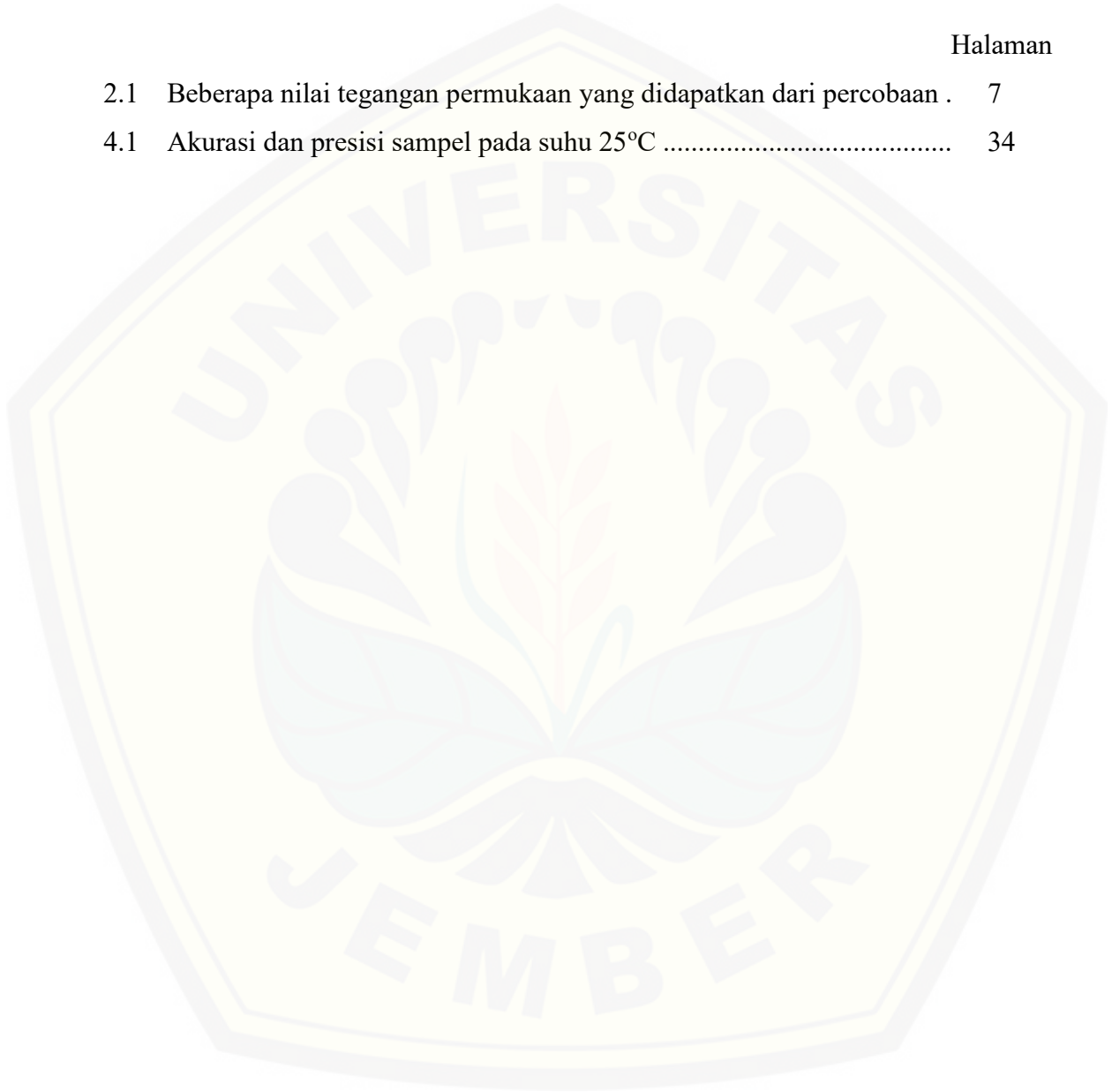
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat</b> .....	3
<b>1.5 Batasan</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Tegangan Permukaan</b> .....	5
<b>2.2 Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA)</b> .....	7
<b>2.3 Metode Pengukuran Dengan Menggunakan ADSA</b> .....	12
2.3.1 .Optimasi Numerik .....	13
<b>2.4 Program LabVIEW</b> .....	16
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
<b>3.1 Tempat dan waktu penelitian</b> .....	18

<b>3.2 Alat dan bahan</b> .....	18
<b>3.3 Diagram alir penelitian</b> .....	19
<b>3.4 Prosedur penelitian</b> .....	20
3.4.1 Perangkaian alat.....	20
3.4.2 Pembuatan program ADSA-Overlay .....	21
3.4.3 Pengambilan gambar tetes .....	22
3.4.4 Penentuan tegangan permukaan cairan.....	22
3.4.5 Penentuan validitas metode ADSA-Overlay .....	22
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1 Pembuatan Program ADSA-Overlay</b> .....	24
4.1.1 Bagian persamaan .....	24
4.1.2 Bagian kurva teoritis.....	25
4.1.3 Penumpukan ( <i>Overlaying</i> ) dan Penepatan ( <i>Fitting</i> ) .....	28
<b>4.2 Analisa Gambar</b> .....	30
<b>4.3 Analisa Tegangan Permukaan Cairan</b> .....	31
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	37
<b>5.2 Saran</b> .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	38
<b>LAMPIRAN</b> .....	40

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Beberapa nilai tegangan permukaan yang didapatkan dari percobaan .	7
4.1 Akurasi dan presisi sampel pada suhu 25°C .....	34



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Profil molekul dalam cairan.....	5
2.2 Prosedur umum dari <i>Axisymmetric Drop Shape Analysis</i> (ADSA) .....	12
2.3 Diagram skematik dari eksperimen ADSA untuk analisa <i>sessile</i> dan <i>pendant drop</i> .....	13
2.4 (a) Penggambaran teoritis dari sistem koordinat untuk dua fluida yang homogen yang dipisahkan oleh sebuah lapisan antarmuka. (b) perbandingan titik eksperimen dengan kurva Laplacian .....	14
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Set Alat ADSA-Overlay .....	20
3.3 <i>Logic Chart</i> program ADSA-Overlay .....	21
4.1 Hasil konversi numerik dari persamaan (4.1); (4.2); dan (4.3) menjadi <i>array string</i> dalam bahasa pemrograman LABVIEW .....	25
4.2 Block diagram VI pembuatan kurva teoritis.....	26
4.3 (a) gambar kurva dengan data (x,y) tanpa perlakuan dan (b) gambar kurva dengan data (x,y) dengan perlakuan .....	28
4.4 Block diagram VI overlaying dan fitting kurva teori dan profil eksperimental .....	29
4.5 Set Alat ADSA-Overlay .....	30
4.6 Foto <i>Pendant Drop</i> Aquades yang didapatkan dari hasil eksperimen..	31
4.7 Pengaruh variasi konstanta b dan c terhadap perubahan bentuk kurva (a) variasi konstanta b (b) variasi konstanta c .....	32
4.8 Fitting kurva teoritis pada gambar 4.7.....	33
4.9 Pengaruh suhu terhadap tegangan permukaan air .....	35
4.10 Profil <i>pendant drop</i> yang tidak simetris .....	36

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
1. Lampiran Tabel Penentuan Tegangan Permukaan, Akurasi Dan Presisi Sampel Dengan Metode ADSA-Overlay .....	40
2. Lampiran Perhitungan .....	42
a. Lampiran Perhitungan Tegangan Permukaan .....	42
b. Lampiran Perhitungan Akurasi .....	42
c. Lampiran Perhitungan Standar Deviasi .....	42
d. Lampiran Perhitungan Presisi .....	42
3. Lampiran Tabel Gambar Tetes Cairan .....	43

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengukur tegangan permukaan dan sudut kontak (Padday, 1968). Salah satu cara pengukuran tegangan permukaan yang populer saat ini adalah pengukuran dengan berdasarkan profil *pendant drop* dari cairan yang akan diukur. Metode *Pendant drop* didasarkan pada hubungan perubahan bentuk dari tetesan cairan dengan tegangan permukaannya. Profil dari *pendant drop* bergantung pada kesetimbangan antara gaya gravitasi, yang cenderung memperpanjang profil tetesannya, dan tegangan permukaan yang mengurangi luas permukaan tetesan sehingga profilnya semakin berbentuk bola (Faour *et al*, 1996). Metode ini memiliki beberapa kelebihan, diantaranya hanya membutuhkan bahan yang sangat sedikit, relatif cepat dan mampu digunakan untuk mengukur tegangan permukaan secara dinamis (David *et al*, 1995). Pengukuran dengan cara ini diperkenalkan oleh Andreas *et al* (1938). Metode ini menunjukkan adanya hubungan antara tegangan permukaan dan profil *pendant drop* cairan yang diukur. Metode yang digunakan oleh Andreas *et al* (1938) mengambil relatif sedikit titik data dari profil tetesan yang akan diukur, sehingga metode ini memiliki akurasi yang lebih rendah dibandingkan metode pengukuran tegangan permukaan lainnya.

*Axisymmetric Drop Shape Analysis* (ADSA) merupakan metode yang didasarkan pada perbandingan bentuk tetes yang didapat dari eksperimen dengan model matematis dari persamaan Laplace klasik (Del Rio, 1997). Metode ini dapat digunakan untuk semua sistem fluida cair yang dapat dipresentasikan lewat persamaan kapilaritas Laplace. Penggunaan metode ADSA lebih dianjurkan karena metode ini dapat menggunakan analisa gambar digital yang mampu meningkatkan akurasi secara signifikan dibandingkan cara analog (Del Rio, 1997). Kelebihan lain dari ADSA adalah, metode ini mampu menghitung sudut kontak, volume dan luas permukaan secara bersamaan.



*Axisimetric Drop Shape Analysis* (ADSA) untuk menentukan tegangan permukaan pertama kali dilakukan oleh Bashford dan Adam (1892) dan Maze dan Burnet (1969), yang mengembangkan metode pengukuran berdasarkan angka yang menjadi dasar metode pengukuran saat ini. Metode ADSA yang paling baik dan paling sering digunakan secara luas adalah ADSA-P (Profile) oleh Rotenberg *et al* (1983). Jennings dan Pallas (1988) mengembangkan metode yang mirip, tetapi melakukan simplifikasi numerikal yang mempengaruhi akurasi dari metode tersebut. Dengan kemampuan metode ADSA untuk mengukur sudut kontak, volume dan area permukaan mendorong berkembangnya metode ADSA-D (Diameter). Metode ini mengukur sudut kontak berdasarkan volume dan diameter *Sessile Drop* yang tegangan permukaannya telah diketahui. ADSA-D khususnya mampu melakukan pengukuran untuk tetes dengan sudut kontak yang kecil ( $\theta < 20^0$ ) (Skinner, 1989). Malcolm dan Elliot (1980) menggunakan persamaan semiempiris untuk memperkirakan tegangan permukaan dari tinggi dan diameter maksimal profil *sessile drop* dan *pendant drop*,

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran profil tetes dari cairan yang telah diketahui profilnya. Pengambilan gambar digital menggunakan mikroskop digital yang disambungkan ke komputer personal. Model persamaan laplacian yang digunakan, digambar pada profil tetes sesuai dengan syarat persamaan. Teknik ini disebut ADSA-Overlay karena proses penumpukan plot persamaan Laplacian pada gambar tetes yang akan diukur. Konstanta dan variabel yang ada pada persamaan tersebut diatur sedemikian rupa sehingga plot persamaannya semirip mungkin dengan outline gambar tetes. Hasil dari nilai persamaan Laplace tersebut dibandingkan dengan literatur yang telah ada untuk menentukan validitas metode ini dalam menentukan tegangan permukaan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Apakah program ADSA-Overlay yang dibuat mampu digunakan untuk menentukan tegangan permukaan dari cairan yang dicari?
2. Bagaimana validitas metode ADSA-Overlay (akurasi dan presisi)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah

1. Mengetahui kemampuan program ADSA-Overlay dalam menentukan tegangan permukaan yang dicari.
2. Mengetahui validitas metode ADSA-Overlay (akurasi dan presisi).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu untuk menambah desain metode pengukuran tegangan permukaan dengan menggunakan metode Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA).

## 1.5 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, alkohol, dan kloroform.
2. Bentuk tetes yang dihasilkan mengikuti persamaan Laplacian.
3. Persamaan dan syarat kondisi yang digunakan dalam program yang digunakan adalah

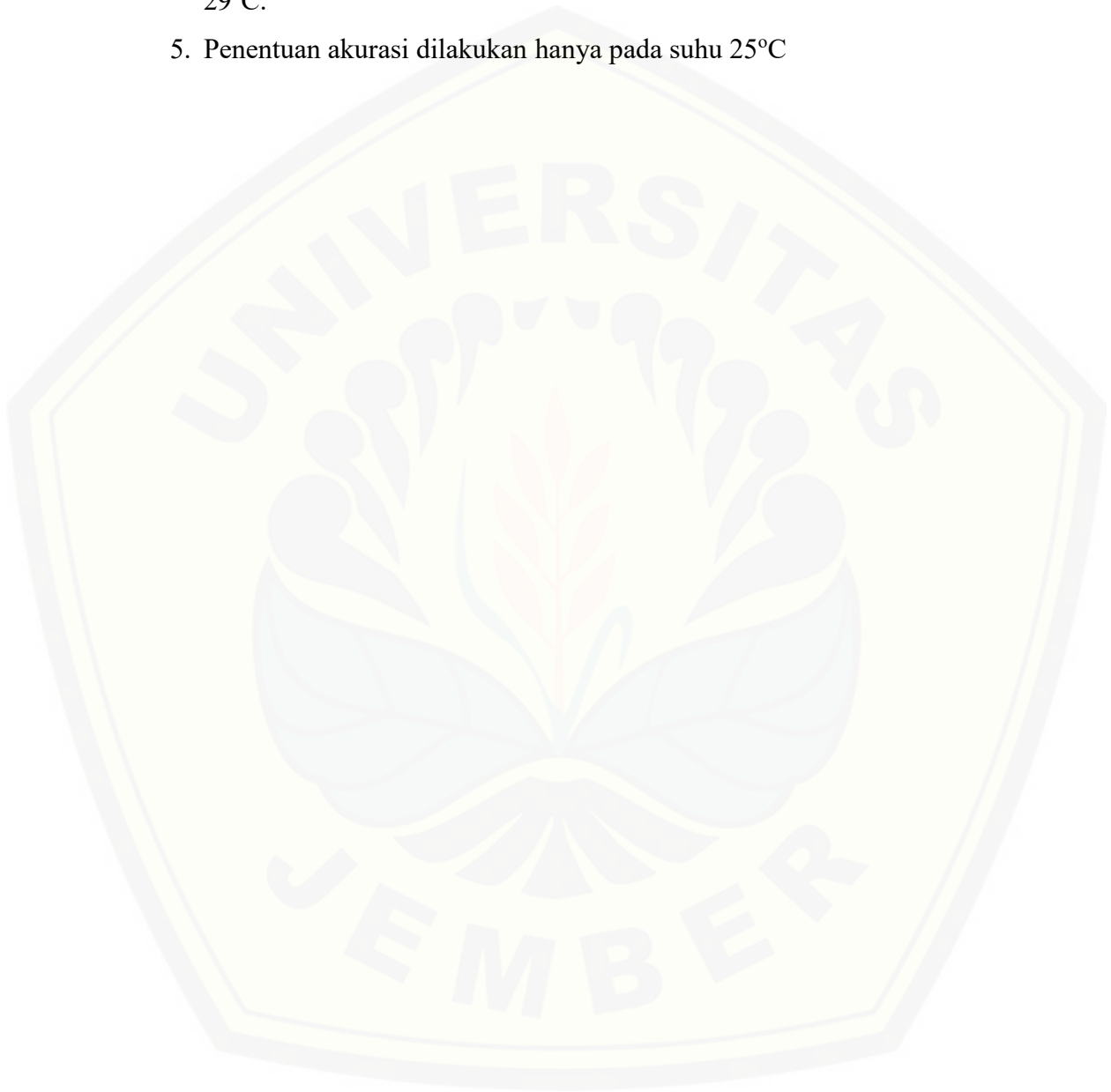
$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta;$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin \theta;$$

$$\frac{d\theta}{ds} = 2b + cz - \frac{\sin \theta}{x};$$

$$x(0) = z(0) = \varnothing(0) = 0$$

4. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25°, 26°, 27°, 28°, dan 29°C.
5. Penentuan akurasi dilakukan hanya pada suhu 25°C



## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tegangan Permukaan

Fluida adalah zat yang dapat mengalir, istilah fluida digunakan untuk cairan dan gas, umumnya kita beranggapan bahwa gas adalah sesuatu yang mudah ditekan, sedangkan cairan hampir tidak mungkin dapat ditekan. Mekanika fluida adalah cabang ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat fisik dari fluida, ilmu ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu statika fluida dan dinamika fluida. Statika fluida mempelajari tentang fluida yang diam dalam keadaan setimbang, hal ini didasarkan pada hukum pertama dan ketiga Newton. Umumnya yang dipelajari dalam statika fluida merupakan konsep kunci seperti densitas, tekanan, daya apung, dan tegangan permukaan. Dinamika fluida mempelajari tentang fluida yang bergerak, yang jauh lebih kompleks dari statika fluida (Young dan Freedman, 2000).

Tegangan permukaan adalah fenomena dimana permukaan cairan berperilaku seperti lapisan yang memiliki tegangan (Young dan Freedman, 2000). Molekul-molekul dalam cairan memberikan gaya tarik antara satu dengan yang lainnya. Gaya yang berkerja ini diantaranya adalah gaya van der Waals, gaya dipol dan gaya dari ikatan hidrogen. Molekul-molekul ini memiliki gaya total yang besarnya sama dengan nol untuk molekul dalam cairan, tetapi untuk molekul yang berada dipermukaan cairan akan memiliki gaya total dimana molekulnya ditarik kedalam cairan. Sebuah tetes air hujan yang jatuh bebas cenderung berbentuk bola karena bentuk bola memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibanding bentuk lainya untuk jumlah volume yang sama (Bruce, 2002).



Gambar 2.1 Profil molekul dalam cairan

Konsekuensinya, sebuah gaya tarik dapat dianggap bekerja pada bidang permukaan sepanjang suatu garis dipermukaan seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.1. Intensitas gaya tarik molekul per satuan panjang sepanjang suatu garis di permukaan ini disebut tegangan permukaan dan dilambangkan dengan huruf Yunani  $\sigma$  (sigma). Nilai-nilai tegangan permukaan yang didapatkan terdapat pada tabel 2.1. Umumnya nilai tegangan permukaan akan berkurang jika suhunya meningkat. Tegangan permukaan dalam suatu tetesan zat cair dapat dihitung dengan cara, jika butiran bulat tetesan zat cair tersebut dipotong separuhnya, gaya yang timbul pada sekeliling tepinya karena tegangan permukaan adalah  $2\pi R\sigma$ . Gaya ini harus diimbangi oleh perbedaan tekanan ( $\Delta p$ ) antara tekanan dalam ( $p_i$ ) dan tekanan luar ( $p_e$ ) yang bekerja pada permukaan bundar ( $\pi R^2$ )

$$2\pi R\sigma = \Delta p \pi R^2 \quad (1)$$

sehingga

$$\Delta P = p_i - p_e = \frac{2\sigma}{R} \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) dapat diketahui bahwa tekanan dalam tetesan lebih besar dari pada tekanan yang mengelilinginya (Bruce, 2002).

Metode yang digunakan untuk pengukuran tegangan permukaan sudah banyak dikembangkan. Metode yang telah digunakan untuk mengukur tegangan permukaan diantaranya adalah metode du Nouy yang menggunakan cincin untuk menghitung tegangan tarik maksimum dari permukaan cairan, metode Wilhelmy *plate* menggunakan papan vertikal yang dihubungkan pada timbangan untuk menghitung gaya yang dihasilkan dari pembasahan, Metode *Spinning drop* yang mengukur diameter dari tetesan dalam cairan dengan fase berat ketika tetesan dan cairan fase berat tersebut diputar, metode *pendant drop*, metode *sessile drop*, dan metode-metode lainnya. ADSA adalah metode pengukuran tegangan permukaan yang sampai saat ini dianggap sebagai metode yang paling simpel dan tidak memiliki keterbatasan dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya.

Tabel 2.1 Beberapa nilai tegangan permukaan (Lide, D. R., 2005).

Cairan yang bersentuhan dengan udara	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tegangan Permukaan (Dyne/cm)
<b>Benzena</b>	20	28.9
<b>Karbon tetraklorida</b>	20	26.8
<b>Etanol</b>	25	21.97
<b>Gliserin</b>	20	63.1
<b>Raksa</b>	20	465
<b>Minyak zaitun</b>	20	32
<b>Air sabun</b>	20	25
<b>Air</b>	0	75.6
<b>Air</b>	20	72.8
<b>Air</b>	25	71.99
<b>Air</b>	100	58.91
<b>Aseton</b>	25	23.46
<b>Neon</b>	-247	5.15
<b>Helium</b>	-269	0.12

## 2.2 Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA)

Metode bentuk tetes telah dikembangkan untuk menentukan tegangan antarmuka dan sudut kontak dari sistem cair-uap ataupun cair-cair dari bentuk *sessile drop* dan *pendant drop*, dan gelembungnya. Bentuk tetesan ditentukan oleh kombinasi dari tegangan permukaan dan gaya gravitasi. Tegangan permukaan cenderung membuat bentuk tetes menjadi bulat, sedangkan gaya gravitasi cenderung membuat bentuk dari *pendant drop* memanjang atau meratakan bentuk dari *sessile drop*. Ketika tegangan permukaan dan gaya gravitasi sebanding maka, pada dasarnya

kita dapat menentukan tegangan permukaan dengan menganalisa bentuk tetesan yang terbentuk.

Kelebihan dari metode penentuan menggunakan bentuk tetes cukup banyak, jika dibandingkan dengan metode seperti teknik *Wilhelmy Plate*, yaitu:

- Jumlah cairan (sampel) yang digunakan sedikit.
- Relatif lebih mudah dilakukan.
- Dapat digunakan dalam berbagai eksperimen yang sulit, seperti penentuan tegangan antarmuka antara sistem cairan-fluida yang tergantung pada temperatur dan tekanan.
- Parameter yang diatur untuk menentukan tegangan antarmuka relatif sedikit.
- Zat yang dapat digunakan cukup luas, mulai dari cairan organik sampai logam cair, dan dari pelarut murni sampai larutan pekat.
- Memiliki potensi untuk menentukan tegangan antar muka pada sistem yang dinamis, karena profile dari tetesan dapat disimpan dalam bentuk gambar digital (Hoorfar dan Neumann, 2006).

Kesetimbangan antara tegangan permukaan dengan gaya eksternal, seperti gravitasi, dapat diproyeksikan dalam persamaan kapilaritas Laplace. Persamaan Laplace merupakan persamaan yang menjelaskan tentang kondisi kesetimbangan mekanis dari dua fluida homogen yang dipisahkan oleh sebuah permukaan. Persamaan ini menghubungkan perbedaan pada permukaan lengkung dengan tegangan permukaan dan lengkungan permukaannya.

$$\gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \Delta P \quad (3)$$

$R_1$  dan  $R_2$  adalah dua jari-jari kelengkungan dan  $\Delta P$  adalah perbedaan tekanan pada sebarang antarmuka sistem tersebut. Dengan diketahuinya nilai tegangan permukaan ( $\gamma$ ), maka bentuk tetesan dapat ditentukan. Sebaliknya, dari bentuk tetes dapat ditentukan tegangan permukaannya, meskipun secara signifikan ini lebih sulit dilakukan (Lahooti, et al, 1996)

Analisa bentuk tetes pertama kali dilakukan oleh Bashfort dan Adams (1892) yang menghasilkan berbagai bentuk *sessile drop* dari berbagai nilai tegangan permukaan dan jari-jari puncak tetes yang berbeda. Penelitian dilakukan sebelum adanya komputer digital sehingga metode penelitian yang dilakukan memerlukan upaya yang sulit. Pekerjaan untuk menentukan tegangan antar muka dan sudut kontak dari profil tetes menjadi persoalan interpolasi dari tabel yang mereka hasilkan. Bashford dan Adams (1982) menghasilkan tabel berisi hasil dari diferensiasi dari persamaan yang menjelaskan profil tetes. Hartland dan Hartley (1976) mengumpulkan sejumlah penyelesaian untuk menentukan tegangan antarmuka dari berbagai bentuk tetes dari sistem antarmuka aksisimetri fluida-cair. Program komputer FORTRAN digunakan untuk mengintegrasikan bentuk yang cocok dari persamaan Laplace dan hasilnya terdapat dalam bentuk tabel. Kesalahan/kesulitan yang terjadi dari metode ini terdapat pada cara pengambilan data. Gambar dari seluruh permukaan tetesan dikurangi untuk mengukur beberapa titik kritis yang telah ditentukan. Titik-titik ini kritis dikarenakan berhubungan dengan karakteristik spesial, seperti titik perubahan pada permukaan tetesan, dan titik-titik ini harus ditentukan dengan akurasi yang tinggi. Penggunaan tabel Bashford-Adams terbatas pada profil tetesan dengan ukuran dan bentuk dengan rentang tertentu.

Maze dan Barnet (1971) mengembangkan skema strategi yang lebih memuaskan untuk menentukan tekanan antarmuka dari bentuk *sessile drop*. Mereka mengembangkan algoritma angka yang berisi prosedur regresi nonlinear dimana bentuk tetesan dari hasil kalkulasi ditepatkan (*fitting*) dengan memvariasikan dua parameter pada beberapa koordinat titik yang telah dipilih dan diukur dari profil tetes sampai ketepatan yang terbaik diperoleh. Strategi ini mengasumsikan bentuk tetesan yang diukur sebagai set koordinat titik, sehingga tidak ada titik yang signifikan dalam set tersebut. Untuk memulai perhitungannya, diperlukan estimasi bentuk dan ukuran tetes yang layak. Estimasi didapatkan secara tidak langsung menggunakan nilai yang terdapat dari tabel Bashford dan Adams (1892).



Meskipun terdapat peningkatan dibandingkan dengan strategi sebelumnya, tetapi masih terdapat kekurangan dari algoritma tersebut. Persamaan *error*, dengan kata lain, terdapat perbedaan antara profil tetesan teoritis dan profil tetesan yang didapat dari eksperimen. Kesalahan ini didapatkan ketika menjumlahkan kuadrat jarak dua titik horizontal dari profil tetesan teoritis dan eksperimen. Perhitungan ini tidak cocok untuk *sessile drop* yang bentuknya sangat mudah dipengaruhi oleh grafitasi, misalnya, tetesan besar dengan tegangan permukaan yang kecil, profilnya cenderung untuk rata pada bagian puncaknya, sehingga data yang berada didekat puncak akan memiliki kesalahan yang besar. Huh dan Reed (1983) melakukan pendekatan yang mirip. Mereka menggunakan jarak normal untuk menjelaskan fungsi objektif, yang merupakan penaksiran yang buruk. Titik puncak masih harus dipilih secara manual dan metode ini hanya dapat digunakan untuk *sessile drop* dengan sudut kontak lebih dari  $90^\circ$ .

Anastasiadis *et al* (1986) mengusulkan teknik lain yang menghubungkan pengolahan gambar digital dengan *Robust Shape Comparison Routine*. Teknik ini mengakui bahwa “*Outliers*” yang merupakan titik data *error* dari profil tetes eksperimental memiliki peran yang besar untuk mempengaruhi hasil dari metode kuadrat yang dilakukan oleh Maze dan Barnet (1971). *Robust Shape Comparison Routine* membandingkan vektor atau segmen garis pada profil eksperimental dengan vektor yang setara pada profil teoritis. Teknik ini memerlukan titik referensi yang memiliki spesifikasi dimana titik tersebut terhubung dengan titik yang lain pada profil tersebut. Titik referensi ini dapat sebagai titik puncak dari tetes ataupun titik pusat dari profil tetes (titik potong dari garis aksis vertikal simetri tetes dengan garis horizontal diameter maksimum). Hal ini menyebabkan akurasi dari hasil tergantung tidak hanya dari akurasi koordinat dari profil tetes, tetapi juga tergantung pada akurasi dari penentuan titik referensi.

Rotenberg *et al* (1983) mengembangkan teknik pengukuran yang lebih *powerful*, yaitu Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA). teknik ini menepatkan (*fitting*) profil tetes yang diukur pada kurva Laplacian menggunakan metode non

linear. Teknik ADSA fungsi objek yang digunakan untuk menilai ketidaksesuaian antara kurva Laplacian teoritis dengan kurva ekperimental merupakan jumlah dari kuadrat jarak normal antara titik yang diukur (pada kurva eksperimental) dengan kurva yang didapatkan dari perhitungan. Teknik ini mengasumsikan lokasi dari titik puncak tetes tidak diketahui dan koordinat asal dipertimbangkan sebagai variabel independen sebagai fungsi objek. Prosedur numerik ini menyatukan kedua metode dari *sessile* dan *pendant drop*, tidak memerlukan tabel dan tidak ada batasan pada aplikasinya. Sederhananya dan akurasi dari metode ADSA ditingkatkan lebih lanjut oleh Cheng (1990) yang mengimplementasikan teknik pemrosesan gambar otomatis untuk mendeteksi titik tepi dari tetesan. Implementasi ini meningkatkan akurasi dan efisiensi dari ADSA Rotenberg secara signifikan.

Cheng *et al* (1990) mengevaluasi performa dari ADSA untuk konfigurasi *pendant* dan *sessile drop* menggunakan tetesan sintetis. ADSA dievaluasi menggunakan data acak, titik pada lima lokasi dihilangkan untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya dari setiap lokasi terhadap hasil. Dari sini diketahui bahwa titik data yang berada pada leher dari *pendant drop* dan titik data yang berada pada dekat antarmuka cair padat dari *sessile drop* memberi pengaruh yang lebih dibandingkan dengan titik yang berada pada lokasi lainnya. ADSA diketahui memberikan hasil yang sangat akurat kecuali pada *sessile drop* yang sangat besar dan datar dimana program yang berjalan mengalami kegagalan. terhadap kesulitan mendapatkan kesejajaran kamera terhadap tetes secara tegak lurus, sehingga terdapat kesalahan yang berhubungan dengan koordinat garis tegak lurus yang ditentukan secara manual menggunakan *mouse* pada layar monitor.

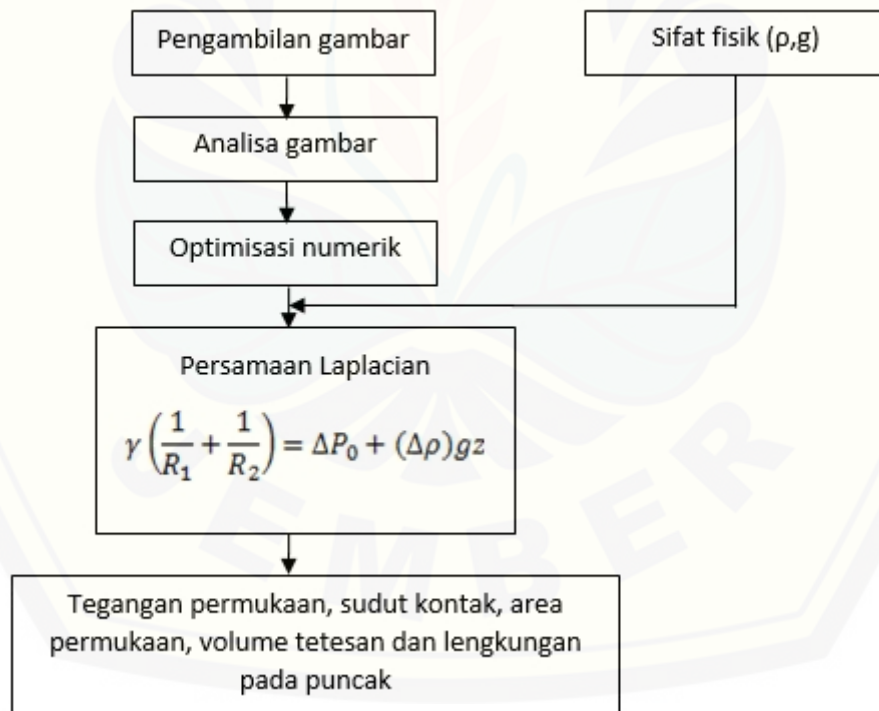
Del Rio (1993) mengembangkan ADSA generasi kedua untuk mengatasi kekurangan pada skema numerik yang ada pada ADSA generasi pertama menggunakan algoritma yang lebih efisien. Del Rio menggunakan lengkungan pada puncak dan sudut dari garis vertikal yang sejajar sebagai parameter optimisasi. Del Rio menggunakan program baru bernama *Axisymmetric Liquid Fluid Interface* (ALFI) yang bekerja dengan cara yang bertolak belakang dengan ADSA. ALFI

menghasilkan kurva Laplacian teoritis dengan cara mengintegrasikan persamaan Laplace yang telah diketahui nilai tegangan permukaan dan kelengkungan puncaknya. ALFI pada intinya merupakan otomatisasi prosedur Bashford dan Adams.

Metode ADSA telah dikembangkan menjadi metode yang lebih baik dan efisien. Perkembangan metode ADSA meliputi cara input data pada program, optimasi persamaan Laplacian, dan hardware yang digunakan dalam metode ADSA. Perkembangan yang terjadi dalam peningkatan metode ADSA tidak merubah prosedur umum dari ADSA, pada bagian berikutnya akan dijelaskan prosedur umum dari ADSA.

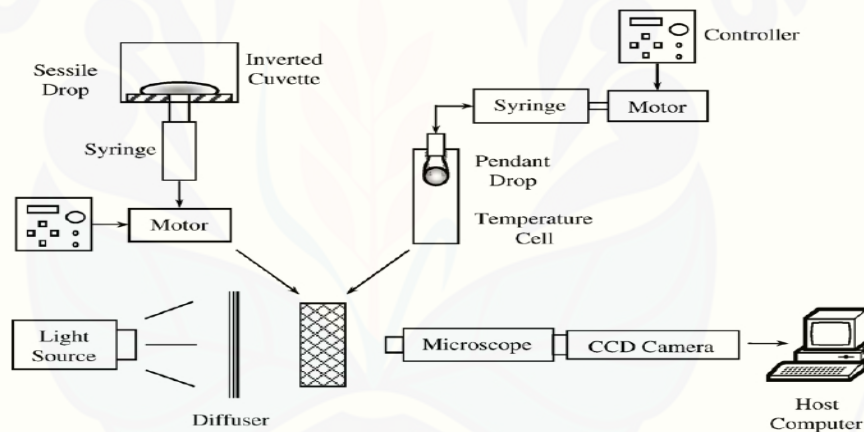
### 2.3 Metode Pengukuran Dengan Menggunakan *Axisymmetric Drop Shape Analysis* (ADSA)

Umumnya prosedur dari ADSA ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Prosedur umum dari *Axisymmetric Drop Shape Analysis* (ADSA)

Gambar 2.2 Menunjukkan prosedur umum untuk menentukan sifat antar muka dari profil *pendant* atau *sessile drop*. Koordinat profil tetesan (profil eksperimental) dari gambar tetesan menggunakan pemrosesan analisa gambar. Profil eksperimental dan sifat fisik, seperti massa jenis dan gaya grafitasi, merupakan input untuk skema numerik yang digunakan untuk menepatkan (*fitting*) rangkaian kurva Laplacian yang diketahui nilai tegangan permukaannya pada profil eksperimental. Kurva yang paling tepat digunakan untuk menentukan tegangan antarmuka cair-fluida, sudut kontak (dalam kasus *sessile drop*), volume tetesan, area permukaan, jari-jari kelengkungan pada puncak, dan jari-jari lingkaran kontak antara cairan dan padatan (pada *sessile drop*). Gambar 2.3 menunjukkan diagram eksperimen ADSA untuk analisa *sessile* dan *pendant drop* (Hoorfar dan Neumann, 2006).

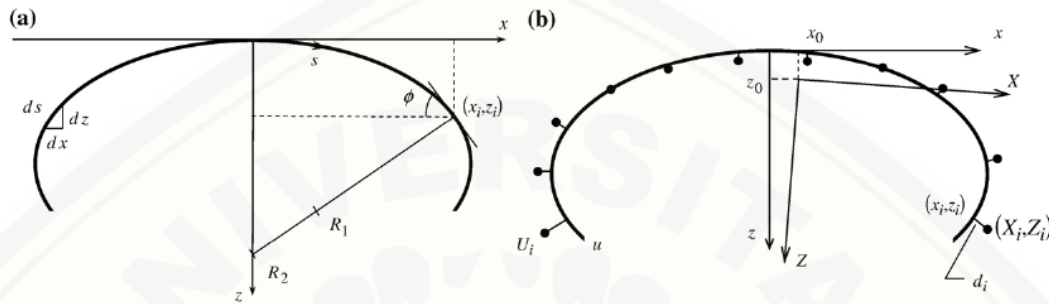


Gambar 2.3 Diagram skematik dari eksperimen ADSA untuk analisa *sessile* dan *pendant drop*

### 2.3.1 Optimisasi Numerik

Bagian utama dari skema numerik pada ADSA adalah proses optimisasi dimana kurva laplacian (kurva teoritis) ditepatkan pada profil eksperimental. Kurva teoritis dihasilkan dari mengintegrasikan persamaan kapilaritas Laplace (persamaan (3)) untuk nilai tegangan permukaan dan lengkungan puncak dari tetes yang telah ditentukan. Gambar 2.4 Mengilustrasikan sistem koordinasi yang menjelaskan sistem optimisasi kurva laplacian. Dua jari-jari kelengkungan pada titik manapun dapat

diperoleh dengan cara memasang sebuah garis normal pada titik yang dicari, kemudian melewati sebuah bidang melalui permukaan yang mengandung garis normal tersebut.



Gambar 2.4 (a) Penggambaran teoritis dari sistem koordinat untuk dua fluida yang homogen yang dipisahkan oleh sebuah lapisan antarmuka. (b) perbandingan titik eksperimen dengan kurva Laplacian.

Pada umumnya garis potong antara bidang dan permukaan akan melengkung dan menghasilkan jari-jari kelengkungan pertama ( $R_1$ ). Jari-jari kelengkungan kedua ( $R_2$ ) bisa didapatkan dengan melewati bidang yang tegak lurus dari bidang pertama pada permukaannya, bidang ini harus memiliki garis normal. Jika bidang pertama dirotasikan sebanyak  $360^\circ$ , maka jari-jari kelengkungan pertama akan melewati keadaan dimana nilainya akan minimum, dan nilai minimum ini disebut jari-jari kelengkungan pokok. Jari-jari kelengkungan pokok kedua didapatkan dari bidang kedua yang ikut berotasi dengan bidang pertama dengan sudut yang tetap terhadap bidang pertama. Perbedaan tekanan tidak terpengaruh dari cara  $R_1$  dan  $R_2$  dipilih, dan jumlah dari persamaan (4)

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (4)$$

tidak tergantung pada bagaimana bidang pertama dipilih. Persamaan (4) sering disebut sebagai kelengkungan rata-rata pada permukaan. Jika seluruh gaya eksternal selain gaya gravitasi dihilangkan, maka perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) akan sebanding dengan ketinggian permukaan sesuai dengan persamaan (5)

$$\Delta P = \Delta P_0 + (\Delta \rho)gz \quad (5)$$

Lapisan antarmuka diasumsikan simetri terhadap sumbu z, maka jari-jari kelengkungan pokok pertama ( $R_1$ ) berhubungan dengan panjang kelengkungan ( $s$ ) dan sudut kelengkungan lapisan antarmuka terhadap bidang horizontal ( $\phi$ ), sehingga menjadi persamaan (6).

$$\frac{1}{R_1} = \frac{d\phi}{ds} \quad (6)$$

Jari-jari kelengkungan kedua ( $R_2$ ) adalah persamaan (7)

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\sin \phi}{x} \quad (7)$$

kelengkungan pada puncak akan konstan pada semua arah dan dua jari-jari kelengkungan pokok akan sama dikarenakan simetri sumbu dari lapisan permukaan, sehingga menjadi persamaan (8)

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_0} = b \quad (8)$$

$R_0$  dan  $b$  masing-masing merupakan jari-jari kelengkungan dan kelengkungan awal. Kemudian dari persamaan (3), perbedaan tekanan pada awal kelengkungan dapat ditulis sebagai persamaan (9)

$$\Delta P_0 = 2b\gamma \quad (9)$$

Substitusi persamaan (6), (7), dan (9) pada persamaan (3), dan menjelaskan konstanta kapiler,  $c$ , maka akan menghasilkan persamaan (10) dan (11)

$$\frac{d\phi}{dz} = 2b + cz - \frac{\sin \phi}{x} \quad (10)$$

$$c = \frac{(\Delta \rho)g}{\gamma} \quad (11)$$

Konstanta kapiler memiliki nilai positif untuk *sessile drop* dan nilai negatif untuk *pendant drop*. Persamaan (10) bersama dengan hubungan geometris

$$\frac{dx}{ds} = \cos \phi \quad (12)$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin \phi \quad (13)$$

Persamaan (10), (12), dan (13) membentuk sebuah set persamaan diferensial dengan variabel  $x$ ,  $z$ , dan  $\phi$  sebagai sebuah fungsi untuk panjang kelengkungan dengan kondisi

$$x(0) = z(0) = \phi(0) = 0 \quad (14)$$

Pada saat  $s=0$ , maka

$$\frac{d\phi}{ds} = b \quad (15)$$

Bentuk sempurna dari kurva antar muka fluida-cair simetri sumbu Laplacian bisa didapatkan dengan mengintegrasikan secara bersamaan set persamaan (10),(12), dan (13). Penyelesaian set persamaan (10),(12), dan (13) dilakukan dengan menggunakan metode numerik, yaitu dengan cara memasukan nilai variabel yang dicari pada persamaan sampai penyelesaiannya didapatkan. Penyelesaian persamaan dapat menentukan nilai dari variabel  $b$  dan  $c$ . Nilai ini dapat ditentukan oleh peneliti ataupun didapatkan dari hasil gambar sebelumnya (Lahooti, et al, 1996). Pada penelitian ini persamaan (10),(12), dan(13) akan diimplementasikan kedalam program LabVIEW untuk mendapatkan plot persamaan yang memiliki variabel yang dapat diganti dengan bebas.

#### 2.4 Program LabVIEW

*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* atau disingkat menjadi LabVIEW, merupakan platform sistem desain untuk bahasa pemrograman visual yang dibuat oleh National Instrument yang awalnya dikembangkan untuk OS Apple Machintos. LabVIEW umumnya digunakan untuk perolehan data, kontrol instrumen, dan otomatisasi industri pada berbagai program termasuk Microsoft Windows, Unix, Linux, dan MAC OS X. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam LabVIEW merupakan bahasa pemrograman aliran data, yang dikenal sebagai G. Eksekusi perintah dilakukan oleh pengguna dengan cara menghubungkan cabang

fungsi yang berbeda menggunakan garis hubung pada diagram blok grafis. Garis hubung akan menyebarkan variabel pada cabang fungsi sehingga program dapat dieksekusi (dilakukan) ketika input sudah tersedia (National Instrument, 2014).

Program LabVIEW disebut dengan instrumentasi virtual (VI), memiliki tiga komponen, yaitu diagram blok, panel depan dan panel penghubung. Panel penghubung digunakan untuk menunjukkan diagram blok dari VI yang lain yang disebut Vis. Panel depan dibuat menggunakan kontrol yang merupakan input dimana pengguna dapat menyediakan informasi untuk VI, dan indikator yang berfungsi untuk memperlihatkan hasil berdasarkan input yang diberikan pada VI. Diagram blok mengandung kode grafis. Semua objek yang diletakan pada panel depan akan muncul pada diagram blok sebagai terminal. Diagram blok mengandung struktur fungsi yang melakukan perintah pada kontrol (input) dan menyediakan data untuk indikator (output). Pendekatan grafis memudahkan pengguna yang bukan programmer untuk membuat program dengan cara “menarik dan menaruh” representasi visual dari peralatan laboratorium yang sudah dimengerti (National Instrument, 2014).



### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan Januari 2015 hingga April 2015.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini Ball pipet, Beaker Glass, Botol semprot, Pipet Mohr, Statis, Kuvet Gelas Ukur, Pipet mikro, Tabung Reaksi, Penangas air, termometer, Software LABVIEW 2012, Komputer Personal, Mikroskop Digital.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aquades, Merck 100983.2500 Ethanol Absolute GR for Analysis ACS, ISO; dan Merck 00014.2500 Acetone GR for analysis.

### 3.3 Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1

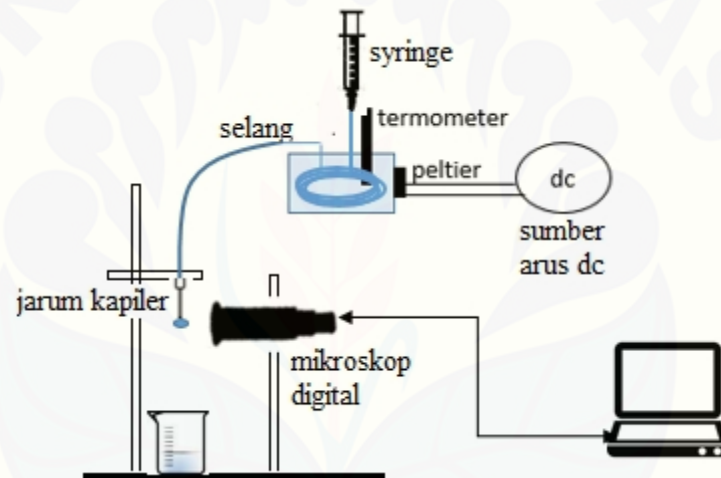


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Perangkaian Alat

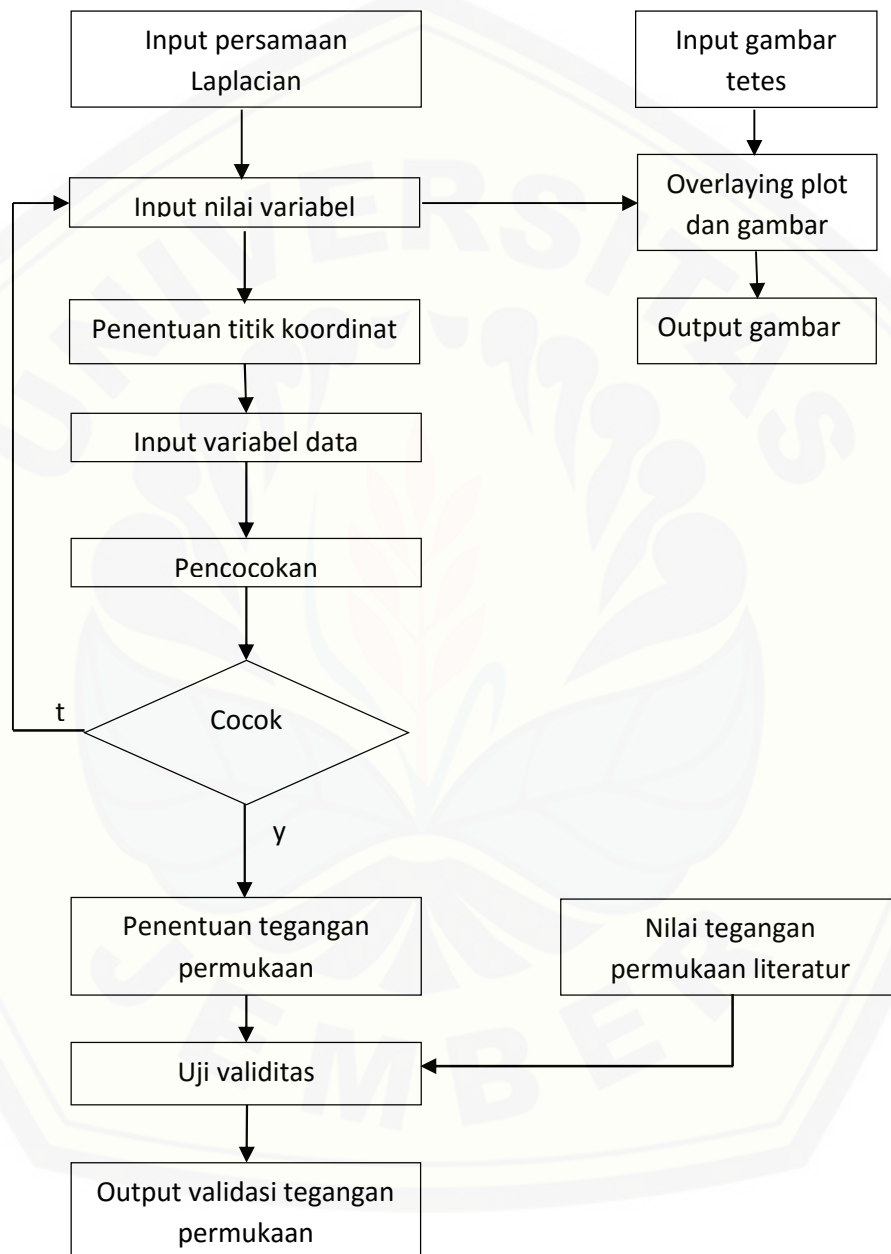
Set alat ADSA-Overlay disusun sesuai gambar 3.2. *syringe* yang telah dilengkapi dengan perangkat pengatur suhu dipasang pada stand dengan posisi vertikal terhadap meja. *Beaker glass* disiapkan dibawah syringe untuk menampung tetes yang terjatuh. Mikroskop yang telah dipasang sedemikian rupa pada stand lain disambungkan dengan komputer dengan program ADSA-Overlay sehingga gambar tetesan yang didapatkan jelas.



Gambar 3.2 Set Alat ADSA-Overlay

### 3.4.2 Pembuatan Program ADSA-Overlay

Program ADSA-Overlay dibuat dengan menggunakan program LABVIEW dengan *Logic Chart* seperti gambar 3.3



Gambar 3.3 *Logic Chart* program ADSA-Overlay

### 3.4.3 Pengambilan gambar tetes

Air yang telah diatur suhunya sebesar 25°C dialirkan pada perangkat pengatur suhu yang terpasang pada *syringe*. Cairan yang akan ditentukan tegangan permukaannya dimasukan dalam *syringe*. Cairan diteteskan dari *syringe* dengan cara menekan *syringe* secara perlahan. Tetes yang terbentuk diambil videonya, dari video yang telah diambil, dipilih gambar ketika tetes tepat akan jatuh. Pengambilan gambar tetes diulangi untuk suhu 26°C, 27°C, 28°C, dan 29°C.

### 3.4.4 Penentuan Tegangan Permukaan Cairan

Plot persamaan Laplace ditumpukan (*overlaying*) pada gambar yang telah didapat. Plot persamaan Laplace ditentukan variabelnya sehingga plot yang didapat semirip mungkin dengan gambar profil tetes cairan yang didapat. Dari variabel yang digunakan dapat ditentukan tegangan permukaannya. Persamaan Laplace yang digunakan adalah

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin \theta$$

$$\frac{d\theta}{ds} = 2b + cz - \frac{\sin \theta}{x}$$

Dengan syarat kondisi

$$x(0) = z(0) = \theta(0) = 0$$

(Neumann, 1997)

### 3.4.5 Penentuan Validitas Metode ADSA-Overlay

Parameter validitas metode ADSA-Overlay yang diuji adalah presisi dan akurasi.

### 1. Presisi

Data diambil sebanyak 9 kali dalam 3 hari dengan sampel yang sama. Data yang didapatkan dihitung simpangan baku relatifnya, dan dibandingkan koefisien variasi. Perhitungan simpangan baku relatif menggunakan rumus

$$RSD = \frac{SD}{x} \times 100\%$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{Presisi} = (100 - RSD)\%$$

RSD adalah simpangan baku rata-rata, SD simpangan baku,  $\bar{x}$  merupakan nilai rata-rata data, n adalah jumlah data, dan  $x_i$  adalah data yang dipilih.

### 2. Akurasi

Akurasi didapatkan dengan menghitung derajat kedekatan hasil pengukuran dibandingkan dengan data yang didapat dari literatur. Data diambil dalam 3 waktu berbeda sebanyak 3 kali. Rumus yang digunakan adalah

$$akurasi = \left( 1 - \frac{|H_{rata-rata} - H_{sebenarnya}|}{H_{sebenarnya}} \right) \times 100\%$$

$H_{rata-rata}$  menyatakan hasil rata-rata yang didapatkan dari pengukuran, dan  $H_{sebenarnya}$  menyatakan hasil yang didapatkan dari literatur (Metz, 1978).