

LEMBAR IDENTITAS DISERTASI**INTERMOLECULAR FORCE PADA PERUBAHAN SUDUT KONTAK
DROPLET MINYAK NABATI AKIBAT PENDINGINAN**

Nama Mahasiswa : Muhammad Akhlis Rizza

NIM : 147060200111001

Program Studi : Doktor Teknik Mesin

Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing Utama : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D

Pembimbing Pendamping 1 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng

Pembimbing Pendamping 2 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., M.T

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D.

Dosen Penguji Tamu : Prof. DR. Arif Hidayat, MSI

Tanggal ujian tertutup : 26 Februari 2019

Sk penguji :



RIWAYAT HIDUP

Muhammad Akhlis Rizka, lahir di Malang, 3 Nopember 1976 anak dari ayah (Alm) Fahadaina dan Ibu Siti Nurul Jannah; SD sampai SMA di Malang, lulus SMA tahun 1995, lulus sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 1999, lulus Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya tahun 2010. Pendidikan s3 di Teknik Mesin Universitas Brawijaya sejak 2014. Pengalaman kerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang sejak tahun 2005 sampai sekarang.

Malang,
Februari 2019

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala Puji bagi Allah Tuhan semesta Alam. Dengan selesainya disertasi ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof Ir ING Wardana PhD sebagai promotor
2. DR Eng Nurkholis Hamidi, ST MEng sebagai co promotor
3. DR Eng Widya Wijayanti, ST, MT sebagai co promotor
4. DR Eng Eko Siswanto, ST, MT sebagai penguji
5. Winarto, ST, MT. PhD sebagai penguji
6. Prof. Dr. Arif Hidayat, MSi sebagai penguji
7. Direktur, dan pembantu direktur di lingkungan Polinema
8. Kajur, Sekjur, Pengajar, dan staf Jurusan Teknik Mesin Polinema
9. Rekan2 mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya, khususnya angkatan 2014
10. Kepada istri, anak, Ibu, dan seluruh keluarga atas doa yang tak pernah putus



RINGKASAN

M. A. Rizza, Program Doktor Teknik Mesin, Minat Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2019.

INTERMOLECULAR FORCE PADA PERUBAHAN SUDUT KONTAK DROPLET MINYAK NABATI AKIBAT PENDINGINAN, Pembimbing Utama: I.N.G. Wardana, Pembimbing Pendamping I: Nurkholis Hamidi, Pembimbing Pendamping II: Widya Wijayanti

Masalah *cleanability* pada permukaan menjadi bahan diskusi para ahli beberapa tahun terakhir ini. *Cleanability* dapat dilakukan dengan cara kimia, atau dengan cara fisika. Selama ini penelitian *cleanability* banyak dilakukan pada material berupa penutup berupa material yang besar, tetapi pada material penutup berupa droplet masih jarang dilakukan.

Penelitian ini bertujuan meningkatkan *cleanability* dengan meningkatkan sudut kontak droplet melalui perubahan temperatur. Perubahan temperature akan mempengaruhi *intermolecularforce* pada *droplet* sehingga mengubah sudut kontak *droplet*.

Perubahan temperatur akan mengubah gaya London antar molekul. Penurunan temperature meningkatkan gaya London antar molekul pada permukaan *droplet*. Peningkatan gaya London akan meningkatkan tegangan permukaan. Kenaikan tegangan permukaan akan meningkatkan sudut kontak.

Untuk membuktikan konsep di atas, penelitian menggunakan 3 jenis *droplet* minyak nabati, yaitu minyak jarak, minyak kelapa, dan minyak bunga matahari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada minyak jarak : sudut kontak awalnya sekitar $20,66^{\circ}$ pada $25,02^{\circ}\text{C}$. Kemudian sudut kontak meningkat hingga $24,38^{\circ}$ pada $13,96^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun hingga $14,18^{\circ}$ pada $6,72^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya naik hingga $17,65^{\circ}$ pada $4,28^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun lagi hingga $15,57^{\circ}$ pada $2,51^{\circ}\text{C}$.

Pada minyak bunga matahari penelitian menunjukkan bahwa: sudut kontak awalnya sekitar $18,92^{\circ}$ pada $24,60^{\circ}\text{C}$. Kemudian sudut kontak meningkat hingga $22,14^{\circ}$ pada $19,19^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun hingga $14,02^{\circ}$ pada $7,69^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya naik hingga $16,70^{\circ}$ pada $6,12^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun lagi hingga $12,95^{\circ}$ pada $3,25^{\circ}\text{C}$.

Pada minyak kelapa penelitian menunjukkan bahwa: Dari tabel di atas menunjukkan bahwa sudut kontak awalnya sekitar $9,07^{\circ}$ pada $23,91^{\circ}\text{C}$. Kemudian sudut kontak meningkat hingga $12,7^{\circ}$ pada $22,44^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun hingga $6,89^{\circ}$ pada $13,31^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya naik hingga $9,28^{\circ}$ pada $6,12^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun lagi hingga $4,47^{\circ}$ pada $5,78^{\circ}\text{C}$.

Kesimpulan penelitian ialah: Perubahan sudut kontak akibat perubahan suhu pada droplet minyak nabati dipengaruhi oleh intermolekuler force dari konstituen minyak tersebut. Gaya London mempengaruhi pembentukan sudut kontak saat terjadi perubahan temperatur. Sifat hidrofilik mempengaruhi gerakan uap air menempel di permukaan droplet dan mempengaruhi sudut kontak. Ikatan hidrogen mengikat uap air dan mempengaruhi sudut kontak.

Kata kunci: *droplet*, *cleanability*, *intermolecularforce*, dan minyak nabati.

SUMMARY

M. A. Rizza, Doctoral Program of Mechanical Engineering, Energy Conversion Interests, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Narch 2019. *Role of Intermolecular Forces on the Contact Angle of Vegetable Oil Droplets During the Cooling Process* , Advisor: I N.G. Wardana, Co-advisors 1: Nurkholis Hamidi, 2. Widya Wijayanti

The issue of cleanability on the surface has been the subject of expert discussion in recent years. Chemical means or physics can do cleanability. So far, much cleanability research has been done on material in the form of an abundant element, but in the cover material in the form of droplets, it is still rarely done.

This study aims to improve cleanability by increasing the droplet contact angle through temperature changes. Temperature changes will affect the intermolecular forces on the droplet so that it changes the contact angle of the droplet.

Changes in temperature will change London's force between molecules. The decrease in temperature increases the London force between particles on the droplet surface. London force enhancements will increase surface tension. Increasing the surface tension will increase the contact angle.

To prove the concept above, research uses three types of vegetable oil droplets, namely castor oil, coconut oil, and sunflower oil.

The results of the research show that at castor oil: the initial contact angle is around $20,66^{\circ}$ at $25,02^{\circ}\text{C}$. Then the contact angle increases to $24,38^{\circ}$ at $13,96^{\circ}\text{C}$. Then it drops to $14,18^{\circ}$ at $6,72^{\circ}\text{C}$. Subsequently up to $17,65^{\circ}$ at $4,28^{\circ}\text{C}$. Then it drops again to $15,57^{\circ}$ at $2,51^{\circ}\text{C}$.

In sunflower oil research shows that: the initial contact angle is around $18,92^{\circ}$ at $24,60^{\circ}\text{C}$. Then the contact angle increases to $22,14^{\circ}$ at $19,19^{\circ}\text{C}$. Then it decreased to $14,02^{\circ}$ at $7,69^{\circ}\text{C}$. Subsequently up to $16,70^{\circ}$ at $6,12^{\circ}\text{C}$. Then it drops again to $12,95^{\circ}$ at $3,25^{\circ}\text{C}$

In coconut oil research shows that: From the table above shows that the initial contact angle is around $9,07^{\circ}$ at $23,91^{\circ}\text{C}$. Then the contact angle increases to $12,7^{\circ}$ at $22,44\text{C}$. Then it drops to $6,89^{\circ}$ at $13,31^{\circ}\text{C}$. Subsequently up to $9,28^{\circ}$ at $6,12^{\circ}\text{C}$. Then it drops again to $4,47^{\circ}$ at $5,78^{\circ}\text{C}$.

The research conclusions are: Changes in contact angle due to temperature changes in vegetable oil droplets are influenced by the intermolecular force of the oil constituent. London's force affects the formation of contact angles when changes in temperature occur. The hydrophilic properties affect the movement of water vapor on the droplet surface and alter the contact angle. Hydrogen bonds bind water vapor and adjust the contact angle

Keywords: droplets, cleanability, intermolecular force, vegetable oil

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan disertasi ini dengan judul “**INTERMOLECULAR FORCE PADA PERUBAHAN SUDUT KONTAK DROPLET MINYAK NABATI AKIBAT PENDINGINAN**”.

Dalam menyelesaikan disertasi ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan masukan dari berbagai pihak, utamanya pembimbing utama, pembimbing 1 dan 2 serta penguji. Oleh sebab itu pada kesempatan yang baik ini penulis sampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan, saran dan dorongan untuk mengatasi tantangan dan hambatan

Penulis menyadari penelitian dan penulisan disertasi ini masih jauh dari sempurna, dengan segala kerendahan hati dan tulus ikhlas mohon maaf atas kekurangan dan kesalahan dalam penulisan disertasi ini. Hal ini semata-mata karena keterbatasan baik kemampuan pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki. Akhir kata, terimakasih atas semuanya dan penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi *cleanability* khususnya.

Malang, Maret 2019

Penulis



Menuntut ilmu adalah taqwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad

Al Ghazali.

DAFTAR ISI

LEMBAR IDENTITAS DISERTASI.....	1
RIWAYAT HIDUP.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
RINGKASAN.....	v
SUMMARY.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	8
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Tujuan Penelitian.....	8
1.5. Manfaat penelitian.....	8
BAB II.....	9
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	9
2.1.1. <i>Fouling</i>	9
2.1.2. <i>Droplet</i> di permukaan substrate.....	10
2.1.3. <i>Intermolecular Force Droplet</i> pada Substrate.....	11
2.1.4. Pembekuan <i>droplet</i>	12
2.1.5. Penelitian Pembentukan <i>Precursore Film</i>	15
2.1.6. Penelitian Pembentukan <i>Droplet</i>	18
2.2. Interaksi Intermolekular.....	25
2.2.1 Interaksi Van der Waalls.....	25
2.2.2 Ikatan Hydrogen.....	25
2.2.3 Gaya London.....	27
2.3. Hydrophilic dan Hydrophobic.....	27
2.4. Penyusun Minyak Nabati.....	28
2.4.1 Lauric Acid.....	28
2.4.2 Oleic Acid.....	29
2.4.3 Linoleic Acid.....	29

BAB III.....	31
3.1 Kerangka Teoritis.....	31
3.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh.....	33
3.3 Hipotesa.....	36
BAB IV.....	37
4.1 Metode Penelitian.....	37
4.2 Rancangan Penelitian.....	37
4.3 Instalasi dan Langkah langkah Penelitian.....	37
4.4 Alat dan bahan penelitian.....	39
4.5 Rancangan penelitian.....	43
4.6 Minyak Nabati.....	43
4.6.1 Minyak Jarak Pagar.....	43
4.6.2 Minyak Bunga Matahari (<i>Sunflower Oil</i>).....	44
4.6.3 Minyak Kelapa (<i>Crude Coconut Oil</i>).....	45
4.7 GC MS.....	45
4.8 Pengukuran Viskositas.....	46
BAB V.....	49
5.1 Pengujian Kandungan Asam Lemak.....	49
5.2 Pengujian Viskositas.....	51
5.3 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak jarak.....	52
5.4 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak bunga matahari.....	60
5.5 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak kelapa.....	68
5.6 Pembahasan.....	73
BAB VI.....	89
6.1 Kesimpulan.....	89
6.2 Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1- 1 Pengujian Cleanability.....	3
Gambar 1- 2 Hubungan sudut kontak droplet olive oil vs temperatur untuk berbagai surface	5
Gambar 1- 3 Kesimbangan gaya pada droplet	6
Gambar 1- 4 Pengaruh Temperature Terhadap Droplet.....	7
Gambar 2- 1 Skema Intermolecular forces pada droplet (1) dan (3), serta pada permukaan (2)	11
Gambar 2- 2 Droplet air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 (-13,5°C)	12
Gambar 2- 3 Droplet air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 (-5,5°C)	13
Gambar 2- 4 droplet air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 (-9,5°C)	13
Gambar 2- 5 Droplet air pada -10°C	14
Gambar 2- 6 Droplet <i>peanut oil</i> saat pembekuan.....	14
Gambar 2- 7 Spreading droplet dan <i>precursore film</i>	15
Gambar 2- 8 Bentuk droplet Li	15
Gambar 2- 9 Pembentukan presursore film	16
Gambar 2- 10 Precursore film pada pembekuan Alloy Ze	16
Gambar 2- 11 <i>Precursore film Tin Based Solder</i>	17
Gambar 2- 12: <i>Wetting</i> akibat kekasaran permukaan	18
Gambar 2- 13 plot data sudut kontak vs volume.....	19
Gambar 2- 14 <i>Disjoining/cojoining pressure</i> pada droplet.....	20
Gambar 2- 15 sudut kontak vs radius pada pengurangan volume <i>droplet</i> air dengan berbagai <i>substrate</i>	21
Gambar 2- 16 Hubungan antara sudut kontak dan tegangan permukaan.....	22
Gambar 2- 17 Gambar : simulasi <i>droplet</i> air di permukaan emas	23
Gambar 2- 18 Bidang transisi pada droplet.....	23
Gambar 2- 19 Gambar : gaya tarik menarik pada electrostatic component.....	24
Gambar 2- 20 Contoh Ikatan hydrogen.....	26
Gambar 2- 21 London Dispersion Force.....	27
Gambar 2- 22 <i>Charge</i> pada molekul air.....	28
Gambar 2- 23 Molekul phospolipid dengan <i>head</i> dan <i>tail</i>	28
Gambar 2- 24 Lauric Acid	29
Gambar 2- 25 : Oleic Acid	29
Gambar 2- 26 Linoleic Acid	30
Gambar 3- 1 Skema molekul pada <i>interface liquid-gas</i>	31
Gambar 3- 2 <i>intermolecularforce</i> pada <i>droplet</i>	35
Gambar 3- 3 jenis-jenis <i>wetting</i>	36
Gambar 4- 1 Instalasi Penelitian.....	38
Gambar 4- 2 Gelas Ukur	39

Gambar 4- 3 Pembentuk droplet	39
Gambar 4- 4 Thermocouple	40
Gambar 4- 5 Tembaga silinder.....	40
Gambar 4- 6 Ethylene Glykol	41
Gambar 4- 7 <i>Dry ice</i>	41
Gambar 4- 8 <i>Data Logger</i>	41
Gambar 4- 9 Mikroskop Digital.....	42
Gambar 4- 10 Timbangan	42
Gambar 4- 11.....	43
Gambar 4- 12 Cara kerja GC MS.....	46
Gambar 4- 13 Ostwald Viscometer.....	47
Gambar 5- 1 Bentuk <i>droplet</i> minyak jarak selama pendinginan.....	58
Gambar 5- 2 Grafik temperatur vs sudut kontak droplet minyak jarak	59
Gambar 5- 3 Bentuk <i>droplet</i> minyak bunga matahari selama pendinginan.....	66
Gambar 5- 4 Grafik temperature vs sudut kontak droplet minyak bunga matahari	67
Gambar 5- 5 Bentuk droplet minyak kelapa selama pendinginan	72
Gambar 5- 6 Grafik temperature vs sudut kontak <i>droplet</i> minyak kelapa.....	73
Gambar 5- 7 Pembentukan tegangan permukaan secara molekuler	74
Gambar 5- 8 Elektronegatifitas dalam skala Pauling	75
Gambar 5- 9 Pembentukan Gaya London.....	77
Gambar 5- 10 Gaya London pada ukuran molekul yang berbeda	78
Gambar 5- 11 Gaya London pada Asam Lemak.....	78
Gambar 5- 12 Perubahan geometri molekul akibat pendinginan.....	79
Gambar 5- 13 Penurunan Energi Kinetik Molekul Oleic Acid (kcal /mol)	80
Gambar 5- 14 Penurunan Energi Kinetik pada molekul Linoleic Acid (Kcal/mol)	81
Gambar 5- 15 Penurunan Energi Kinetik pada molekul Lauric Acid (Kcal /mol)	81
Gambar 5- 16 Minyak Kelapa (a), Minyak Bunga Matahari (b), dan Minyak Jarak (c) dalam suhu kamar	82
Gambar 5- 17 Ikatan Hydrogen.....	83
Gambar 5- 18 Terbentuknya dan menurunnya tegangan permukaan	84
Gambar 5- 19 Ikatan hydrogen	84
Gambar 5- 20 Intermolecular force pada penarikan uap air	86

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan biaya energi telah meningkatkan ketertarikan para peneliti untuk mengadakan *improvement* atas efisiensi proses *heat transfer*. Terjadinya *fouling* pada permukaan tempat terjadinya perpindahan panas dapat meningkatkan biaya energi. Terdapat beberapa cara untuk menghindari kerugian akibat *fouling*, seperti cara kimia (menggunakan cairan kimia) atau penambahan proses yang dapat mengurangi *fouling*. (Ishiyama, Paterson, & Wilson, 2009)

Selain dapat mengganggu perpindahan panas, *fouling* juga mengganggu pada proses yang menggunakan membran. (Li & Chen, 2010). *Fouling* pada membran dapat menyebabkan pengurangan produktivitas dan perubahan fungsi membran. Hal-hal yang mempengaruhi pembentukan *fouling* pada membran ialah: properties membran, propertis bahan yang melewati membran, serta kondisi operasi membran.

Deposit (*foulants*) yang terbentuk pada peralatan bermula dari *adhesi* antar lapisan pada kotoran, serta kohesi dengan peralatan tersebut. Terjadinya *adhesi* dan kohesi menyebabkan *polutan / fouling* sulit dibersihkan. (Fryer, Robbins, & Asteriadou, 2011) *Fouling* terbagi menjadi: (EPSTEIN, 1983)

1. *Crystallization Fouling*, yang terbagi atas *precipitation fouling* (scaling) dan *solidification fouling*
2. *Particulate fouling (sedimentation fouling)*
3. *Chemical reaction fouling*
4. *Corrosion fouling*
5. *Biological fouling*

Pembagian di atas merujuk kepada sifat materi yang membentuk *fouling*, meskipun terjadinya *fouling* bisa saja merupakan gabungan dari beberapa jenis *fouling*.

Polutan / *fouling* yang terbentuk harus segera dibersihkan, khususnya pada industri yang memerlukan *food grade process*. Alasan diperlukannya *cleaning* dengan segera ialah :

- Penurunan kinerja alat akibat kotoran

- Kemungkinan kerusakan produk akibat tumbuhnya mikroba pada alat
- Pada *change over product*, kemungkinan terjadi pencemaran pada proses yang baru

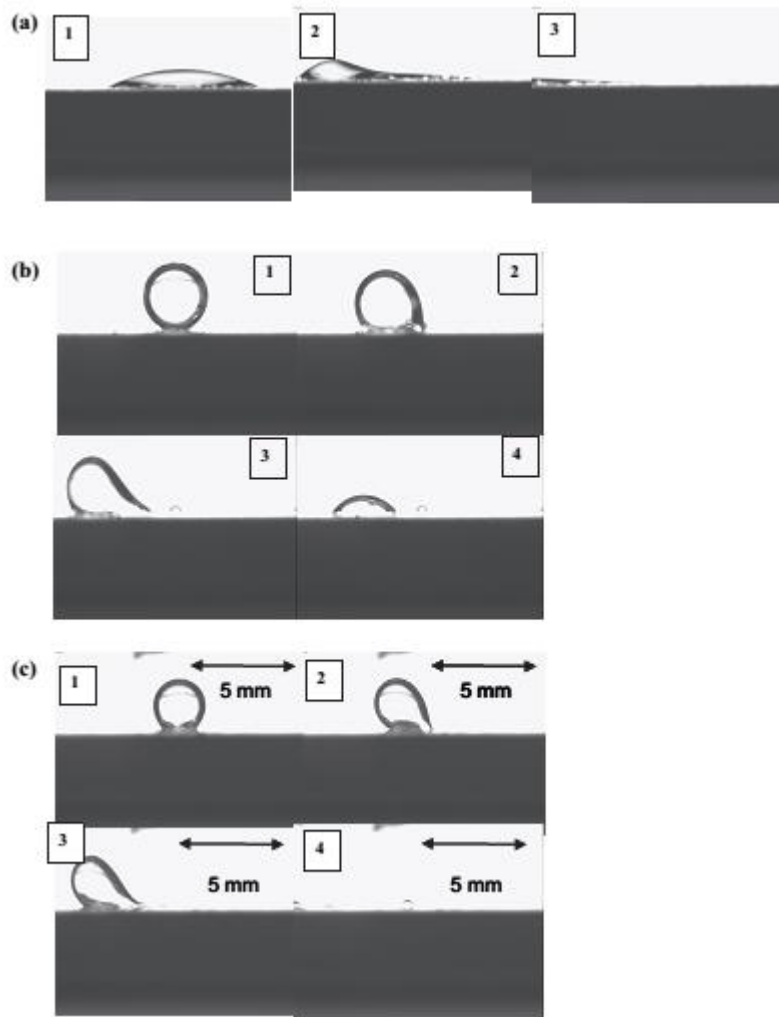
Untuk mengatasi terjadinya *fouling*, maka harus diadakan proses *cleaning*.

Proses *cleaning* merupakan proses melepas zat yang bukan bagian integral dari material tertentu. (Shi, Tal, Hankins, & Gitis, 2014). Proses *cleaning* secara umum dibagi menjadi 2 : yaitu secara fisika dan kimia. *Cleaning* secara fisika mengubah hidrodinamika, membuat turbulensi atau suhu berubah ke sistem untuk secara kinetik memaksa *foulants* untuk meninggalkan bahan membran. Pembersihan kimiawi menggunakan bahan kimia untuk memodifikasi larutan kimia untuk mendukung tolakan elektrostatik antara *foulant* dan bahan membrane.

Cleaning secara fisika merupakan langkah-langkah pembersihan secara hydrolic, mekanik, atau elektrik. *Cleaning* dengan cara *hydrolic* atau mekanik dilakukan dengan menimbulkan *shear stress* pada permukaan yang mengandung *foulants* / kotoran. *Cleaning* secara kimia merupakan *cleaning* yang dilakukan dengan *chemical agents* pada bagian-bagian tersulit pada *fouling*. *Chemical cleaning* dapat dilakukan ditempat (sering disebut *cleaning in place* / CIP) atau dapat pula dilakukan dengan melepas alat yang di - *cleaning* (sering disebut *cleaning out of place* / COP).

Dalam praktek, metode fisik dan kimia sering diterapkan bersama meningkatkan efektivitas pembersihan. Proses pembersihan *fouling* akan berlangsung baik jika didukung oleh *cleanability* yang baik dari *foulants*.

Penelitian yang dilakukan oleh (BOULANGÉ-PETERMANN, JOUD, & BAROUX, 2008) meneliti parameter *wettability* yang berpengaruh pada *cleanability* sebuah permukaan. Dengan melakukan perlakuan berupa penggabungan antara *laminar flow cell* dan goniometer, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: *surface energy* pada material dan topografi *substrate* menjadi faktor yang menentukan *cleanability*. Sudut kontak merupakan parameter yang relevan untuk menentukan *cleanability* suatu permukaan alas. Sudut kontak yang besar memperbaiki *cleanability*.



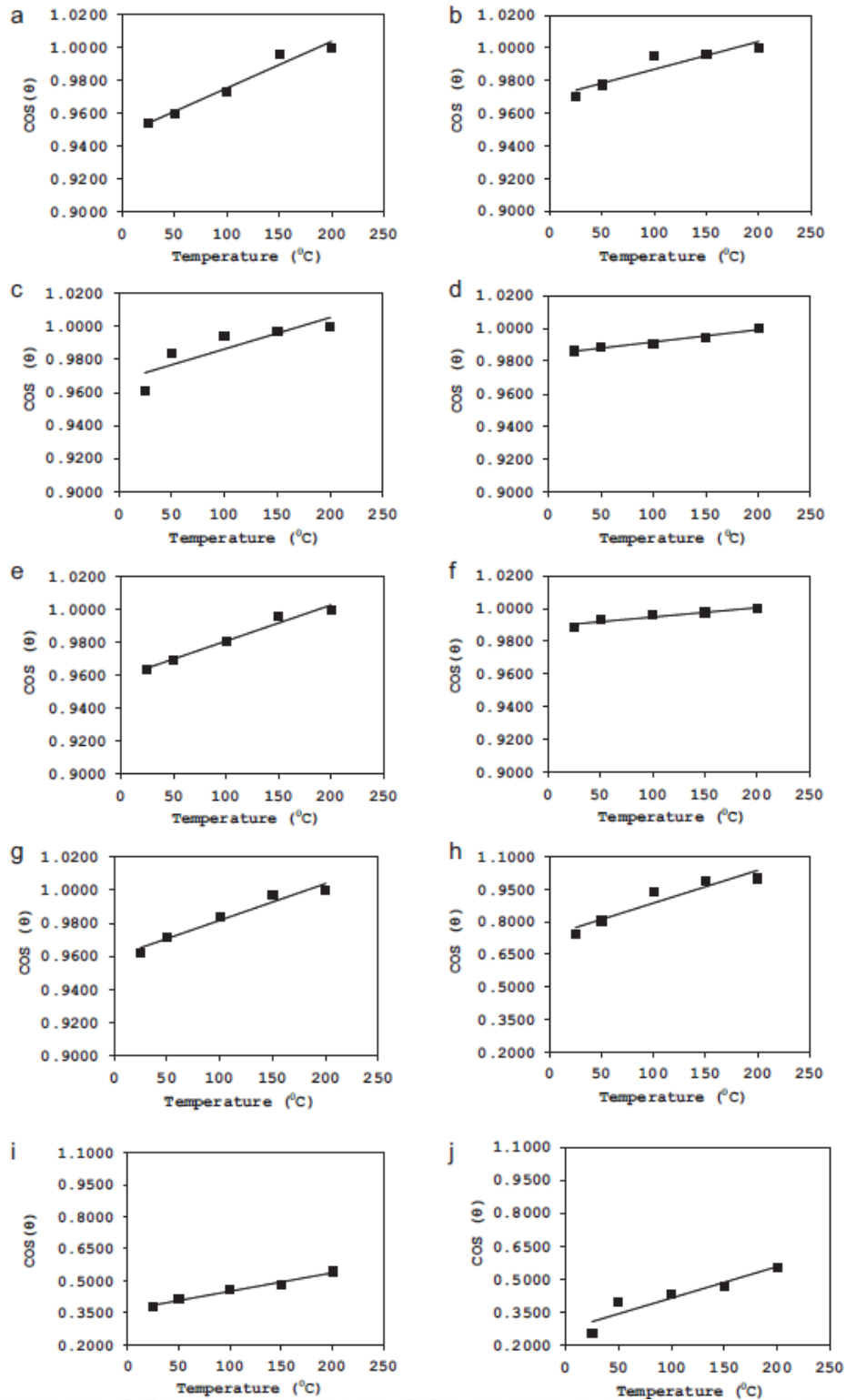
Gambar 1- 1 Pengujian Cleanability

Sumber : (BOULANGÉ-PETERMANN, JOUD, & BAROUX, 2008)

Penelitian mengenai *cleanability* pada pengolahan makanan telah dilakukan dengan material pembentuk deposit kotoran berupa *whey protein*, *sweetened condensed milk* dan *caramel*. Sedangkan *substratenya* digunakan *stainless steel* dan *fluoro coated glass*. (Goode,, Bowen, Akhtar, Robbins, & Fryer, 2013). Penelitian tersebut menggunakan AFM (*Atomic Force Microscopy*). Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah *cleanability* di pengaruhi oleh temperatur dan permukaan *substrate*.

Salah satu penelitian mengenai *droplet* minyak nabati berkaitan dengan *cleanability* pada alat pengolahan makanan dilakukan oleh (Ashokkumar, Adler-Nissen, & Møller, 2012). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan *olive oil* dan berbagai macam *substrate*, diperoleh nilai $\cos \theta$ (sudut kontak) pada *droplet* identik dengan *cleanability*. Penelitian selanjutnya membuktikan bahwa nilai $\cos \theta$ juga berkorelasi dengan kekasaran permukaan *substrate* serta temperatur ruangan.



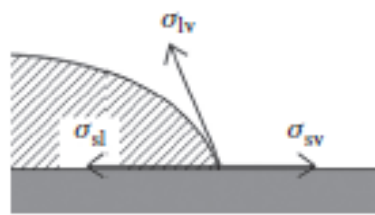


Gambar 1- 2 Hubungan sudut kontak droplet olive oil vs temperatur untuk berbagai surface

Sumber: (Ashokkumar, Adler-Nissen, & Møller, 2012)

Pentingnya penelitian mengenai perilaku *droplet* minyak nabati dijelaskan oleh (Ashokkumar, Adler-Nissen, & Møller, 2012). Sudut yang terbentuk antara permukaan *solid-liquid* dan permukaan *liquid-vapour* disebut sudut kontak yang dilambangkan dengan sudut θ . Sudut kontak θ berhubungan dengan *interfacial energy solid-liquid* (γ_{SL}), *liquid-vapour* (γ_{LV}), dan *solid-vapour* (γ_{SV}), dengan persamaan:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta. \quad (1-1)$$

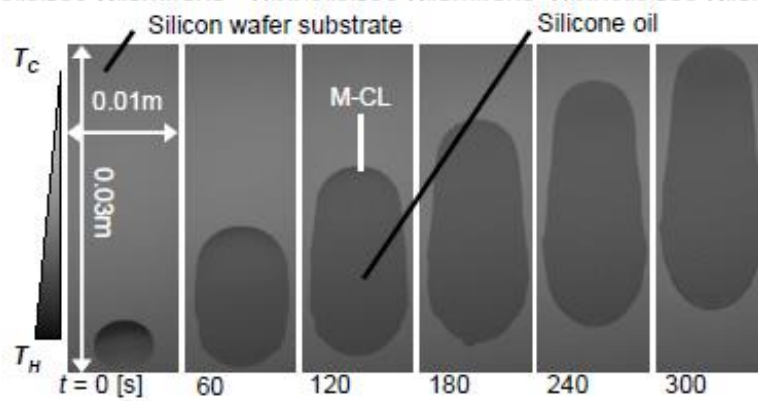


Gambar 1- 3 Kesimbangan gaya pada droplet

Sumber : (Carrier & Bonn, LIQUID SPREADING, 2015)

Proses *cleanability* terjadi pada *droplet* jika keseimbangan terganggu dan gaya yang mengarah keluar droplet lebih besar. Apabila sudut θ semakin besar maka nilai $\cos \theta$ semakin kecil. Pada saat nilai $\cos \theta$ semakin kecil maka gaya yang mengarah keluar *droplet* akan semakin kecil, dengan pengertian bahwa *cleanability*-nya membaik.

Penelitian mengenai pengaruh temperature terhadap bentuk *droplet* yang lain dilakukan dengan memberi temperature bervariasi pada *droplet silicone oil* dengan *substrate silicon wafer*. (Kizaki, Konisho, & Ueno, 2007) Hasil yang diperoleh adalah adanya pergerakan dari *droplet* ketika diberikan suhu yang berbeda pada *substrate*.



Gambar 1- 4 Pengaruh Temperature Terhadap Droplet

Sumber : (Kizaki, Konisho, & Ueno, 2007)

Menurut (Yang & Koplík, 1991) pada kasus penyebaran *droplet* berupa lapisan tipis, dapat dijelaskan dengan menggunakan gaya-gaya Van der Waals. Dimensi *droplet* yang berbeda-beda menyebabkan karakteristik tertentu dalam perubahan dimensi tersebut.

Penelitian-penelitian lain mengenai perubahan bentuk *droplet* dilakukan dengan menggunakan pendekatan simulasi. (Wu, Qian, & Sheng, 2010) mensimulasikan gaya-gaya Van der Waals yang muncul pada karakteristik penyebaran *droplet*, termasuk pada sudut kontaknya.

Menurut (Amin, Mohammad, Markom, & Peng, 2010), penelitian mengenai *fouling* sebagian besar ditujukan kepada cairan yang sifatnya menutup bagian yang luas, misalnya lapisan kotoran akibat makanan. Sedangkan *fouling* akibat *small substances* seperti *droplet fatty acid* belum banyak diteliti.

Berdasarkan penelusuran jurnal-jurnal yang ada, penelitian mengenai peran gaya antar molekul terhadap perubahan bentuk *droplet* pada pendinginan *droplet vegetable oil* belum banyak dilakukan.

Sehubungan dengan pendahuluan yang telah dituliskan di atas, maka penelitian ini diarahkan untuk mengetahui peran gaya tarik menarik antar molekul pada perubahan bentuk *droplet* berbagai minyak nabati dengan perlakuan temperatur rendah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut

1. Bagaimana sudut kontak droplet minyak nabati pada *solid substrate* pada proses pendinginan?
2. Bagaimana peran gaya tarik-menarik molekul pada perubahan bentuk *droplet* tersebut ?

1.3. Batasan Masalah

1. Minyak nabati yang dipakai adalah minyak yang berasal dari pasar lokal, yaitu minyak jarak, minyak kelapa, dan minyak biji bunga matahari.
2. Karakteristik yang diamati adalah sudut kontak.

1.4. Tujuan Penelitian

Mendalami fenomena *cleanability* pada *fouling* berbentuk *droplet* dan menggunakan *intermolecularforce* untuk meningkatkan *celanability*-nya.

1.5. Manfaat penelitian

1. Menambah pengetahuan mengenai karakteristik pembekuan material alam
2. Memberikan ide mengenai *cleanability*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

2.1.1. *Fouling*

Menurut (BOTT, 1988) *fouling* merupakan akumulasi dari kotoran yang menumpuk pada sebuah permukaan. *Fouling* akan membawa ketidaknormalan pada perpindahan panas, sehingga harus dibersihkan. Dalam praktek, *fouling* disebabkan oleh: (Speight , 2015) gerakan fluida kerja, temperatur permukaan, jenis permukaan, kekasaran permukaan, dan *property* fluida kerja.

Gerakan fluida kerja sangat mempengaruhi pertumbuhan *fouling*. Efek hidrodinamika gerakan fluida kerja akan mempengaruhi tingkat deposisi dan *removal rate fouling*. Temperatur kerja yang lebih rendah akan cenderung mengurangi pertumbuhan *fouling*, dan jika ternyata masih terdapat *fouling* pada suhu rendah akan lebih mudah dihilangkan. Permukaan yang kasar berpengaruh pada proses *sticking* material sebagai inisiasi munculnya *fouling*. Sebaliknya, permukaan yang lebih halus akan mempersulit terjadinya *fouling* dan mempermudah proses pembersihan. (Speight , 2015). (Yin & Yu, 2015) menyatakan bahwa *wettability* erat kaitannya dengan *self cleaning surfaces*. *Wettability* merupakan pintu menuju *antifouling*.

Sejak munculnya permasalahan *fouling*, para peneliti banyak membuat penelitian mengenai *fouling*. Salah satu tujuannya adalah untuk mengurangi pertumbuhan *fouling* dan meningkatkan kemampubersihan terhadap *fouling*.

Kemampubersihan (*cleanability*) pada permukaan *stainless steel* sangat perlu ditingkatkan untuk menghindari *fouling*, terutama pada material yang bersentuhan dengan makanan (PETERMANN, JOUD, & BAROUX, 2008).

Kemampubersihan sangat dipengaruhi oleh kontur permukaan dan energi permukaan. Untuk meningkatkan kemampubersihan, disarankan untuk menggunakan pelapisan pada permukaan *stainless steel* sehingga sudut kontak material pengotor dapat meningkat.

Usaha mengurangi *fouling* dengan mengurangi energi permukaan juga dilakukan oleh (Barish & Goddard, 2013). Energi permukaan yang tinggi dan sifat *hidrophilic* menyebabkan *cleanability* yang buruk. *Cleanability* juga semakin

menurun dengan pemanasan pada permukaan dan presipitasi mineral. Presipitasi mineral dipengaruhi oleh kontur permukaan.

Salah satu jenis *fouling* yang banyak diteliti adalah *fouling* pada proses pengolahan susu. (Changani, Belmar-Beiny, & Fryer, 1997) *Fouling* pada pengolahan susu terjadi karena denaturasi protein dan penurunan solubilitas garam pada susu saat kenaikan temperatur. Khusus mengenai peningkatan *cleanability* dari pengotor yang terjadi akibat protein susu, disarankan dihindari dengan menggunakan *pre holding* temperature pada 75°C pada 10 menit pertama.

2.1.2. *Droplet* di permukaan *substrate*

Droplet yang terletak pada sebuah solid *substrate* akan membentuk sudut kontak. Sudut kontak yang terbentuk akan menjadi karakteristik / *wetting properties*. (Carrier & Bonn, 2015). Peningkatan sudut kontak berarti menurunnya wilayah kontak antara *droplet* dengan *substrate*. Sedangkan penurunan sudut kontak berarti peningkatan wilayah kontak antara *droplet* dengan *substrate*.

Sudut kontak yang terbentuk antara *droplet* dengan *substrate* dipengaruhi oleh sifat intrinsik material yang terlibat dalam proses pembasahan. (Barberis, 2013). Sifat intrinsik material akan berpengaruh terhadap gaya-gaya yang berpengaruh terhadap garis kontak tiga fase (liquid-solid-gas).

Gaya-gaya yang berpengaruh pada kontak tiga fase (liquid-solid-gas) ialah energi permukaan pada solid dan tegangan permukaan pada liquid. Energi permukaan merupakan sifat dari permukaan yang solid dan berbeda-beda antar permukaan. Nilai energi permukaan merupakan konsekuensi dari intermolekular *force* dalam material solid. Sedangkan *intermolecular force* antara material liquid-solid-dan gas akan mempengaruhi gesekan antara ketiga jenis material tersebut. (Radulovic, Sefiane, Starov, Ivanova, & Shanahan, 2013)

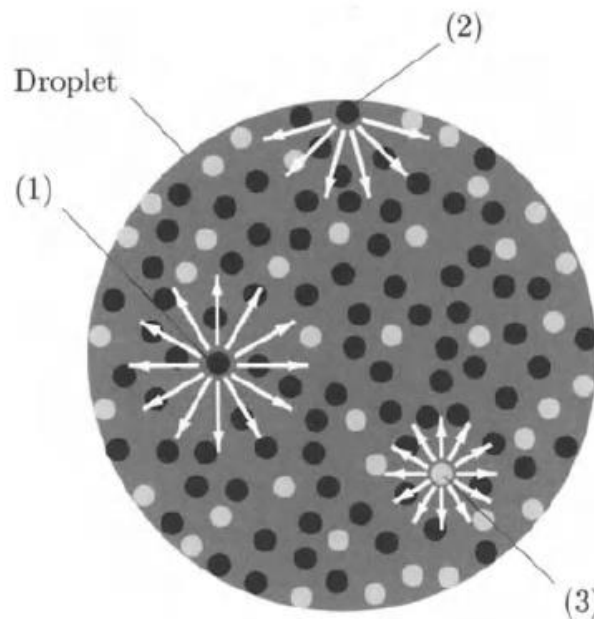
Molekul-molekul yang berada pada bidang batas antara liquid-solid-gas memiliki perilaku yang berbeda dibanding dengan molekul yang berada di dalam material (bukan pada bidang batas). Pada bidang batas terdapat gaya tarik menarik atau tolak menolak dari molekul yang berbeda fasenya. Gaya tarik menarik atau tolak menolak ini semakin berkurang hingga pada kedalaman tertentu. Pada bidang batas terdapat gaya tarik atau tolak menolak yang asimetris. (Erbil, 2006).

2.1.3. Intermolecular Force Droplet pada Substrate

Gaya tarik menarik *intermolecular* yang menyebabkan tegangan permukaan merupakan akibat dari *intermolecular forces*. Gaya-gaya tersebut, seperti ikatan logam atau ikatan hydrogen merupakan fungsi dari sifat khusus kimiawi bahan. (Fowkes, 1964). Sedangkan Gaya London akan selalu ditemukan dalam setiap atom atau molekul yang berdekatan. Gaya London muncul dari interaksi *dipole-dipole* yang bergerak karena terpengaruh atom atau molekul yang bersebelahan.

Intermolecular forces telah lama dikembangkan untuk menjelaskan pergerakan *droplet* pada suatu permukaan solid. (Glasner, 2003) Selain pendekatan dengan *intermolecular forces*, ada pula penelitian mengenai pergerakan *droplet* pada permukaan solid dengan pendekatan *fluid slips models*, *diffusi interface*, *shear thinning rheology*, dan *chemical activation*.

Dari pengamatan secara *molecular*, *intermolecular force* akan menyebabkan *interfacial* dan *surface tension* seperti dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2- 1 Skema Intermolecular forces pada droplet (1) dan (3), serta pada permukaan (2)

Sumber: (Adrian, Gharib, Merzkirch, Rockwell, & Whitelaw, 2000)

Pada *droplet*, molekul-molekulnya akan membentuk gaya lurus ke arah pusat *droplet*. Efek dari gaya ini adalah terbentuknya *surface tension*. (Adrian,

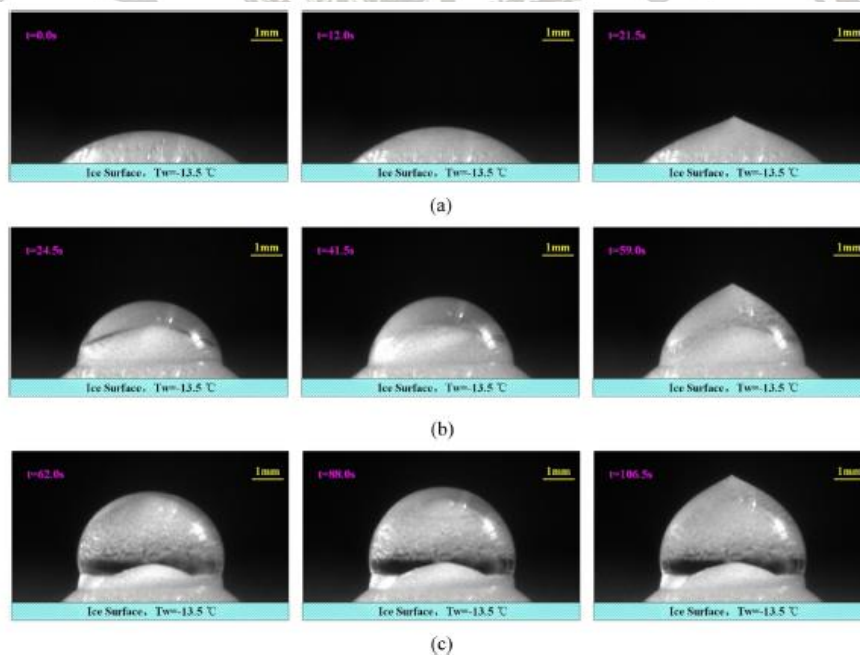
Gharib, Merzkirch, Rockwell, & Whitelaw, 2000). *Surface tension* akan sangat berpengaruh terhadap pembentukan sudut kontak.

2.1.4. Pembekuan *droplet*

Penelitian mengenai proses pembekuan *droplet* air dilakukan dengan latar belakang terjadinya pembekuan pada turbin air, pesawat terbang, dan transmisi daya. (Jin, Cheng, & Yang, 2017). Pada penelitian ini dibuat sebuah es, kemudian ditetaskan beberapa tetes air dengan tetap menjaga temperatur es yang telah dibuat. Selama penetesan air proses direkam dan diukur waktu pembekuan serta dimensi es yang terbentuk: diameter, sudut kontak, dan ketinggian es yang dibentuk.

Hasilnya ternyata pada 3 tetes air yang dijatuhkan ke permukaan air secara berurutan terdapat perbedaan baik diameter, sudut kontak, dan ketinggian es yang terbentuk.

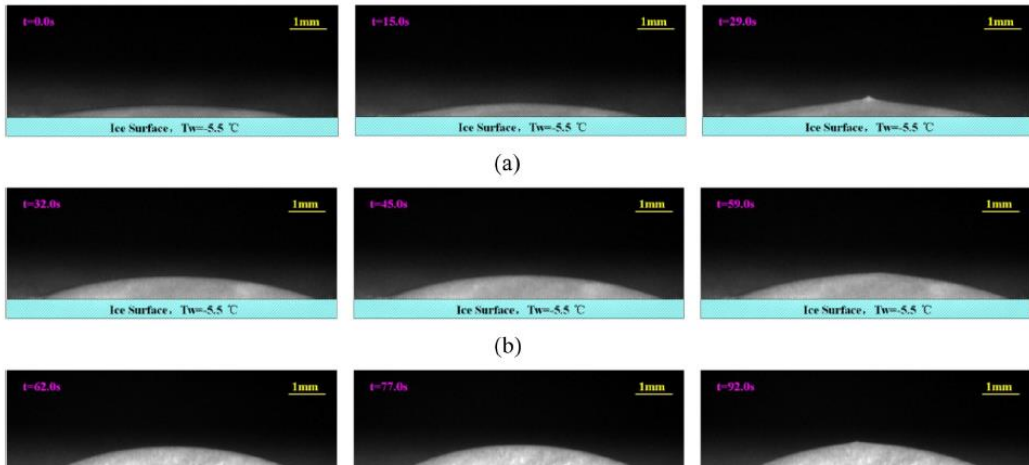
Pada temperatur $-13,5^{\circ}\text{C}$, ditemukan kondisi droplet sebagai berikut:



Gambar 2- 2 Droplet air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 ($-13,5^{\circ}\text{C}$)

Sumber: (Jin, Cheng, & Yang, 2017)

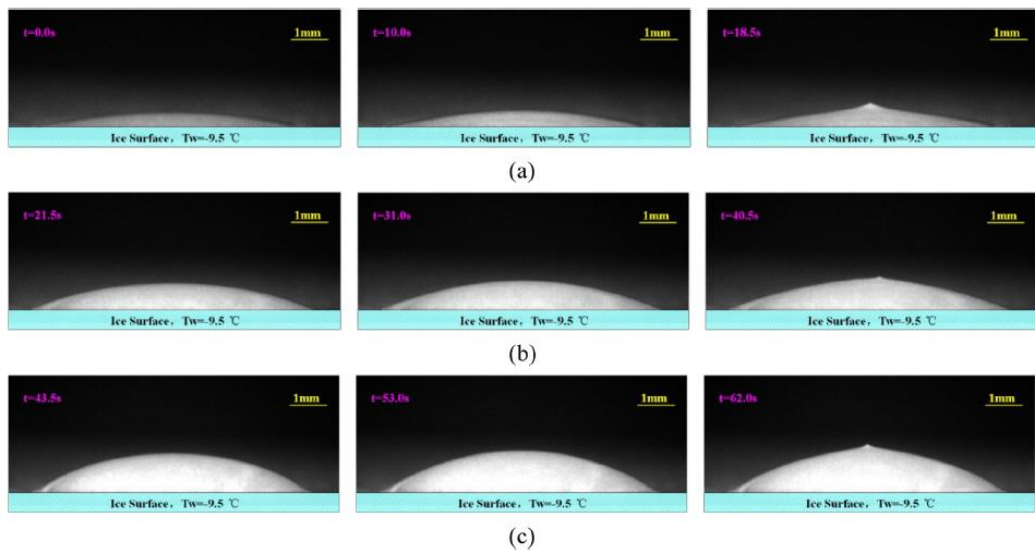
Pada temperatur $-5,5^{\circ}\text{C}$, ditemukan kondisi *droplet* sebagai berikut:



Gambar 2- 3 Droplet air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 ($-5,5^{\circ}\text{C}$)

Sumber: (Jin, Cheng, & Yang, 2017) (c)

Pada temperatur $-9,5^{\circ}\text{C}$, ditemukan kondisi *droplet* sebagai berikut:



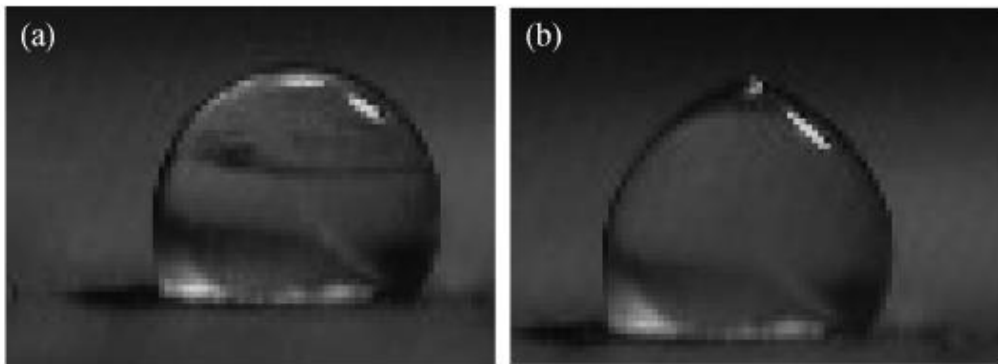
Gambar 2- 4 *droplet* air pada tetesan ke 1, ke 2, dan ke 3 ($-9,5^{\circ}\text{C}$)

Sumber: (Jin, Cheng, & Yang, 2017)

Perbedaan pada hasil uji di atas disebabkan oleh sifat kinematis dan *material properties*.

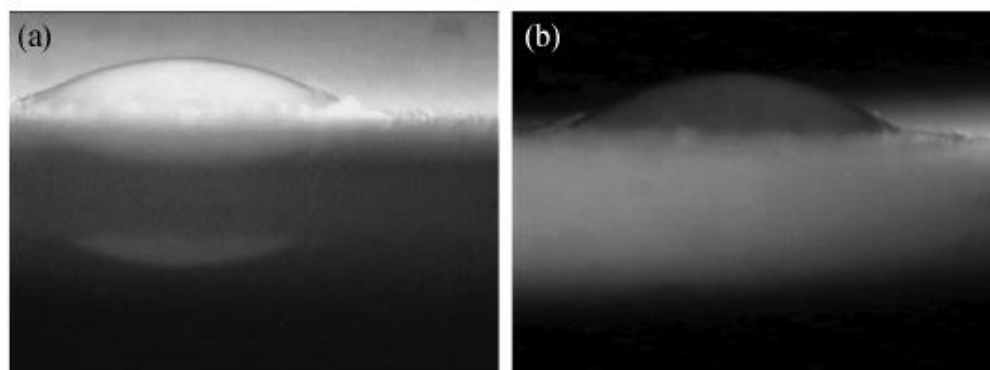
Untuk membedakan perilaku pembekuan droplet minyak nabati dengan air, telah dilakukan pengujian pembekuan droplet air dan *peanut oil* dengan *substrate cold copper surface*. (Jieteng Zhongliang, Yujun, Xinhua, & Shuiyuan, 2006).

Pada penelitian tersebut telah diidentifikasi perbedaan antara *water droplet* dan *peanut oil droplet* setelah pembekuan.



Gambar 2- 5 Droplet air pada -10°C

Sumber: (Jieteng, Zhongliang, Yujun, Xinhua, & Shuiyuan, 2006)



Gambar 2- 6 Droplet *peanut oil* saat pembekuan

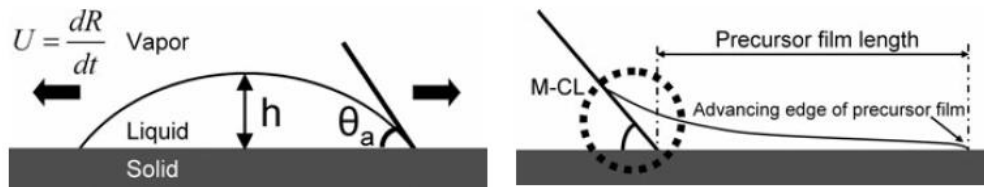
Sumber: (Jieteng, Zhongliang, Yujun, Xinhua, & Shuiyuan, 2006)

Dari penelitian di atas diperoleh perbedaan yang nyata antara pembekuan *droplet* air dan *peanut oil*, baik dari sudut kontak dan *shape* yang terjadi. Terhadap *substrate*, *droplet* air menunjukkan sudut kontak yang lebih besar daripada *droplet peanut oil*. Selain itu setelah dibekukan muncul tonjolan pada *droplet* air, sedangkan pada *peanut oil* tonjolan tersebut tidak muncul. Hal tersebut dipengaruhi oleh tegangan permukaan dan ekspansi termal pada masing-masing material.

Dalam penelitian yang akan dilaksanakan, analisis akan diarahkan pada pengaruh kondisi termal lingkungan terhadap tegangan permukaan yang pada akhirnya berpengaruh pada sudut kontak.

2.1.5. Penelitian Pembentukan *Precursore Film*

Penelitian bidang kontak antara *liquid-solid* telah banyak dilakukan, khususnya pada pembentukan *precursore film*. *Precursore film* didefinisikan sebagai lapisan film cair tipis disekitar *spreading droplet* (Konisho & Ueno, 2009).

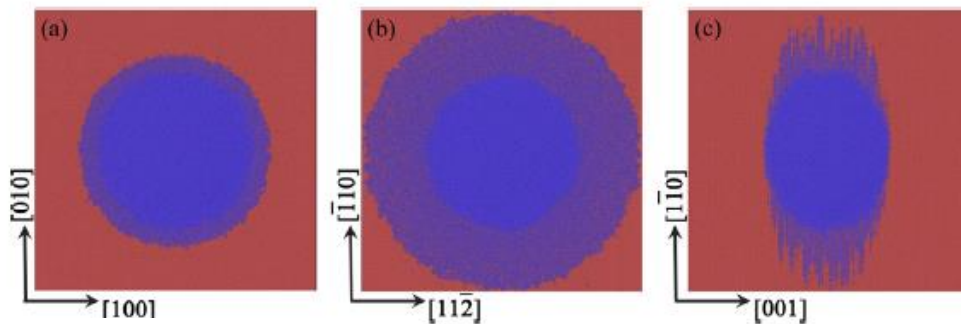


Gambar 2- 7 Spreading droplet dan *precursore film*

Sumber: (Konisho & Ueno, 2009)

Dengan menggunakan *substrate* yang tergolong halus, *silicone oil droplet* akan memiliki radius yang mengikuti rumus $R(t) = \Omega^{3/10} \times (\sigma/\mu)^{1/10}$ dimana Ω ialah volume *droplet*, σ (*surface tension*), μ (*viskositas*).

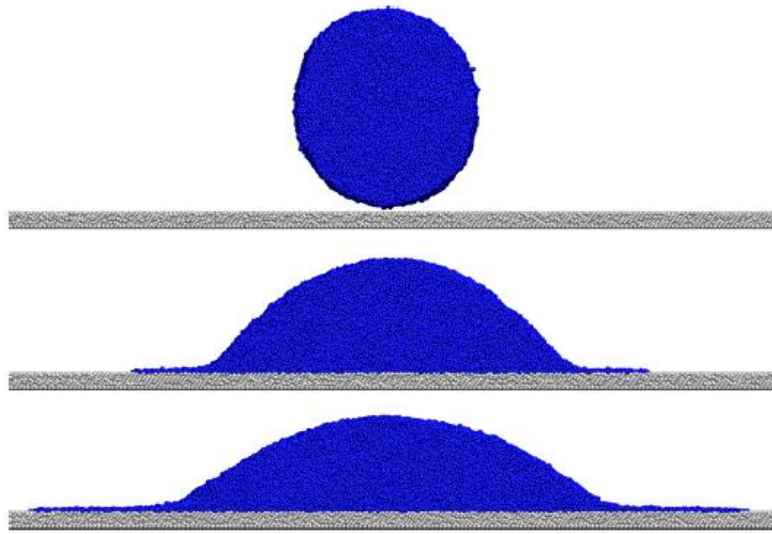
Sebagian peneliti melakukan riset mengenai *precursore film* dengan simulasi *molecular dynamics* (MD). Lithium liquid yang berbentuk droplet secara simulasi ditetaskan pada permukaan 3 macam Cu. (Chen, et al., 2016) Pada penelitian ini ditemukan adanya *precursore film* pada permukaan Cu 100, Cu 111, dan Cu 110. Namun terdapat perbedaan pada bentuknya, yaitu bentuk *precursore film* lingkaran pada permukaan Cu 100 dan Cu 111. Sedangkan pada Cu 110 bentuknya oval. Hal ini dipengaruhi oleh aliran *spreading kinetics* Li pada permukaan masing-masing Cu.



Gambar 2- 8 Bentuk droplet Li

Sumber: (Chen, et al., 2016)

Simulasi pembentukan *precursore film* dengan MD juga dilakukan dengan mensimulasikan *droplet* pada *substrate* dengan tujuan mengkarakterisasi proses pembentukan *precursore film*. (Isele Holder & Ismail, 2016)

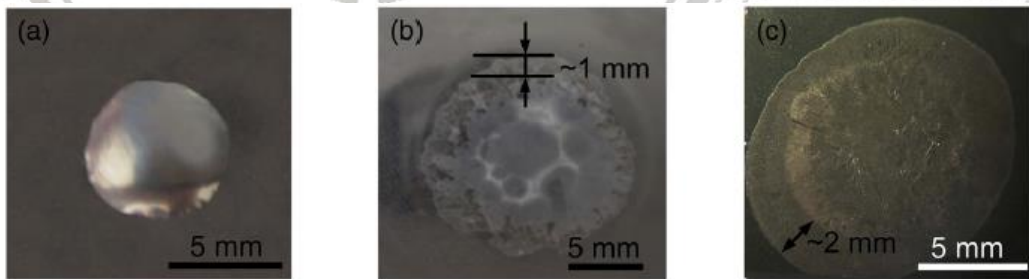


Gambar 2- 9 Pembentukan presursore film

Sumber : (Isele Holder & Ismail, 2016)

Dari simulasi tersebut diperoleh hasil bahwa untuk memperoleh karakter pembentukan *droplet*, diperlukan karakterisasi pada : *Layer Definition*, *Layer length computation*, dan *precursore shape characterization*.

Percobaan droplet *alloy* dengan alloy Zr dan substrate ZrC pada 1253K telah dilakukan untuk mempelajari pembentukan *precursore film*. Pada penelitian tersebut ditujukan untuk meneliti mekanisme pergerakan batas tiga jenis material yang berlainan fase (*liquid-solid-gas*) pada suhu tinggi. (Lin, Qiu, & Sui, 2014)



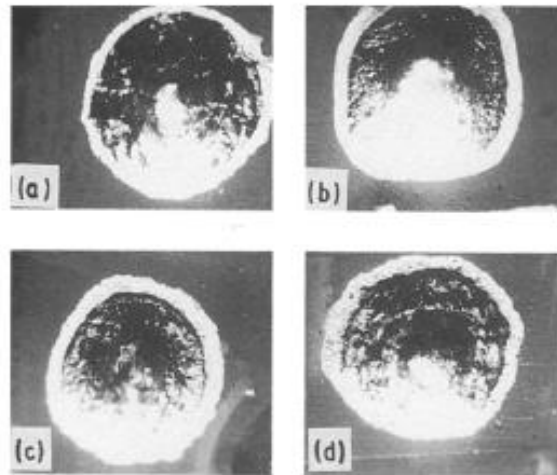
Gambar 2- 10 Precursore film pada pembekuan Alloy Ze

Sumber: (Lin, Qiu, & Sui, 2014)

Perubahan dimensi *precursore film* dan sudut kontak dipengaruhi oleh nilai ΔG (energy Gibbs) untuk 1 mol reaktan yang ikut bereaksi pada proses tersebut.

Dimensi *precursore film* akan menurun pada penurunan nilai ΔG .

Pada pengujian *precursore film* dengan droplet metal dan substrat keramik, telah diuji dengan menggunakan material aktif Ti, Zr, Nb, Hf atau Ta. Sedangkan substrate keramik menggunakan Sialon, Mullite, Barium Titanate Alumina. (Xian, 1993)



Gambar 2- 11 *Precursore film Tin Based Solder*

Sumber: (Xian, 1993)

Dari penelitian tersebut diperoleh data bahwa *precursore film* dipengaruhi oleh :

- a. Material aktif yang dipakai mempengaruhi pembentukan *precursore film*. Titanium, Zirconium, dan Hafnium lebih menginduksi terjadinya *precursore film*, dari pada vanadium, tantalum, dan niobium.
- b. Temperatur yang lebih tinggi akan menyebabkan *precursore film* lebih besar.
- c. Jenis material sebagai *substrate* akan berpengaruh karena ceramic dengan kandungan sialon dan Red Alumina akan membentuk *precursore film* lebih besar daripada Ceramic dengan kandungan Mullite dan Barium
- d. Material tambahan yang berupa Nickel 1-3%, Copper 5%, an Silver 5% akan menambah luasan *precursore film*.

Pengaruh bentuk *substrate* terhadap pembentukan *precursore film* telah diteliti dengan membuat permukaan kasar (*substrate* bertekstur). Untuk permukaan

yang bertekstur, proses *wetting* akan berbeda dengan proses *wetting* pada permukaan yang halus.

Pada permukaan yang halus, persamaan Young :

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta \quad (2-1)$$

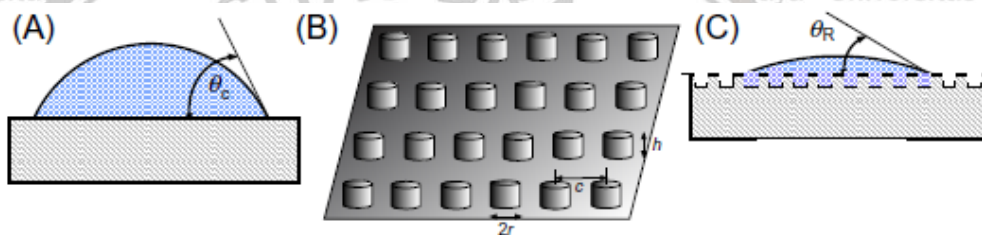
masih berlaku. Sedangkan untuk permukaan yang kasar / bertekstur, persamaan tersebut akan menjadi : (Morton, Tsui, Tung, Sturm, Chou, & Austin, 2010)

$$\cos \theta_R = R \cos \theta_C \quad (2-2)$$

di mana:

θ_R ialah sudut kontak pada bidang yang kasar

R ialah koefisien kekasaran (nilainya lebih daripada 1)



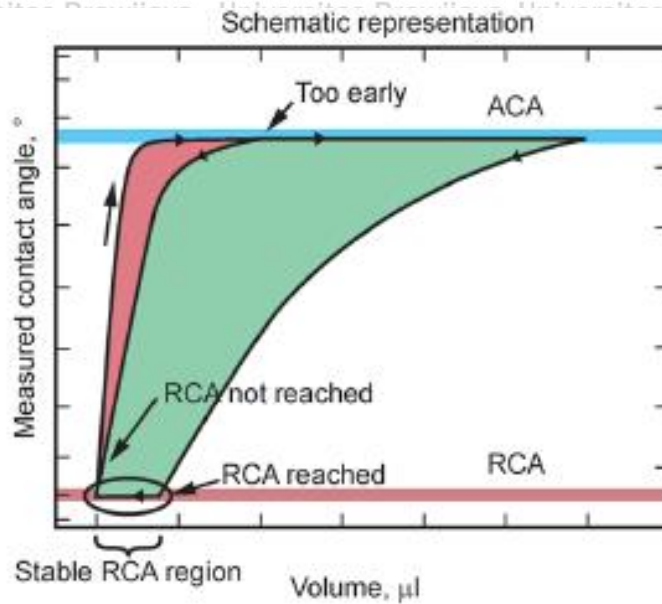
Gambar 2- 12: *Wetting* akibat kekasaran permukaan

Sumber : (Morton, Tsui, Tung, Sturm, Chou, & Austin, 2010)

Pembentukan *precursore* film sangat terkait erat dengan *cleanability*. Peningkatan *cleanability* dengan perubahan sudut kontak akan diikuti dengan pergeseran / perubahan *precursore film*. Sehingga peneliti selain meneliti *cleanability* melalui perubahan sudut kontak, juga meneliti dengan mendalami fenomena perubahan *precursore film*.

2.1.6. Penelitian Pembentukan Droplet

Beberapa penelitian mengenai pembentukan *droplet* telah dikembangkan berkaitan dengan *wettability*. Peneliti mengukur sudut kontak untuk mengetahui karakter *droplet* air pada permukaan tertentu. Untuk memperkuat analisis dan mengetahui karakter *droplet* tersebut, diadakan penelitian dengan mengubah volume droplet. (Korhonen, Huhtamäki, Ikkala, & Ras, 2013) Selama diadakan perubahan volume *droplet*, *contact angle* diukur dan diplot pada grafik.



Gambar 2- 13 plot data sudut kontak vs volume

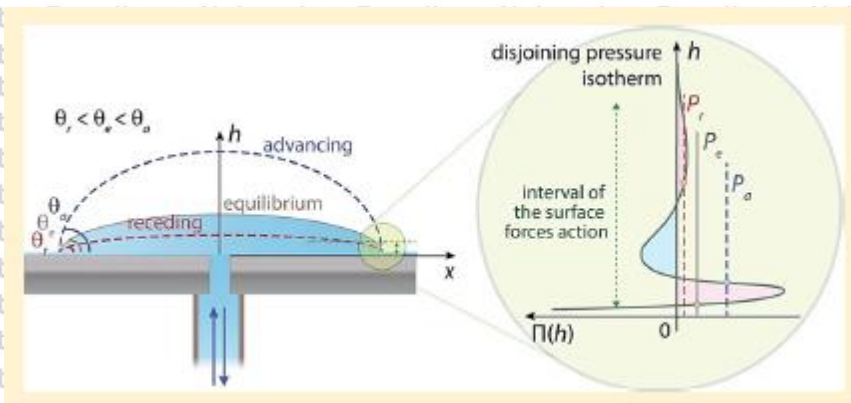
Sumber: (Korhonen, Huhtamäki, Ikkala, & Ras, 2013)

Hasil dari penelitian tersebut ialah ditemukannya *hysteresis* antara sudut kontak ketika volume droplet ditambah dan volume droplet dikurangi. Penelitian ini menegaskan bahwa metode *needle-in-sessile-drop method* dapat menemukan *hysteresis* tersebut.

Hysteresis dapat terjadi karena : (de-Gennes, 1985)

- *Surface roughness*
- Kontaminasi kimiawi / *inhomogeneity*
- *Solutes* di dalam *liquid*

Hysteresis pada sudut kontak juga ditemukan pada penelitian *hysteresis* sudut kontak *droplet* air pada permukaan halus dan homogen. (Kuchin & Starov, 2015). Dengan penambahan dan pengurangan volume *droplet*, ditemukan bahwa terjadi *hysteresis* pada sudut kontak, yang berarti terjadi perubahan pula pada *disjoin/cojoin pressure* antara *droplet* dengan *substrate*.



Gambar 2- 14 Disjoining/cojoining pressure pada droplet

Sumber : (Kuchin & Starov, 2015)

Adapun yang mempengaruhi *disjoin/cojoin* pressure ialah :

- a. *Electrostatic component* antara droplet dengan substrate, di mana *cojoin/disjoin pressure* akibat *electrostatic component* ditentukan dengan persamaan:

$$\Pi_E = RTc_0(\exp(\psi) + \exp(-\psi)) - 2 RTc_0 - \frac{(RT)^2 \epsilon \epsilon_0}{2F^2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} \right)^2 \quad (2-3)$$

- dimana: R= konstanta gas universal
- T = temperatur (K)
- F = konstanta Faraday
- ε = konstanta dielektrik
- c₀ = konsentrasi elektrolit
- y = koordinat normal interface liquid – udara
- ψ = dimensionless electric potential

- b. Struktur komponen, yang disebabkan oleh *dipole* molekul air disekitar *interface* dan *overlapping* lapisan. di mana *cojoin/disjoin pressure* akibat struktur/komponen ditentukan dengan persamaan:

$$\Pi_S = K_1 \exp(-h / \lambda_1) + K_2 \exp(-h / \lambda_2) \quad (2-4)$$

Dimana K dan λ ialah parameter yang terkait dengan *magnitude* dan karakteristik jarak *structural forces*.

c. Ikatan Van der Walls, yang ditentukan dengan persamaan:

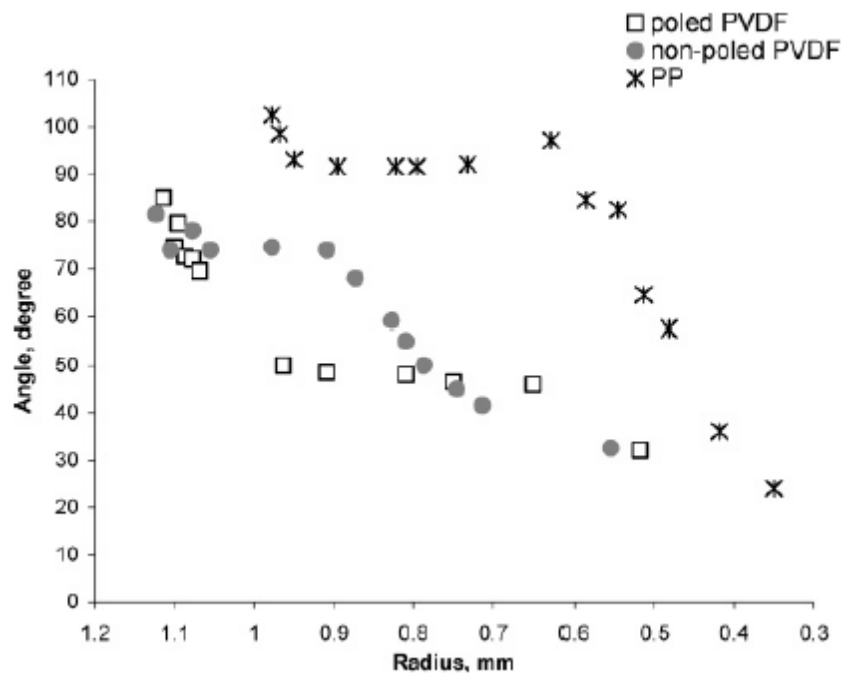
$$\Pi_M(h) = \frac{A}{6\pi h^3} \quad (2-5)$$

Di mana A ialah konstanta Hamaker.

Maka tekanan (*disjoin/cojoin pressure*) yang terjadi pada droplet ialah :

$$\Pi_{(h)} = \Pi_M(h) + \Pi_E(h) + \Pi_S(h) \quad (2-6)$$

Pengukuran sudut kontak pada *droplet* dengan kondisi evaporasi telah dikembangkan. Evaporasi bertujuan mengurangi secara bertahap volume *droplet*. (Bormashenko, et al., 2008). Pengukuran ini bermaksud untuk mengetahui perubahan sudut kontak akibat deformasi secara perlahan. Material *liquid* yang dipakai ialah air, dengan *substrate* yang dipakai ialah Polypropylene (PP), Poled Polyvinylidene Fluoride (PPVF), non-poled Polyvinylidene Fluoride (PPVF). Hasilnya dijelaskan pada grafik berikut:

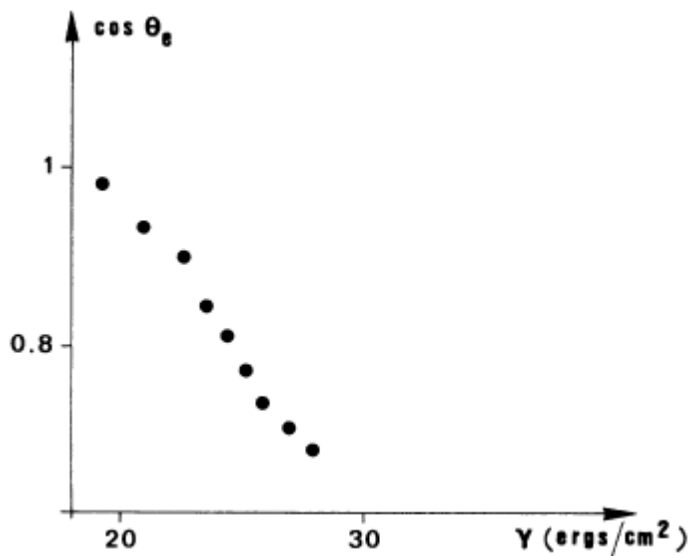


Gambar 2- 15 sudut kontak vs radius pada pengurangan volume *droplet* air dengan berbagai *substrate*

Sumber : (Bormashenko, et al., 2008)

Dari grafik di atas tampak bahwa penurunan volume *droplet* air akan mengakibatkan sudut kontak *droplet* semakin kecil.

Sudut kontak *droplet* yang dipengaruhi oleh tegangan permukaan telah banyak diteliti. (de-Gennes, 1985). Misalnya *droplet* n-alkana pada permukaan teflon. Hasil penelitian menyatakan semakin tinggi tegangan permukaan pada *droplet* maka nilai $\cos \theta$ semakin rendah.



Gambar 2- 16 Hubungan antara sudut kontak dan tegangan permukaan

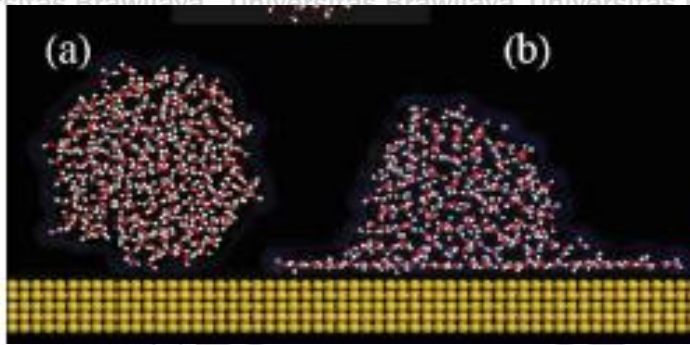
Sumber : (de-Gennes, 1985)

Studi mengenai *bulk energy cohesive* menyatakan bahwa material solid terbagi menjadi 2 bagian, yaitu :

- *Hard solid material*, yaitu material dengan ikatan kovalen, ionic atau metallic. Material jenis ini memiliki energi permukaan yang tinggi, yaitu sekitar 500-5000ergs/cm²
- *Weak moleullar crystal*, yaitu material dengan ikatan van der Walls, atau ikatan hydrogen. Material jenis ini memiliki energi permukaan yang rendah, yaitu sekitar 50 ergs/cm²

Maka sudut kontak yang terbentuk akan bergantung dari substrate *solid* dan *liquid* yang digunakan.

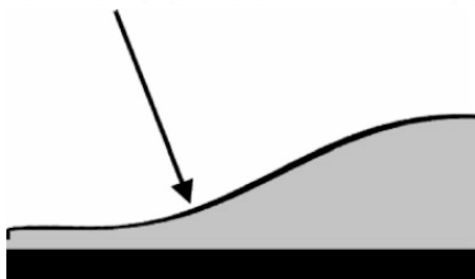
Pembentukan *droplet* juga telah diteliti dengan simulasi menggunakan *software* Molecular Dynamics (MD). Peneliti mensimulasikan *droplet* air di permukaan emas. (Yuan & Zhao, 2010).



Gambar 2- 17 Gambar : simulasi *droplet* air di permukaan emas
 Sumber: (Yuan & Zhao, 2010)

Simulasi di atas dilakukan dengan temperatur 300K. Warna kuning pada substrate merupakan emas, sedangkan warna merah (oksigen) dan putih (hydrogen). Menurut hasil simulasi, dijelaskan bahwa pada *droplet* tersebut terbentuk film tipis (*precursore film*). Lebih lanjut dijelaskan bahwa gejala tersebut membuktikan tidak adanya efek “*slip*” dan “*infinite dissipasi energy*” pada bidang batas.

Khusus mengenai *disjoin/cojoin pressure* pada droplet, dijelaskan dalam *research review* oleh (Starov, 2013). Pada antara *droplet (liquid)* dengan *substrate (solid)* akan terdapat bidang transisi. (Starov, 2013)

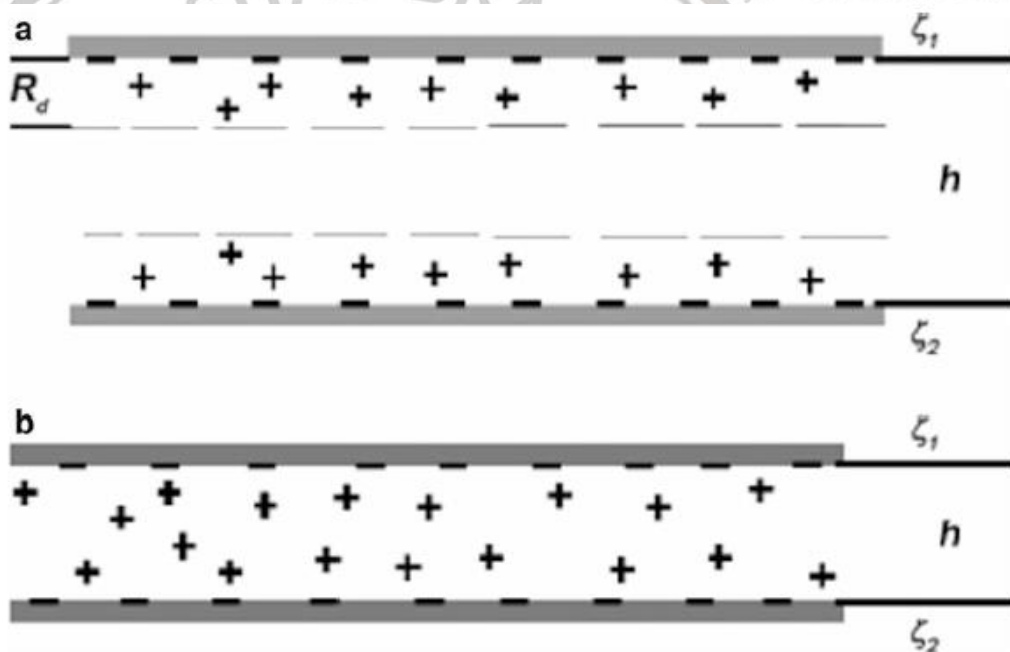


Gambar 2- 18 Bidang transisi pada droplet
 Sumber: (Starov, 2013)

Pada bidang yang cekung, tekanan pada *liquid* lebih besar daripada tekanan oleh udara. Sebaliknya, pada bidang yang cembung tekanan pada *liquid* lebih besar daripada tekanan oleh udara. Kesetimbangan (*equilibrium*) pada *droplet* akan dibatasi oleh gaya permukaan yang bekerja pada lapisan tipis *liquid* di sekitar pertemuan tiga fase (*liquid-solid-gas*). Gaya permukaan tersebut akan berpengaruh bagi properties dan stabilitas *droplet*. Gaya tersebut bergantung pada luas permukaan dan tebal lapisan film, sering dinamai *disjoint/cojoint pressure*.

Cojoint pressure disebabkan oleh adanya gaya london – van der walls. Besarnya ikatan van der walls dipengaruhi polaritas, baik dipol atau dipol terinduksi.

Selain gaya london – van der walls, *cojoint pressure* dipengaruhi oleh *electrostatic component* yang memiliki gaya tarik menarik.



Gambar 2- 19 Gambar : gaya tarik menarik pada electrostatic component

Sumber : (Starov, 2013)

ξ_1 dan ξ_2 adalah permukaan dengan potensial *electrical charged*, dengan kutub negatif. Pada jarak pengaruh kutub negatif (R_d) lebih kecil daripada h , maka tidak akan terjadi interaksi *electrostatic* (gambar a). Pada gambar b, jarak antara dua permukaan dengan negatif *electrical charged* h lebih kecil daripada R_d . Maka

akan terjadi *overlap* pada permukaan *electrical double layer* sehingga menghasilkan interaksi.

Menurut (Hunter, 1981), apabila terdapat dua fase benda dalam kontak, akan muncul potensial yang berbeda di dalamnya. Jika salah satu fase tersebut ialah polar *liquid* (seperti air), molekulnya akan cenderung terbentuk dalam arah tertentu pada *interface* sehingga menimbulkan beda potensial. Jika terdapat ion-ion atau kelebihan elektron pada salah satu atau kedua permukaan, maka akan terdapat tendensi *electric charges* untuk mendistribusikan dirinya sendiri pada *interface* tersebut.

Penelitian yang dibahas pada sub bab ini telah membuktikan bahwa *intermolecularforce* dapat digunakan untuk menjelaskan perubahan bentuk droplet.

2.2. Interaksi Intermolekular

2.2.1 Interaksi Van der Waalls

Ketika dua molekul yang identik berdekatan hingga jarak tertentu, akan terjadi reaksi elektrostatis yang disebut interaksi Van der Waalls. Interaksi van der Waalls merupakan penyebab dari terjadinya perubahan (kondensasi) gas ke *liquid* pada temperatur rendah. Energi pada interaksi Van der Waalls sekitar 0,01 eV. (Maréchal, 2007).

Van der Waalls *force* merupakan interaksi antara dipole permanen, permanen dipole dengan dipole terinduksi, atau antara atom/molekul yang netral. (FOGLER, 2004).

Interaksi Van der Waalls diduga merupakan interaksi intermolekular yang berperan sangat penting pada perubahan sudut kontak droplet akibat pendinginan.

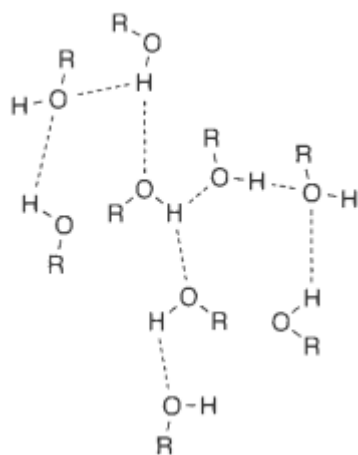
2.2.2 Ikatan Hydrogen

Ikatan hydrogen merupakan ikatan yang unik dalam struktur kimia. Secara termodinamik dan kinetik, Ikatan Hydrogen memiliki fungsi yang penting. Pada *supramolecular chemistry*, Ikatan hydrogen memiliki kemampuan untuk mengontrol dan mengendalikan struktur assembling molekular. Hal ini terjadi karena Ikatan hydrogen cukup kuat untuk fungsi tersebut. (DESIRAJU & STEINER, 2001)

Ikatan hydrogen terjadi pada gaya-gaya dipole antara molekul H dengan atom lain yang lebih kecil, sangat elektronegatif, dengan pasangan elektron tunggal.

Atom yang cocok untuk melakukan Ikatan Hydrogen ialah H, C, O, dan F. Sementara itu dengan P, S, dan Cl, ikatan hydrogen yang terjadi akan sangat lemah (Silberberg, 2006).

Energi yang dimiliki oleh ikatan hydrogen berkisar antara 0,5 – 40 kcal/mol. Ikatan hydrogen yang sangat lemah biasanya serupa dengan interaksi Van der Waalls. Interaksi van der Waalls yang terkuat dapat mendekati energi ikatan hydrogen yang terlemah.



Gambar 2- 20 Contoh Ikatan hydrogen

Sumber : (Anslyn & Dougherty , 2006)

Ikatan hydrogen dengan kekuatan 15-40 kcal/mol tergolong kuat. Ikatan hydrogen dengan kekuatan 5-14 kcal/mol tergolong moderat. Sedangkan umumnya ikatan hydrogen berada pada ukuran 0-4 kcal/mol (ikatan lemah). (Anslyn & Dougherty , 2006). Kekuatan ikatan hydrogen selain dipengaruhi oleh donor dan akseptor, juga dipengaruhi oleh microenvironment ikatan tersebut.

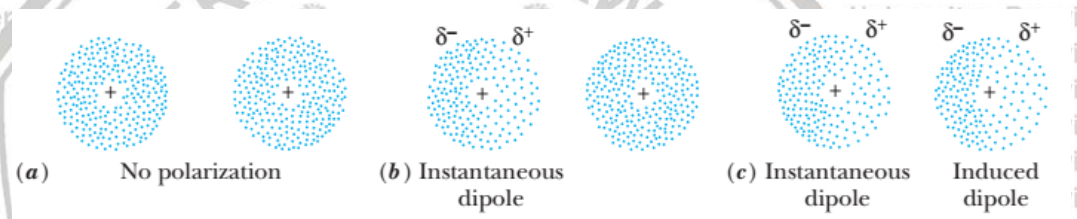
Ikatan hydrogen sangat penting dibahas mengingat udara mengandung uap air. Penurunan temperatur akan menyebabkan terjadinya pengembunan pada permukaan. Pada permukaan tersebut akan terjadi ikatan hydrogen. Pengembunan tersebut akan dapat menyebabkan perubahan tegangan permukaan.

2.2.3 Gaya London

Charges yang sangat kecil dari dipole instan pada molekul non polar dapat menginduksi dipole pada molekul non polar yang terdekat. Hal ini menyebabkan dua molekul tarik menarik. Tarik menarik tersebut ialah Gaya London.

Polarizability / kemampupolaran mengacu pada kemudahan dimana awan elektron dari suatu molekul dapat terdistorsi oleh muatan terdekat. Semakin besar *polarizability* sebuah molekul, maka semakin besar dipole yang diinduksi dan besarnya daya tarik elektrostatik. Secara umum kemampupolaran akan meningkat seiring ukuran awan elektron. (Reger, Goode, & Ball, 2010).

Kepolaran sebuah molekul akan sangat berpengaruh terhadap tarik mmenarik molekul yang memiliki sifat kepolaran yang sama.



Gambar 2- 21 London Dispersion Force

Sumber : (Reger, Goode, & Ball, 2010)

2.3. Hydrophilic dan Hydrophobic

Interaksi non kovalen antara partikel terdapat 3 tipe : (Oss & Giese, 1995)

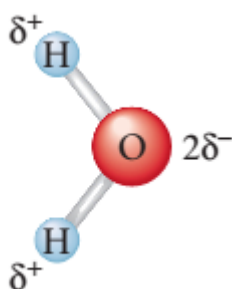
- a) Interaksi interfacial
- b) Interaksi elektrostatik
- c) Gerakan Brown

Di antara 3 tipe interaksi di atas, interaksi interfacial erat kaitannya dengan fenomena *hydrophilic* (*water attracting*) dan *hydrophobic* (*water repellent*).

Terjadinya sifat *hydrophobic* dan *hydrophilic* merupakan kombinasi dari terjadinya gaya van der Waals dan hydrogen bonds. (Oss & Good, 1988) menyatakan bahwa gaya van der Waals antara dua material umumnya bersifat tarik menarik. Gaya van der Waals berupa gaya tolak menolak dapat muncul antara 2 material. Pada jarak tertentu yang sangat dekat, molekul akan saling menjauh satu

dengan lainnya. Hal ini terjadi karena awan elektron-elektron yang “overlap” posisinya. (Butt, Graf, & Kappl, 2003)

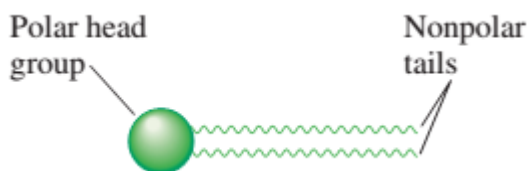
Molekul air (H₂O) memiliki karakter dipolar. Karena atom oxygen pada molekul air memiliki elektronegativitas yang lebih besar daripada atom hydrogen, maka atom tidak terbagi merata. (Zumdahl & DeCoste, 2011)



Gambar 2- 22 Charge pada molekul air

Sumber : (Zumdahl & DeCoste, 2011)

Untuk phospholipid, pada sisi kepala (*head*) bersifat polar sehingga bersifat hydrophilic. Sedangkan pada sisi ekor (*tail*) memiliki sifat non *polar* sehingga bersifat hydrophobic. (Stoker, 2010)



Gambar 2- 23 Molekul phospholipid dengan *head* dan *tail*

Sumber : (Stoker, 2010)

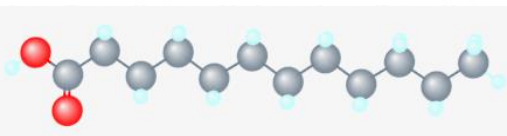
Kepolaran molekul menjadi faktor yang menentukan dalam tarik menarik antara molekul minyak nabati dengan uap air.

2.4. Penyusun Minyak Nabati

2.4.1 Lauric Acid

Lauric Acid memiliki formula C₁₂H₂₄O₂ (PubChem, 2018). Lauric Acid adalah *saturated medium-chain fatty acid* dengan *12-carbon backbone*. Lauric acid dapat

ditemui di alam pada berbagai jenis tumbuhan dan hewan, berupa lemak atau minyak. Contohnya minyak kelapa yang memiliki *major component* Lauric Acid.

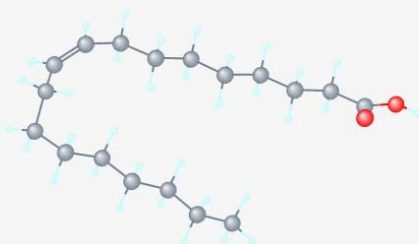


Gambar 2- 24 Lauric Acid

Sumber : (PubChem, 2018)

2.4.2 Oleic Acid

Oleic acid memiliki formula $C_{18}H_{34}O_2$ (PubChem, 2018), dengan berat molekul 282.468 g/mol. Oleic acid adalah *unsaturated fatty acid* yang tersebar luas di alam serta tersedia melimpah. Secara komersial, oleic acid banyak digunakan pada pembuatan oleats, lotions, dan *pharmaceutical solvent*. Selain itu, oleic acid juga digunakan pada pembuatan surfaktan, bahan tambahan makanan, pembuatan sabun, emulsifying agent, dan plasticizers. Minyak Jarak memiliki *major component* Oleic Acid



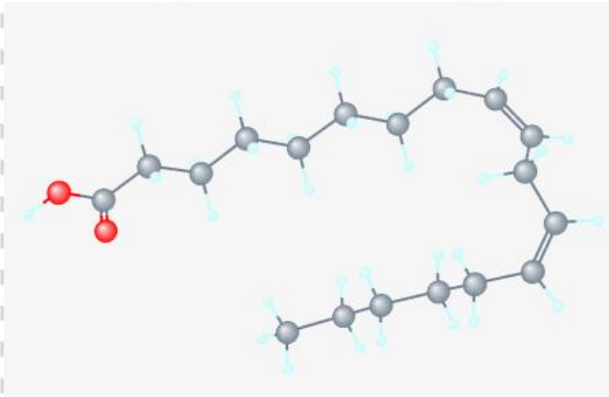
Gambar 2- 25 : Oleic Acid

Sumber : (PubChem, 2018)

2.4.3 Linoleic Acid

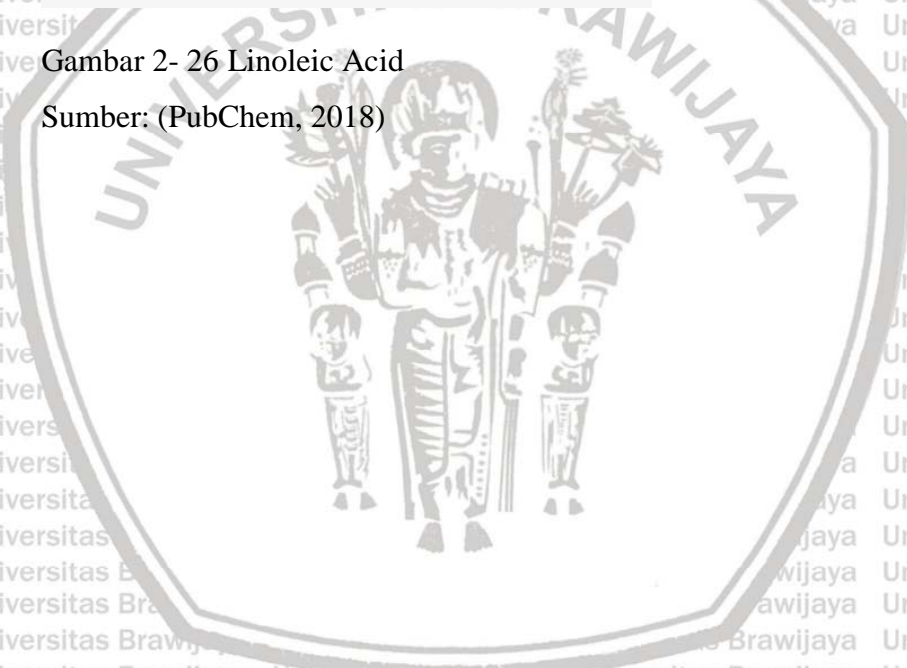
Linoleic acid memiliki formula molekul $C_{18}H_{32}O_2$ dan berat molekul 280,452 g/mol. Linoleic acid adalah *polyunsaturated essential fatty acid* ditemukan hampir di semua minyak nabati. Biasanya digunakan pada biosynthesis prostaglandins dan membran sel.

Linoleic acid merupakan *doubly unsaturated fatty acid*, juga dikenal sebagai omega-6 fatty acid. *Double bond* yang pertama terletak antara carbon nomer enam dan nomer tujuh dari the methyl yang terakhir (n-6). Linoleic acid sangat penting sebagai nutrisi karena tidak dapat diproduksi oleh manusia. (PubChem, 2018)
 Minyak bunga matahari memiliki *major component* Linoleic Acid.



Gambar 2- 26 Linoleic Acid

Sumber: (PubChem, 2018)



BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

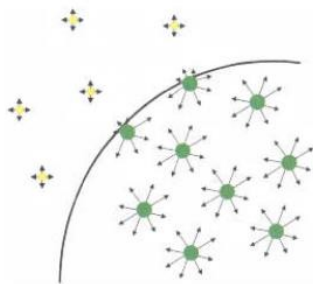
3.1 Kerangka Teoritis

Molekul memiliki kecenderungan untuk tarik menarik kepada sesama molekul. Molekul yang terletak pada liquid memiliki interaksi dengan molekul-molekul yang berada di sebelahnya (pada semua sisi). Interaksi tersebut umumnya berupa gaya van der Waals pada *organic liquid* atau ikatan *hydrogen* pada air.

Molekul pada permukaan (*interface*) hanya memiliki setengah interaksi dengan molekul sesama *liquid*. Setengah interaksi lainnya dengan sesama fluida atau gas.

Pada interaksi pada interface antara *liquid* dan gas, *liquid* umumnya akan berinteraksi dengan 4 sampai 12 molekul (tergantung jenis molekulnya).

Sedangkan pada permukaan (*interface*), molekul akan berinteraksi dengan setengah dari jumlah tadi. Molekul akan berinteraksi dengan molekul gas juga, tetapi karena densitas yang rendah dari gas, maka interaksi dengan gas akan sangat kecil dibandingkan dengan liquid. Ketidaksamaan interaksi ini akan mengakibatkan munculnya *excess of surface energy* yang secara fisika disebut tegangan permukaan. Tegangan permukaan memiliki satuan J/m^2 atau lebih praktis satuan yang dipakai ialah N/m . Tegangan permukaan dapat disebut sebagai energi kohesivitas molekul.



Gambar 3- 1 Skema molekul pada *interface liquid-gas*

Sumber : (Berthier & Brakke, 2012)

Jika energi kohesive molekul dilambangkan dengan U maka secara kasar energi kohesive molekul ialah $U/2$. Jika karakteristik dimensi molekular dilambangkan dengan δ dan dimensi luasan molekular δ^2 , maka tegangan permukaan γ akan bernilai:

$$\gamma = U / \delta^2 \quad (3-1)$$

Hubungan di atas akan menunjukkan bahwa tegangan permukaan akan meningkat jika energi kohevsivitas tinggi dan luasan molekular yang kecil.

Hal serupa terjadi pada *interface liquid-solid*. Molekul pada *liquid* kontak dengan molekul material solid. Tarik menarik pada interaksi liquid-solid dengan ikatan van der Waals. Jika tarik menarik cukup kuat, maka dikatakan terjadi *negative surface energy* dan pada material solid terjadi *wetting* atau proses *hydrophilic/lyophilic*. Sebaliknya, jika gaya tarik menariknya lemah, maka dikatakan terjadi *positive surface energy* dan terjadi proses *nonwetting* atau proses *hydrophobic/lyophobic*.

Surface tension yang terjadi pada permukaan sangat bergantung pada gaya tarik menarik. Maka *surface tension* akan meningkat jika *molecular size* menurun.

Berikut beberapa hasil penelitian mengenai *surface tension*. (Berthier & Brakke, 2012)

Tabel 3 1 Surface tension dan thermal koefisien

liquid	γ_0	α
Acetone	25.2	-0.112
Benzene	28.9	-0.129
Benzylbenzoate	45.95	-0.107
Bromoform	41.5	-0.131
Chloroform	27.5	-0.1295
Cyclohexane	24.95	-0.121
Cyclohexanol	34.4	-0.097
Decalin	31.5	-0.103
Dichloroethane	33.3	-0.143
Dichloromethane	26.5	-0.128
Ethanol	22.1	-0.0832
Ethylbenzene	29.2	-0.109
Ethylene-Glycol	47.7	-0.089
Isopropanol	23.0	-0.079
Iodobenzene	39.7	-0.112
Glycerol	64.0	-0.060
Mercury	425.4	-0.205
Methanol	22.7	-0.077
Nitrobenzene	43.9	-0.118
Perfluorooctane	14.0	-0.090
Polyethylen-glycol	43.5	-0.117
PDMS	19.0	-0.036
Pyrrrol	36.0	-0.110
Toluene	28.4	-0.119
Water	72.8	-0.1514

Sumber : (Berthier & Brakke, 2012)

3.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh

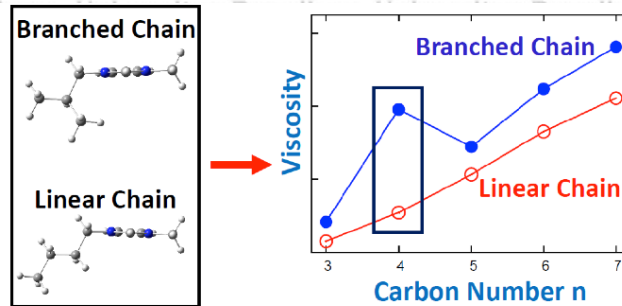
Faktor-faktor yang mempengaruhi Sudut kontak droplet (θ) dijelaskan sebagai berikut:

1. Molekul hydrocarbon mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan

Susunan molekul hydrokarbon akan berpengaruh pada viskositas.

Kontak permukaan yang terjadi pada hydrocarbon akan mempengaruhi intermolecular forces. Semakin banyak kontak permukaan pada molekul akan meningkatkan intermolecular forces.

Percabangan pada hidrokarbon juga berpengaruh pada viskositas. Pada molekul hidrokarbon yang bercabang, kemungkinan terjadi kontak permukaan akan lebih besar.



2. *Surface tension*, yang dipengaruhi oleh Ikatan antara molekul liquid dan dipengaruhi oleh temperatur.

Tabel 3 2 Surface tension pada beberapa jenis *fatty acid*

TABLE 1
Surface Tension of Fatty Acids and Triglycerides

Temperature (°C)	Surface tension (dynes-cm ⁻¹)					
	Lauric (C _{12:0})	Myristic (C _{14:0})	Palmitic (C _{16:0})	Oleic (C _{18:1})	Tricaprylin	Tripalmitin
20				32.79	30.04	
30				32.12	29.46	
40				31.90	28.81	
50				31.04	28.13	
60	27.40			30.21	27.18	
70	26.51	27.86	28.20	29.60	26.43	28.85
75	25.97	27.41	27.85			28.68
80	25.64	27.15	27.57	29.29	25.60	28.28
85		26.83	27.36			27.95
90	24.85	26.53	27.04	28.56	25.48	27.72
Data reported in the literature (5-7)						
20				32.5	25.68	
40					24.44	
60	27.3				23.19	
70	26.6	27.4	28.2			
80	25.8	26.6	27.5		21.95	23.85
90	24.8	25.6	26.7			

Sumber : (Chumpitaz, Coutinho, & Meirelles, 1999)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Chumpitaz, Coutinho, & Meirelles, 1999), terbukti bahwa temperatur berpengaruh pada tegangan permukaan. Hubungan antara temperatur dan tegangan permukaan ialah :

$$\sigma = \sigma_0(1-T/T_c)^n \tag{3-2}$$

di mana :

σ ialah *surface tension* (dyne/cm)

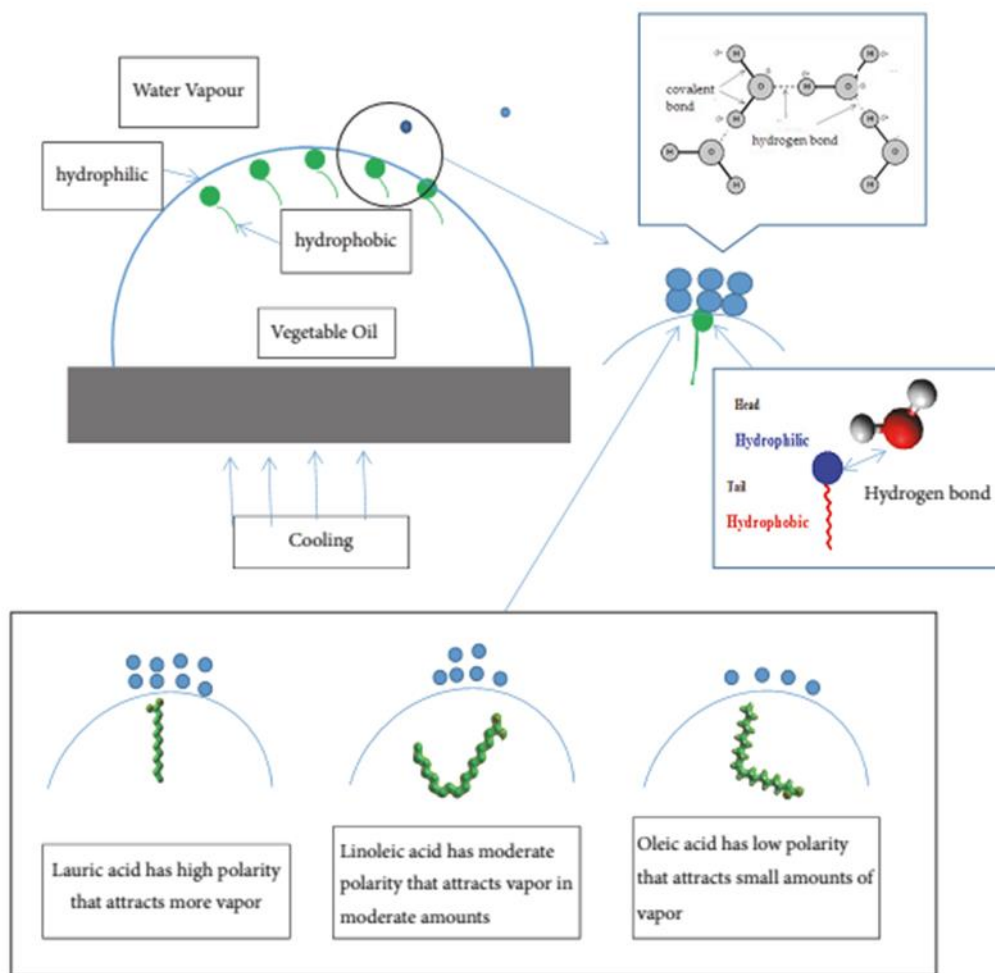
T ialah temperatur (K)

T_c ialah temperatur kritis
 σ_0 dan n ialah parameter untuk *fitting* antara data eksperimen ke
 temperatur

3. Ikatan Van der Walls pada bidang batas fase *liquid-solid-gas*

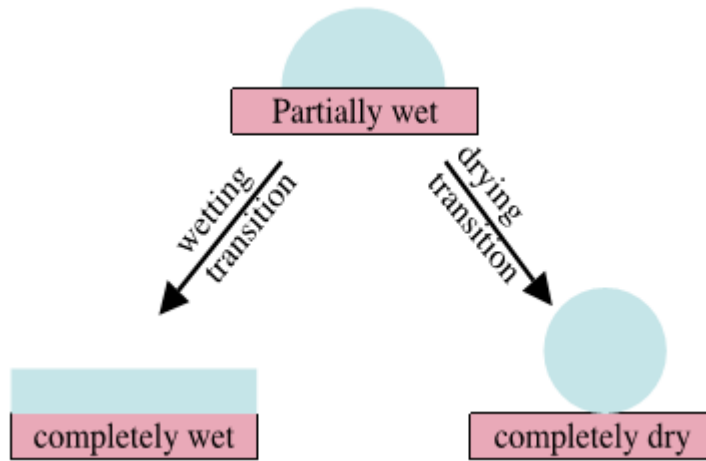
Ikatan Van der walls pada bidang batas sangat berpengaruh pada bentuk
droplet. Bidang batas ketiga fase tersebut disebut *macroscopic contact line* (MCL).

Pada bidang ini, terjadi perubahan tekanan pada *droplet*. Pada *droplet*
 memperoleh tekanan yang cukup besar dari droplet sendiri. Sedangkan pada bidang
 batas, tekanan oleh udara lebih besar daripada tekanan oleh *droplet*-nya (karena
 bidang batas terdiri dari lapisan tipis).



Gambar 3- 2 *intermolecularforce* pada *droplet*

Sudut kontak pada *droplet* mempengaruhi *Wettability*. Bagian bawah *droplet* akan mengalami tarik menarik dengan substrate. Sehingga bentuk *droplet* akan berpengaruh terhadap *wettability*.



Gambar 3- 3 jenis-jenis *wetting*

Sumber: (Bonn, Eggers, Indekeu, Meunier, & Rolley, 2009)

3.3 Hipotesa

Semakin panjang rantai karbon dan semakin banyak cabang, sudut kontak θ yang terbentuk semakin kecil pada temperatur normal. Akibat perubahan temperatur, akan terjadi perubahan viskositas sehingga bentuk *droplet* akan mengalami perubahan.

Perubahan viskositas dipengaruhi oleh getaran molekul pada minyak nabati.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*) dengan mengamati karakteristik pendinginan droplet minyak nabati

4.2 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan yaitu mengamati hasil pendinginan droplet minyak nabati pada permukaan kaca. Pendinginan dilakukan dengan kecepatan konstan. Adapun variabel yang diamati adalah:

1. Variable bebas

variabel bebas pada penelitian ini adalah

Jenis minyak nabati yaitu *coconut oil*, *jathropa oil*, dan *sunflower oil*.

Minyak nabati ini dipilih karena masing-masing memiliki komponen yang berbeda. *Jathropa oil* memiliki kandungan terbesar oleic acid yang merupakan *monounsaturated fatty acid*. *Sunflower oil* dipilih karena mengandung Linoleic Acid yang merupakan *polyunsaturated fatty acid*. *Coconut oil* dipilih karena mengandung Lauric Acid yang merupakan *saturated fatty acid*.

2. Variable terikat: Sudut kontak

4.3 Instalasi dan Langkah langkah Penelitian

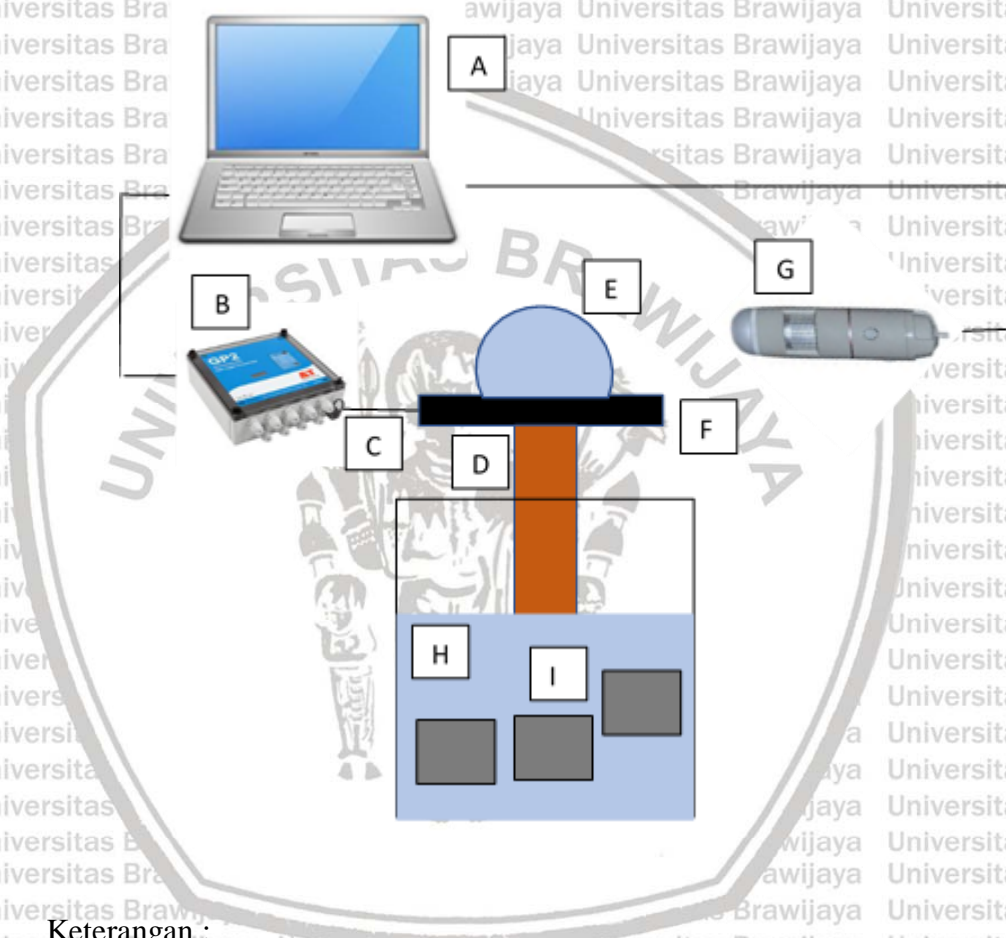
Dalam penelitian ini yang diharapkan ialah terjadinya laju pendinginan dengan kecepatan yang cukup. Kecepatan pendinginan yang konsisten akan mempermudah kamera merekam perubahan sudut kontak.

Persiapan penelitian dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan. Sejumlah 250mL ethylene glykol dimasukkan ke dalam gelas ukur. Termokopel dihubungkan antara tembaga pendingin dan datalogger. Termokopel harus tersambung juga dengan komputer.

Setelah siap, maka minyak nabati sebanyak 1 tetes di letakkan di permukaan kaca. Kaca diletakkan pada permukaan tembaga silinder. Mikroskop diset hingga

memperoleh gambar terbaik, dengan perbesaran 250x. Siapkan es kering dengan berat masing-masing 5 gr.

Setelah siap, maka proses perekaman bisa dimulai. Pendinginan dimulai dengan memasukkan 5 gr es kering tiap interval 90 detik. Sebelum memasukkan es kering untuk pertama kali, tombol start untuk perekaman data mikroskop dan perekaman temperatur oleh datalogger harus dimulai.



Keterangan :

- A = Komputer
- B = Data logger
- C = termokopel
- D = tembaga
- E = Droplet
- F = kaca
- G = mikroskop digital
- H = ethylene glykol
- I = es kering

Gambar 4- 1 Instalasi Penelitian

Setelah data diperoleh, data berupa temperature dan waktu dari datalogger *didownload* dalam format csv atau xls. Sedangkan data berupa video diolah dengan

software GOM Player. Video dipecah-pecah menjadi ratusan gambar dengan interval perubahan temperatur 3 celcius. Tiap gambar akan diolah dengan software image J untuk diukur sudut kontakannya. Kemudian keseluruhan data dijadikan dalam sebuah frame berupa grafik dengan software MS excell.

4.4 Alat dan bahan penelitian

Objek penelitian yang berupa minyak kelapa, minyak bunga matahari, dan minyak jarak.

Alat dan bahan lainnya yang dipakai dalam penelitian ini adalah

1. Gelas ukur



Gambar 4- 2 Gelas Ukur

Digunakan sebagai alat untuk mengukur ethylene glykol yang akan dipakai untuk merendam *dry ice* sehingga pendinginannya merata.

2. Alat pembentuk droplet

Digunakan untuk membentuk droplet minyak nabati. Kemampuannya membuat droplet 1 mL



Gambar 4- 3 Pembentuk droplet

3. *Thermocouple*

Alat ini adalah sensor yang digunakan untuk mengukur perubahan temperatur pada ruang pendinginan. Jenis tipe adalah tipe T dengan rentang suhu pengukuran antara -400-400 °C



Gambar 4- 4 Thermocouple

4. Tembaga silinder

Berfungsi untuk penghantar suhu dingin. Tembaga yang dipakai berupa silinder berdiameter 1 inch, dengan lubang tembus didalamnya berdiameter 0,5 inch.



Gambar 4- 5 Tembaga silinder

5. Ethylene glykol

Ethylene glykol berfungsi untuk merendam *dry ice* agar temperaturnya bisa sampai di tembaga. Ethlene glykol yang dipakai berkadar 90%.



Gambar 4- 6 Ethylene Glykol

6. *Dry ice*

Digunakan sebagai bahan pendingin. *Dry ice* dipilih karena memiliki kemampuan untuk mendinginkan benda hingga temperatur dibawah nol derajat celcius.



Gambar 4- 7 *Dry ice*

7. *Data Logger*

Digunakan untuk mengubah data *analog* dari *thermocouple* menjadi data *digital* agar dapat dibaca melalui laptop/komputer. Data logger ini bermerk Advantech dengan tipe produk USB-4718



Gambar 4- 8 *Data Logger*

8. Komputer

Digunakan untuk membaca, menyimpan dan mengolah data *digital* yang didapatkan dari *data logger*.

9. Mikroskop

Digunakan untuk merekam proses terjadinya pendinginan hingga pembekuan minyak nabati. Mikroskop yang dipakai merk Dyno lite, dengan perbesaran maksimal 250x.



Gambar 4- 9 Mikroskop Digital

10. Timbangan

Digunakan untuk mengukur banyaknya *dry ice* yang dipakai sebagai media pendinginan. Timbangan yang dibutuhkan berkapasitas maksimal 10 gr, dengan tingkat ketelitian 0,1 gr.



Gambar 4- 10 Timbangan

11. Software image J

Digunakan untuk mengukur sudut dan dimensi lain dari mikroskop digital.

4.5 Rancangan penelitian

Table pengambilan data yang dilakukan seperti pada table dibawah ini

Jenis Minyak		
Waktu	Sudut Kontak	Temperature

4.6 Minyak Nabati

4.6.1 Minyak Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar merupakan tanaman dengan berbagai potensi pemanfaatan. Umumnya pemanfaatannya berkaitan dengan bio fuel. Tumbuhan jarak pagar dapat tumbuh pada daerah dengan curah hujan rendah hingga tinggi. (Luna, et al., 2010)



Gambar 4- 11

Sumber : (Luna, et al., 2010)

Menurut penelitian, Biji jarak pagar dapat menghasilkan minyak hingga sebesar 27-40%. Asam lemak jenuh yang sering ditemui pada minyak jarak pagar

ialah asam palmitat dan asam stearat. Sedangkan asam lemak tak jenuh yang sering ditemui adalah asam oleat, asam linoleat dan asam linolenat (Meher, *et al.* 2013).

Komposisi asam lemak penyusun minyak jarak pagar dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4- 1 Komposisi Asam Lemak pada Minyak Jarak Pagar

Asam Lemak	Rumus Molekul	Ikatan Rangkap Karbon	Berat Molekul %
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	18 : 1	34.3-45.8
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	18 : 2	29.0-44.2
Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	18 : 3	0-0.3
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	16 : 0	14.1-15.3
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	18 : 0	3.7-9.8

Sumber: (Gubitz, *et al.* 1999)

4.6.2 Minyak Bunga Matahari (*Sunflower Oil*)

Sunflower oil diperoleh dari tanaman *Heliantus Annus L.* *Crude sunflower oil* berwarna terang. *Refined sunflower oil* berwarna kuning seperti umumnya minyak lainnya. (O'Brien, 2009).

Sunflower oil terdiri dari berbagai varian, dengan masing-masing varian memiliki kadar asam lemak yang berbeda. (Gotor & Rhazi, 2016) Umumnya *sunflower oil* memiliki kadar linoleic acid yang tinggi. Beberapa varian tertentu memiliki kadar Oleic yang tinggi, ada juga yang memiliki kadar stearic acid dan oleic acid yang tinggi. Karena sifat-sifatnya tersebut, *sunflower oil* banyak diteliti untuk dipakai sebagai bahan pangan, kosmetik, biodiesel dan *lubricant*. Pada minyak bunga matahari ditemui beberapa kandungan yang dibutuhkan untuk kesehatan manusia, seperti tocopherols, phytosterols, dan polyphenols.

Tabel 4- 2 Kadar Asam Lemak pada *Sunflower Oil*

Fatty acid	Regular SO	HOSO	MOSO	HSHOSO	HPHOSO
C16:0	5.0–7.6	2.6–5.0	4.0–5.5	6	29
C18:0	2.3–4.0	2–4.0	3.0–5.0	21	1.7
C20:0	0.1–0.5	0.2–0.5	0.2–0.4	0.2	/
C22:0	0.3–1.5	0.5–1.6	0.6–1.1	0.4	/
C24:0	ND–0.5	ND–0.5	0.3–0.4	ND	/
C18:1	14.0–39.4	75.0–90.7	43.1–71.8	69	53–57
C18:2	48.3–74.0	2.1–17.0	18.7–45.3	4	2.1–4.3

Data from Fernández-Moya *et al.*, 2006; Ghazani and Marangoni, 2013; Gunstone, 2011; Marmesat *et al.*, 2008; O'Brien, 2009; ND = Non Detectable; SO = Sunflower Oil; HOSO: High Oleic Sunflower Oil, MOSO = Mid Oleic Sunflower Oil; HSHOSO = High Stearic High Oleic Sunflower Oil; HPHOSO = High Palmitic High Oleic Sunflower Oil.

Sumber: (Gotor & Rhazi, 2016)

4.6.3 Minyak Kelapa (*Crude Coconut Oil*)

Minyak kelapa di ekstrak dari biji kopra yang dikeringkan sehingga dapat menghasilkan minyak dengan kadar rata rata 68-70% (Chinnamma et al, 2015). Minyak kelapa memiliki penampilan seperti kristal padat berwarna putih pada temperature dibawah 20 °C. Minyak kelapa mengandung rantai asam lemak pendek dalam jumlah yang sangat besar seperti asam capric, asam laurat, asam caprylic, dan asam miristic. Asam tersebut menyebabkan angka cetane tinggi, dan stabilitas oksidasinya lebih baik daripada asam lemak tak jenuh (Zarska, 2014). Kandungan asam lemak yang dimiliki minyak kelapa mengandung rantai pendek dan panjang asam lemak dengan 93% lemak jenuh dan sisanya adalah asam lemak tak jenuh. Untuk rantai pendek yang dimiliki yaitu laurat 47.2%, miristat 19.42%, caprilat 8.21%, dan caprat 5.59 %.

4.7 GC MS

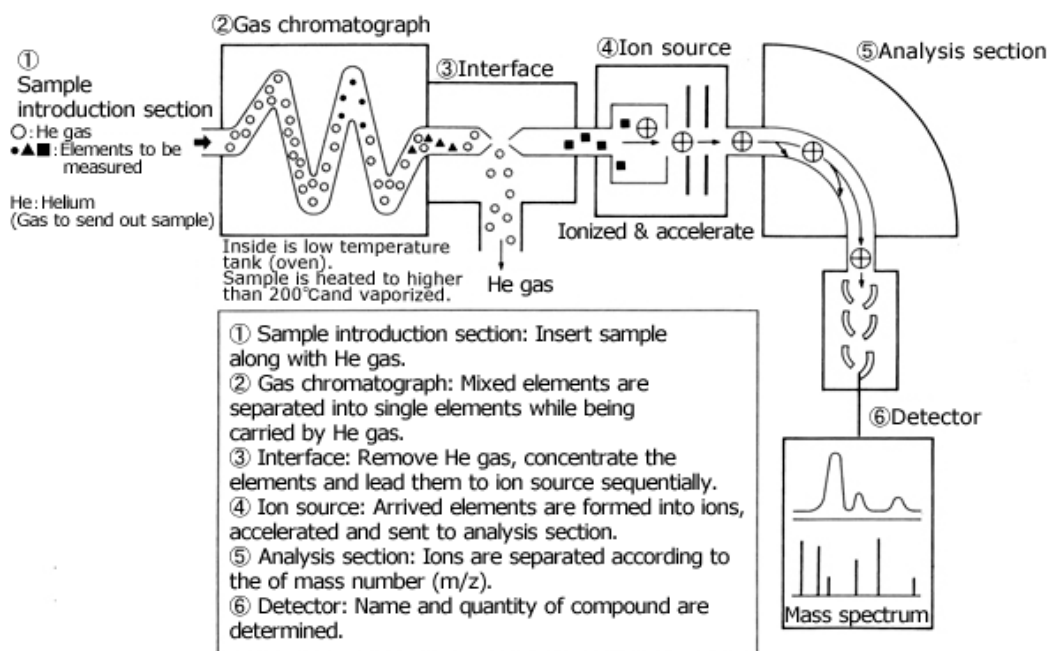
Gas Chromatography (GC) adalah metode analitis yang sangat populer saat ini. Metode GC diyakini sangat powerful, tidak mahal, dan mudah digunakan. Mixture Material yang akan dianalisis diinjeksikan kedalam aliran gas inert dan didorong dalam *coated tube*. Interaksi absorptive antara inert gas dengan lapisan coating menyebabkan pemisahan komponen material mixture. (McMASTER, 2008)

Mass Spektrometer (MS) mengambil material yang diinjeksikan, mengionisasikan secara vakum, fokus pada ion dan produk pemisahan melalui magnetic mass analyzer. Kemudian mengumpulkan ion tersebut pada detektor.

Mass spektrometer diyakini para peneliti cukup baik untuk meneliti struktur *single compound*, tapi tidak untuk yang sifatnya *mixture*.

Kombinasi GC dan MS membentuk instrument yang kapabel untuk memisah material *mixtures* menjadi komponen individu, mengidentifikasi, dan menyediakan hasil kuantifikasi dan kualifikasi material tersebut.

Pada penelitian ini GC MS digunakan untuk mengidentifikasi asam lemak yang dikandung masing-masing minyak nabati.



Gambar 4- 12 Cara kerja GC MS

Sumber: (JEOL, 2018)

4.8 Pengukuran Viskositas

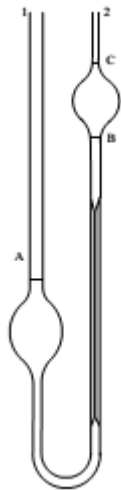
Viskositas ialah sifat fluida untuk resist (bertahan) pada saat bergeser (*shear*). Masing-masing minyak nabati memiliki konstituen yang berbeda-beda sehingga memiliki viskositas yang berbeda juga. Viskositas kinematic merupakan perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas fluida. (Cundiff, 2002)

Untuk mengukur viskositas fluida ada beberapa alat, yaitu :

(VISWANATH, GHOSH, PRASAD, DUTT, & RANI, 2007)

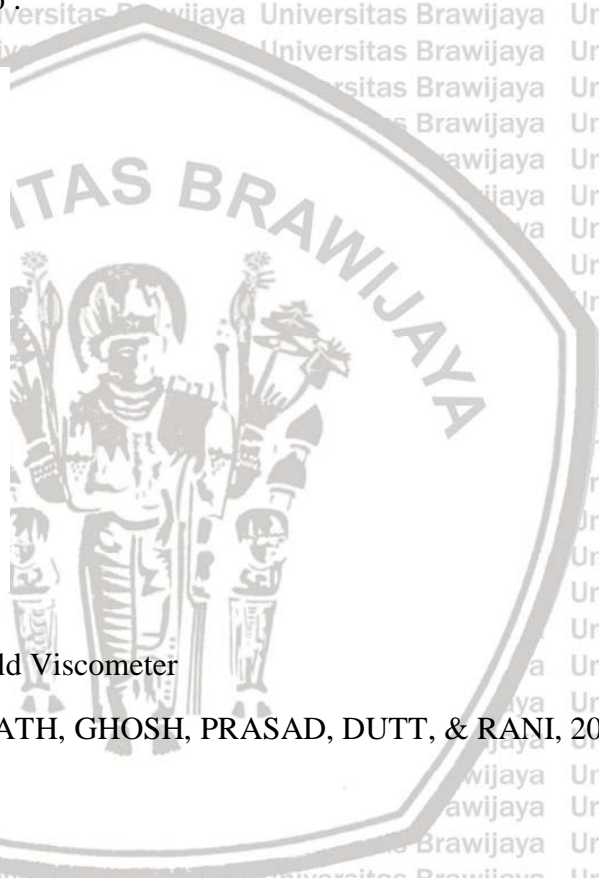
1. *Capillary viscometers*
2. *Orifice viscometers*
3. *High temperature high shear rate viscometers*
4. *Rotational viscometers*
5. *Falling ball viscometers*
6. *Vibrational viscometers*
7. *Ultrasonic viscometers*

Pada penelitian ini, digunakan alat ostwald viscosity capillary viscometer dengan ASTM D 446 .



Gambar 4- 13 Ostwald Viscometer

Sumber : (VISWANATH, GHOSH, PRASAD, DUTT, & RANI, 2007)





BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Kandungan Asam Lemak

Untuk mengetahui peran *intermolekular force* pada masing masing *vegetable oil*, maka diperlukan informasi mengenai kandungan asam lemak yang terdapat pada masing-masing *vegetable oil*. Pengujian dilakukan dengan metode GCMS

Berdasar pengujian, diperoleh data sebagai berikut:

a. Kandungan asam lemak pada minyak jarak

Tabel 5- 1 Kandungan asam lemak pada minyak jarak

Jenis Asam Lemak	Persentase
Octadecanoic Acid	9,9
Oleic Acid	41,29
Linoleic Acid	33,55
Eicosenoic Acid	3,53

Dari tabel di atas tampak bahwa kandungan terbesar asam lemak pada minyak jarak ialah oleic acid ($C_{18}H_{34}O_2$) sebesar 41,29%. Oleic acid akan mempengaruhi sifat-sifat minyak jarak. Linoleic acid kadarnya 33,55% merupakan kandungan asam lemak yang terbanyak setelah Oleic Acid. Oleic Acid dan Linoleic Acid keduanya merupakan *unsaturated fatty acid*. Linoleic Acid tergolong *doubly fatty acid*. Minyak jarak juga mengandung Octadecanoic Acid sebanyak 9,9% dan Eicosenoic Acid sebesar 3,53%. Octadecanoic Acid ($C_{18}H_{36}O_2$) yang sering juga disebut Stearic acid merupakan *saturated fatty acid*. Sedangkan Eicosenoic Acid ($C_{20}H_{38}O_2$) biasanya juga dikenal dengan Gondoic Acid, merupakan *Long-chain fatty acids*. (Pubchem, 2018)

b. Kandungan asam lemak pada minyak kelapa

Tabel 5- 2 Kandungan asam lemak pada minyak kelapa

Jenis Asam Lemak	Persentase
Butyric Acid	6,73
Octanoic Acid	6,44
Decanoic Acid	5,62
Lauric Acid	40,77
Tetradecanoic acid	13,36
Palmitic Acid	11,27
Oleic Acid	10,85

Dari tabel di atas tampak bahwa kandungan terbesar asam lemak pada minyak kelapa ialah lauric acid ($C_{12}H_{24}O_2$) sebesar 40,77%. Lauric Acid merupakan *saturated fatty acid* dengan 12-carbon atom *chain*. Sedangkan konstituen yang terbesar berikutnya ialah Tetradecanoic acid ($C_{14}H_{28}O_2$). Tetradecanoic acid yang juga sering dikenal dengan Myristid Acid merupakan *saturated long-chain fatty acid* dengan 14-carbon. Kandungan berikutnya ialah Palmitic Acid ($C_{16}H_{32}O_2$). Palmitic Acid merupakan *saturated fatty acid* yang biasa ditemukan di tumbuhan, hewan, dan mikroorganisma. Minyak kelapa juga mengandung Oleic Acid sebanyak 10,85%.

Selain itu, minyak kelapa mengandung Butyric Acid sebanyak 6,73%. Butyric Acid adalah $C_4H_8O_2$, yang merupakan *saturated short-chain fatty acid* dengan 4-carbon.

Konstituen lain dalam jumlah yang lebih kecil ialah Octanoic Acid (6,44%) dan Decanoic Acid (5,62%). Octanoic Acid ialah Octanoic Acid adalah *saturated medium-chain fatty acid* dengan 8-carbon. Octanoic acid yang biasa ditemukan secara natural di *milk of mammal*. Decanoic Acid ($C_{10}H_{20}O_2$) sering disebut dengan capric acid. Decanoic Acid merupakan . Asam lemak berwarna kuning mengkilap. Decanoic acid sering digunakan untuk sintesis organik, pembuatan parfum, obat-obatan, pelubrikasi, dan campuran karet.

c. Kandungan asam lemak pada minyak bunga matahari

Tabel 5- 3 Kandungan asam lemak pada minyak bunga matahari

Jenis Asam Lemak	Persentase
Palmitic Acid	6,27
Oleic Acid	22,35
Elaidic Acid	2,96
Linoleic Acid	66,19

Dari tabel di atas tampak bahwa kandungan terbesar asam lemak pada minyak bunga matahari ialah linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$) sebesar 66,19%. Linoleic Acid merupakan *polyunsaturated essential fatty acid*. Konstituen lainnya ialah Oleic Acid, Palmitic Acid, dan Elaidic Acid. Elaidic Acid ($C_{18}H_{34}O_2$) ialah *unsaturated fatty acid* yang sering digunakan untuk *pharmaceutical solvent*.

5.2 Pengujian Viskositas

Viskositas didefinisikan sebagai ketahanan fluida untuk bergerak / mengalir.

Secara umum viskositas dinyatakan sebagai rasio antara *shearing stress* terhadap *velocity gradient*. Sedangkan besaran kuantitas Viskositas kinematik merupakan perbandingan antara viskositas fluida terhadap densitasnya sendiri. Viskositas kinematis merupakan ukuran ketahanan mengalir fluida untuk mengalir akibat pengaruh gravitasi. (Elert, 2019)

Pengujian viskositas yang dilakukan dengan metode ASTM D446. Hasil yang diperoleh ialah viskositas kinematik masing-masing minyak nabati sebagai berikut:

Tabel 5- 4 Viskositas kinematik minyak nabati

Minyak Nabati	Viskositas Kinematik (Ns/m^2)
Minyak Jarak	0,0199
Minyak Bunga matahari	0,005525
Minyak Kelapa	0,0033

Dari tabel di atas tampak bahwa minyak jarak adalah minyak yang paling tinggi viskositasnya, disusul minyak bunga matahari dan minyak kelapa.

Viskositas dipengaruhi oleh struktur rantai karbon. Rantai karbon yang lebih panjang akan menyebabkan viskositas lebih tinggi.

5.3 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak jarak

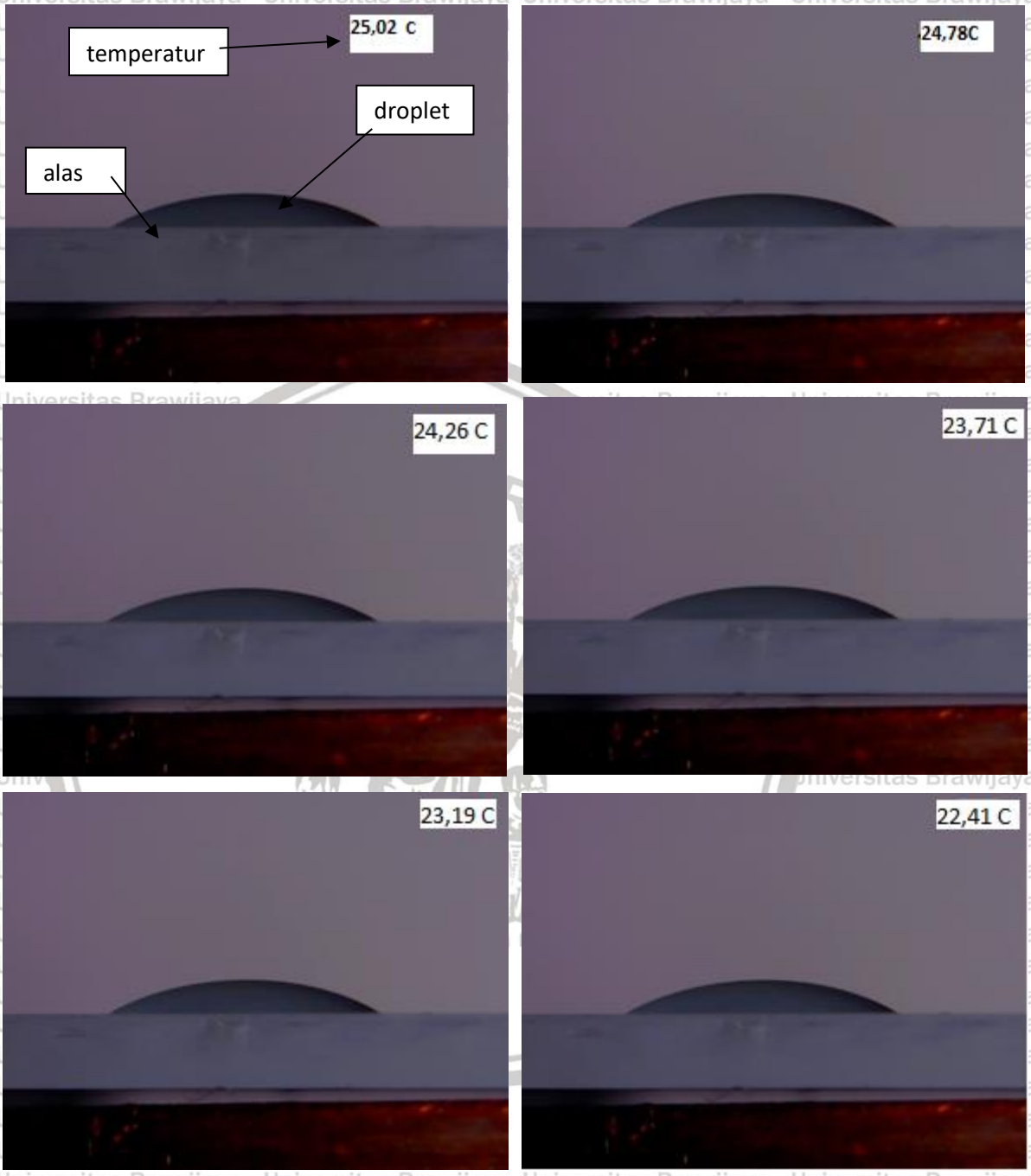
Dengan pendinginan hingga membeku, diperoleh data temperatur, dan sudut kontak sebagai berikut:

Tabel 5- 5 Data temperatur vs sudut kontak minyak jarak

Temperature (C)	Sudut kontak	Temperature (C)	Sudut kontak
25,02	20,66	11,48	18,43
24,78	21,95	11,04	18,19
24,26	21,8	10,62	17,45
23,71	22,68	10,11	17,05
23,19	23,2	9,42	16,07
22,41	22,83	8,94	15,95
21,57	22,8	8,54	15,14
20,75	22,8	7,94	15,59
19,93	23,75	7,28	15,95
19,19	23,78	6,72	14,18
18,13	22,96	6,19	15,4
17,31	22,22	5,56	15,12
16,53	22,44	4,85	16,48
15,72	22,89	4,28	17,65
14,81	23,72	3,93	16,7
13,96	24,38	3,48	15,71
13,33	22,62	3,03	15,78
12,66	20,89	2,51	15,57
12,06	19,57		

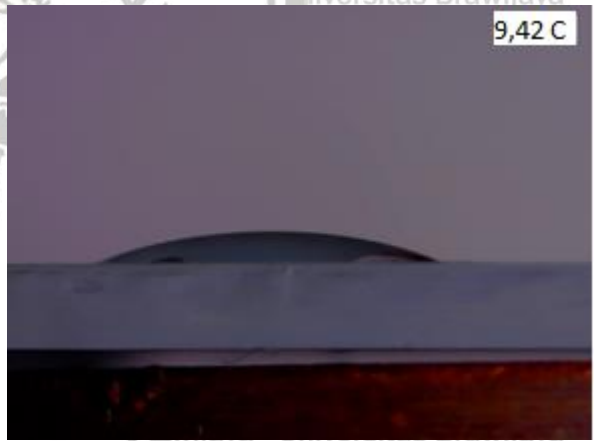
Dari tabel di atas menunjukkan bahwa sudut kontak awalnya sekitar 20,66⁰ pada 25,02°C. Kemudian sudut kontak meningkat hingga 24,38⁰ pada 13,96°C. Kemudian menurun hingga 14,18⁰ pada 6,72°C. Selanjutnya naik hingga 17,65⁰ pada 4,28°C. Kemudian menurun lagi hingga 15,57⁰ pada 2,51°C.

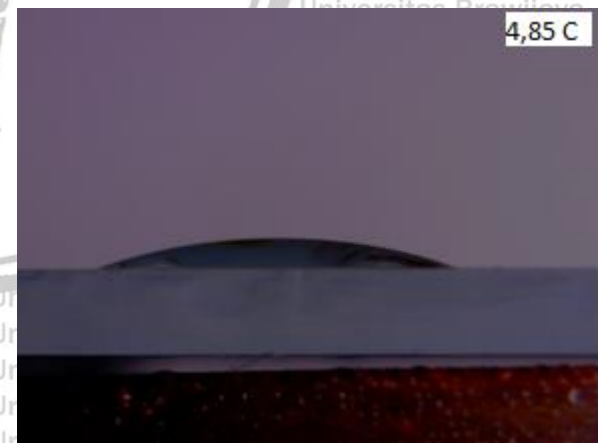
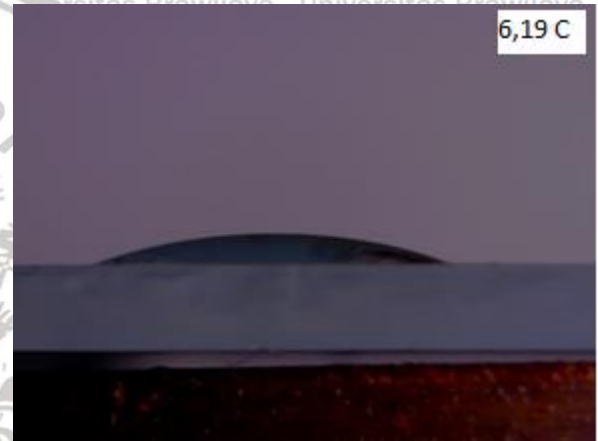
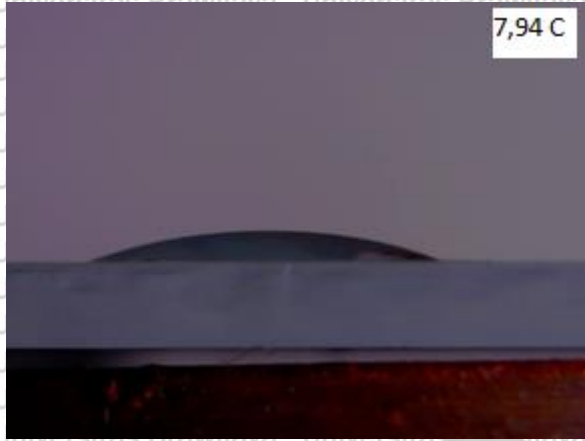
Pada percobaan ini, terlihat bentuk permukaan *droplet* minyak jarak sebagai berikut:

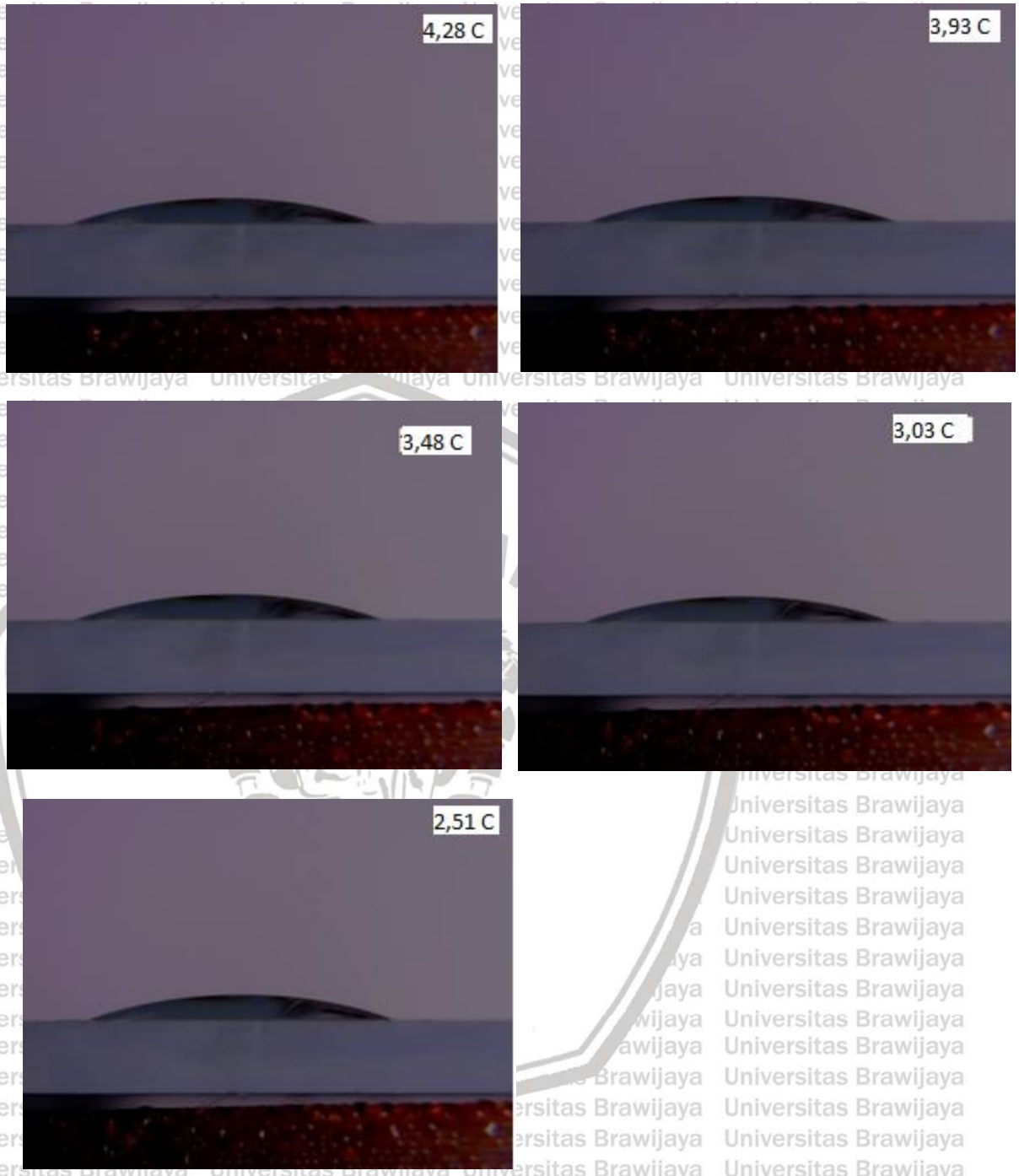










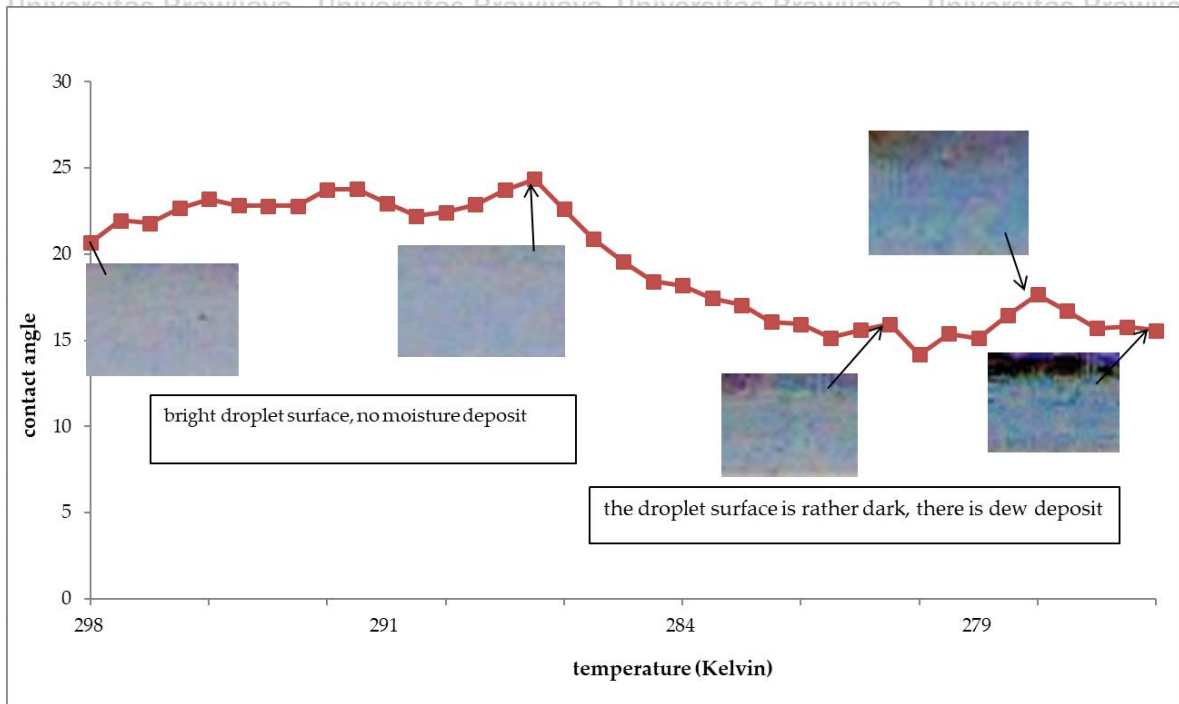


Gambar 5- 1 Bentuk *droplet* minyak jarak selama pendinginan

Droplet minyak nabati selama proses pendinginan mengalami perubahan baik sudut kontak maupun permukaannya. Pada temperatur sekitar 12,66°C, tampak

terlihat adanya perubahan permukaan yang diakibatkan oleh menempelnya uap air pada permukaan *droplet*.

Secara grafis, perubahan sudut kontak dan permukaan droplet minyak jarak ialah sebagai berikut:



Gambar 5- 2 Grafik temperatur vs sudut kontak droplet minyak jarak

Dari grafik di atas tampak bahwa sudut kontak cenderung meningkat secara perlahan pada temperatur hingga 13,96°C. Kemudian sudut kontak menurun tajam hingga temperatur 6,72°C. Setelah itu naik sedikit saja hingga temperatur 4,28°C.

Setelah itu menurun kembali.

5.4 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak bunga matahari

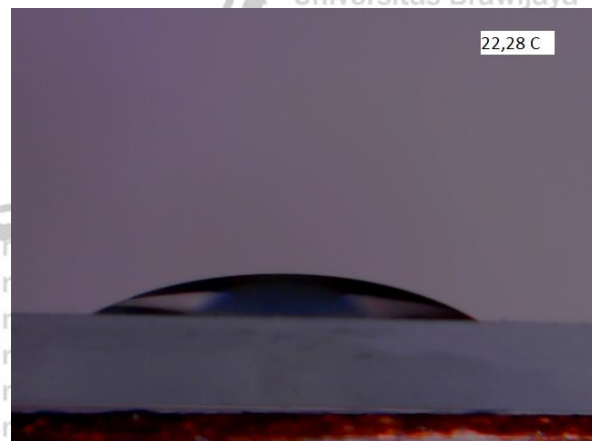
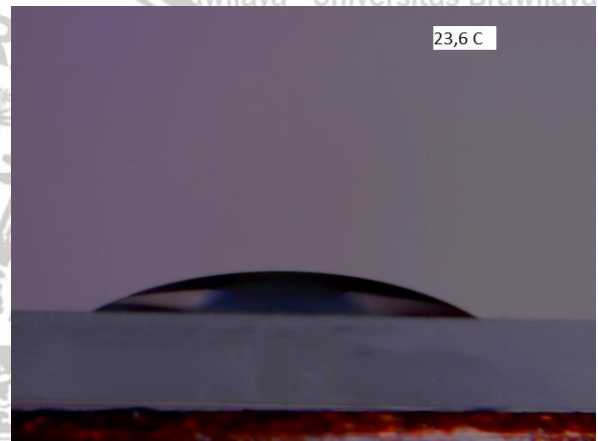
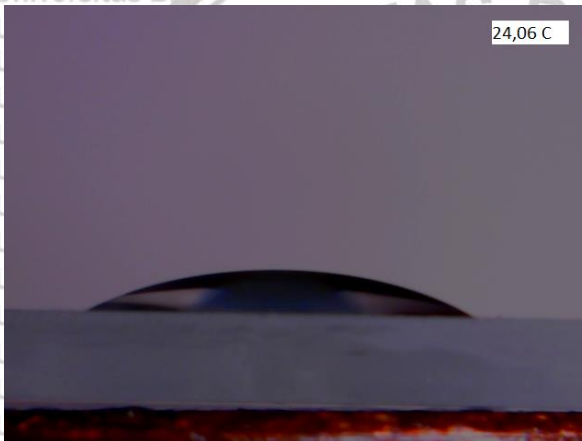
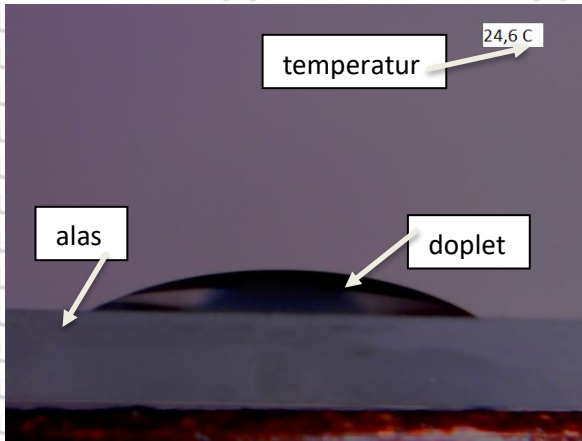
Dengan pendinginan hingga membeku, diperoleh data temperatur, dan sudut kontak sebagai berikut:

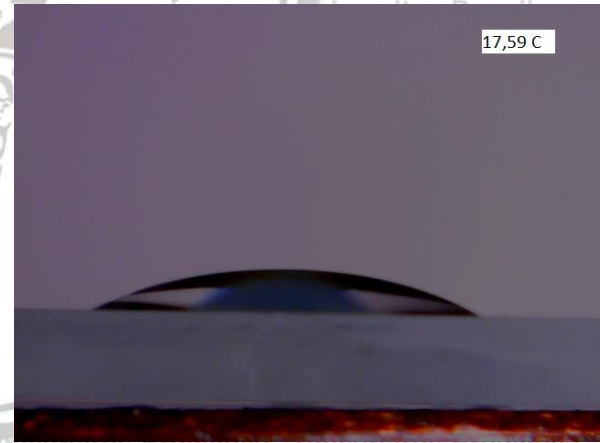
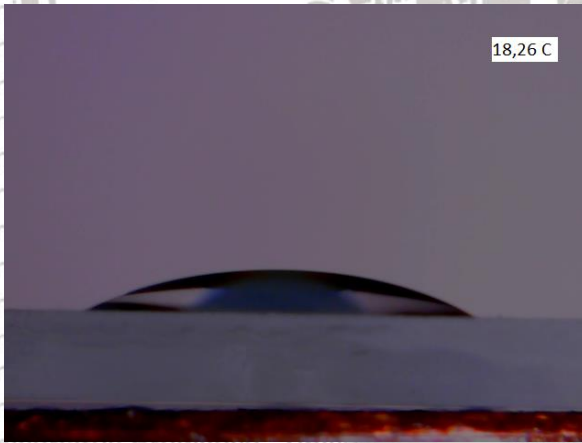
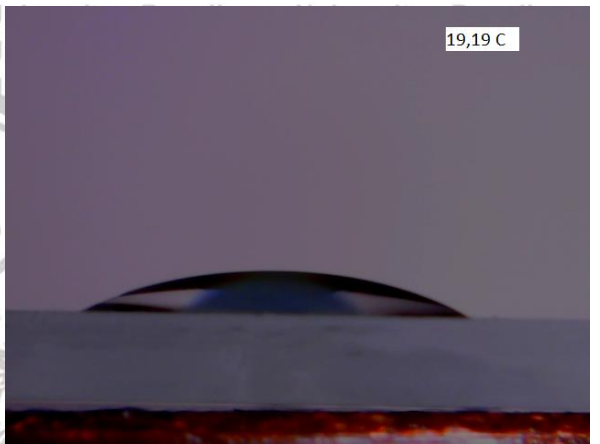
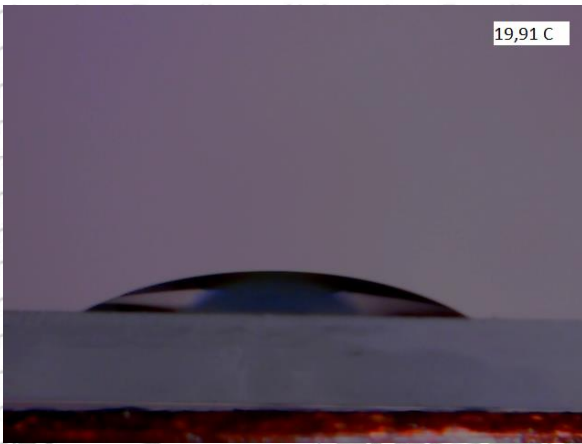
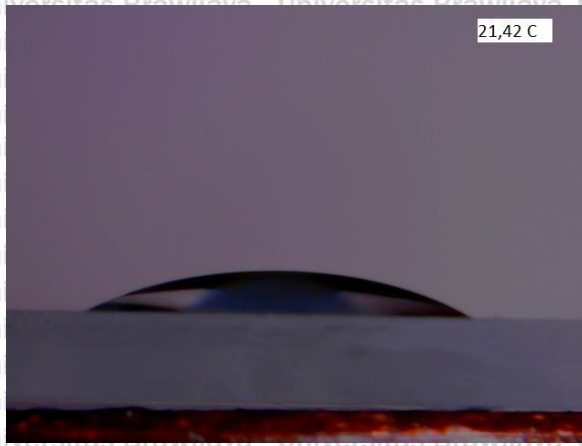
Tabel 5- 6 Data temperatur vs sudut kontak minyak bunga matahari

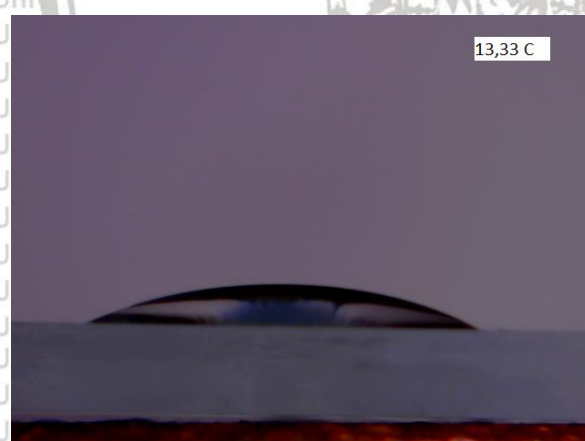
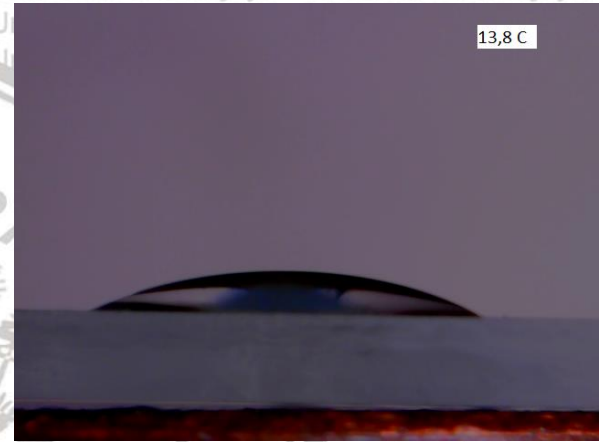
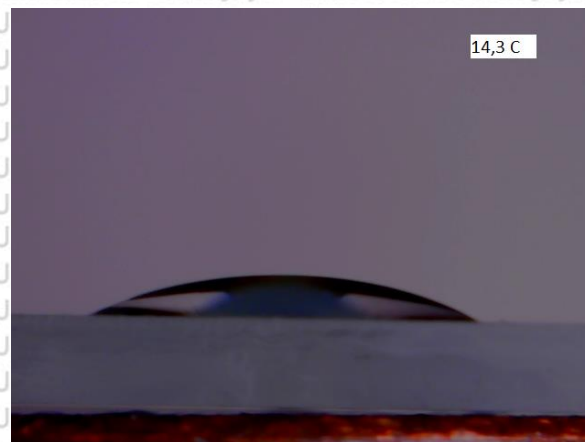
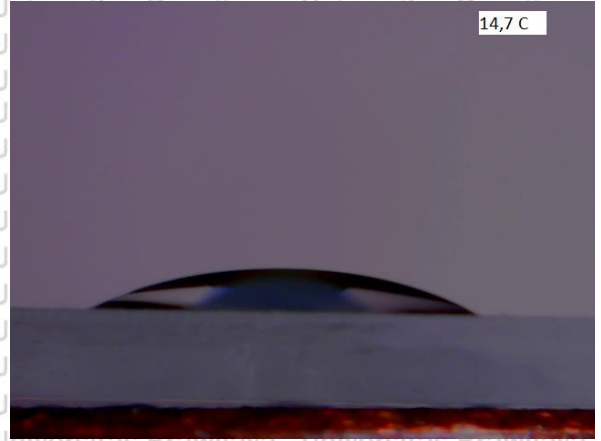
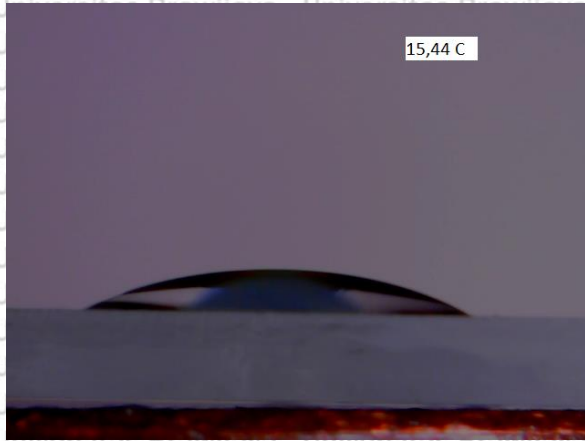
Temperature C	Sudut Kontak	Temperature C	Sudut Kontak
24,6	18,92	12,24	17,65
24,44	19,87	11,87	16,98
24,06	21,09	11,33	18,43
23,6	19,54	10,88	16,39
23,1	21,64	10,41	16,46
22,28	19,93	9,92	15,52
21,42	20,49	9,4	15,78
20,63	20,47	8,79	14,93
19,91	20,19	8,14	14,14
19,19	22,14	7,69	14,02
18,26	21,3	7,13	16,07
17,59	20,3	6,56	16,06
16,99	19,83	6,12	16,7
16,22	20,3	5,69	15,95
15,44	20,3	5,24	14,58
14,7	18,63	4,7	14,93
14,3	18,79	4,11	15,59
13,8	17,21	3,67	14,74
13,33	18,95	3,25	12,95
12,78	17,7	2,31	15,4

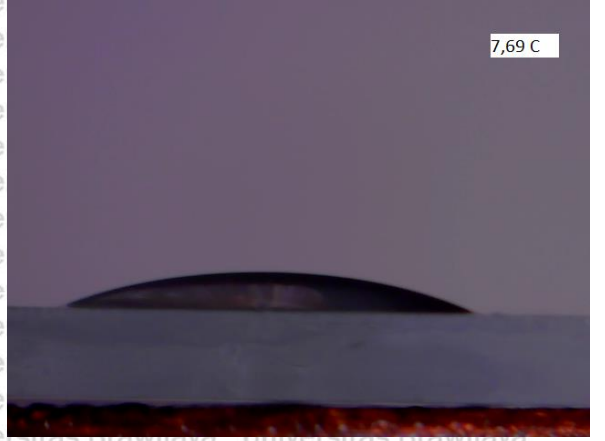
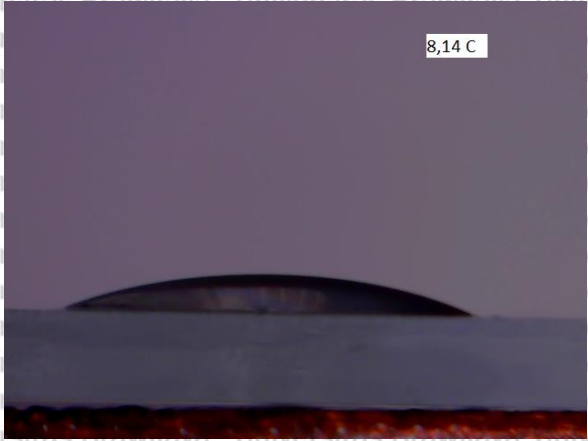
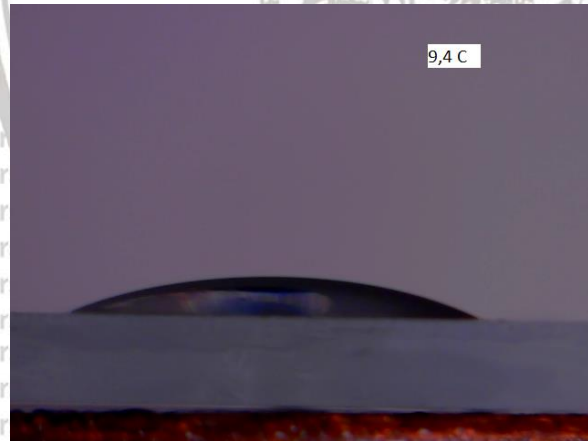
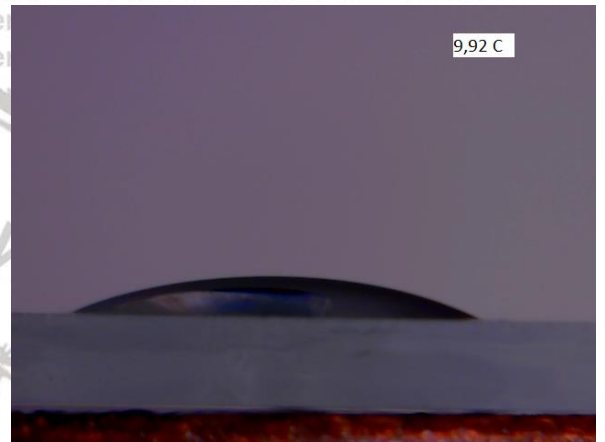
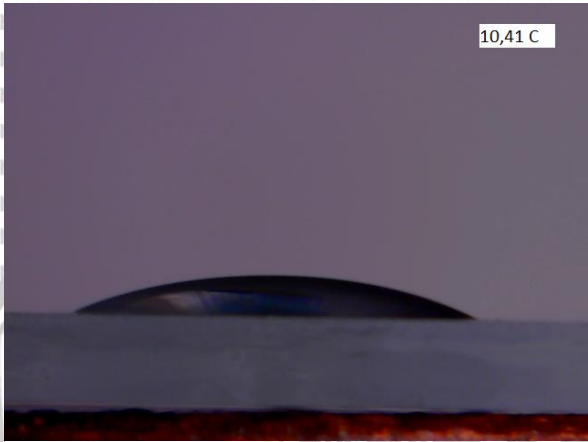
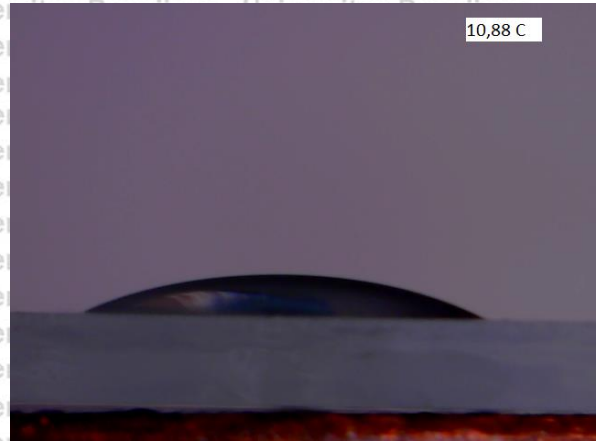
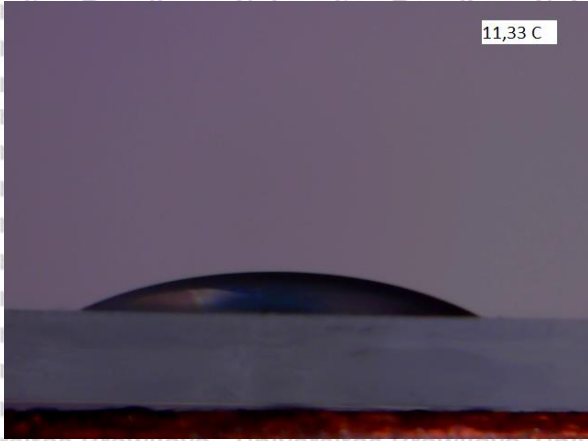
Dari tabel di atas menunjukkan bahwa sudut kontak awalnya sekitar 18,92⁰ pada 24,60°C. Kemudian sudut kontak meningkat hingga 22,14⁰ pada 19,19°C. Kemudian menurun hingga 14,02⁰ pada 7,69°C. Selanjutnya naik hingga 16,70⁰ pada 6,12°C. Kemudian menurun lagi hingga 12,95⁰ pada 3,25°C

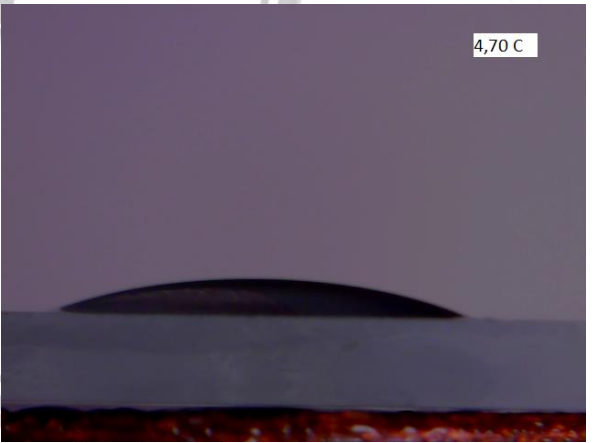
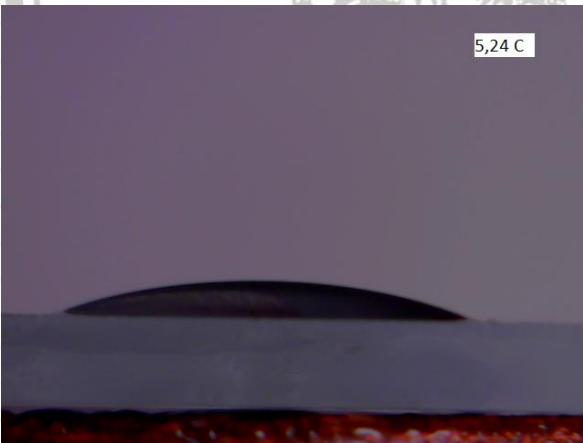
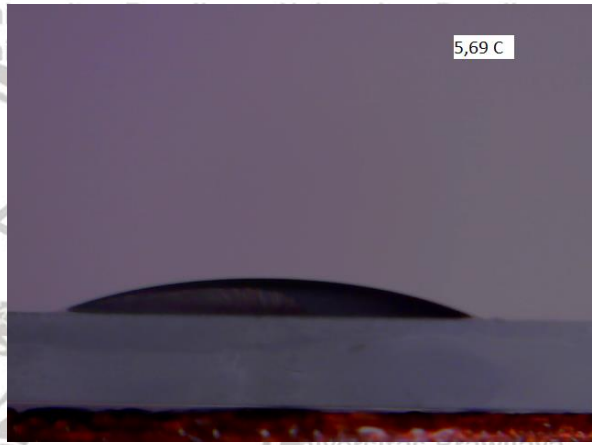
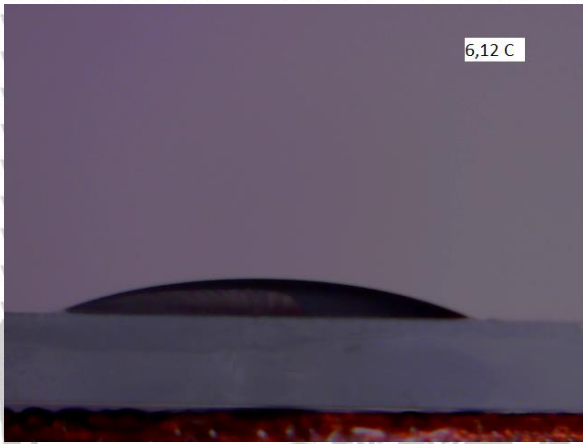
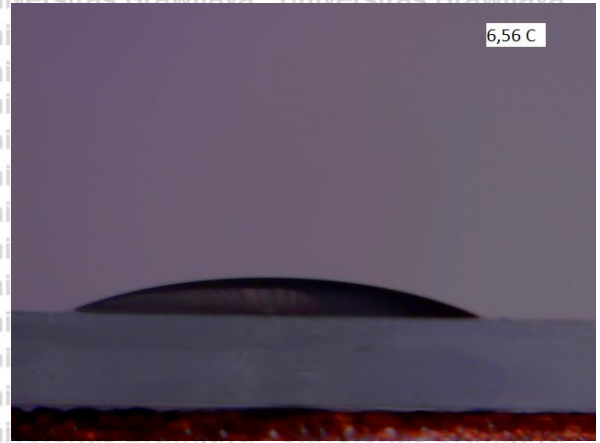
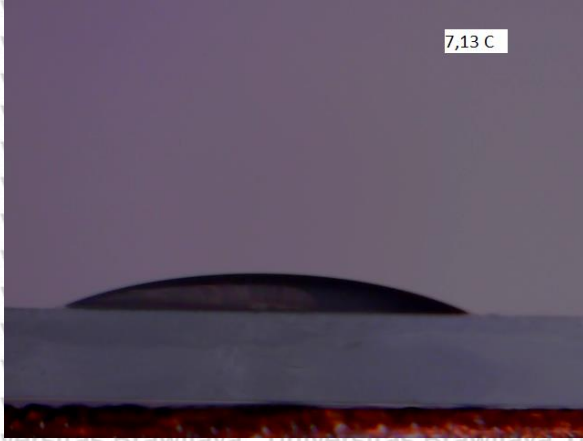
Pada percobaan ini, terlihat bentuk permukaan *droplet* minyak bunga matahari sebagai berikut

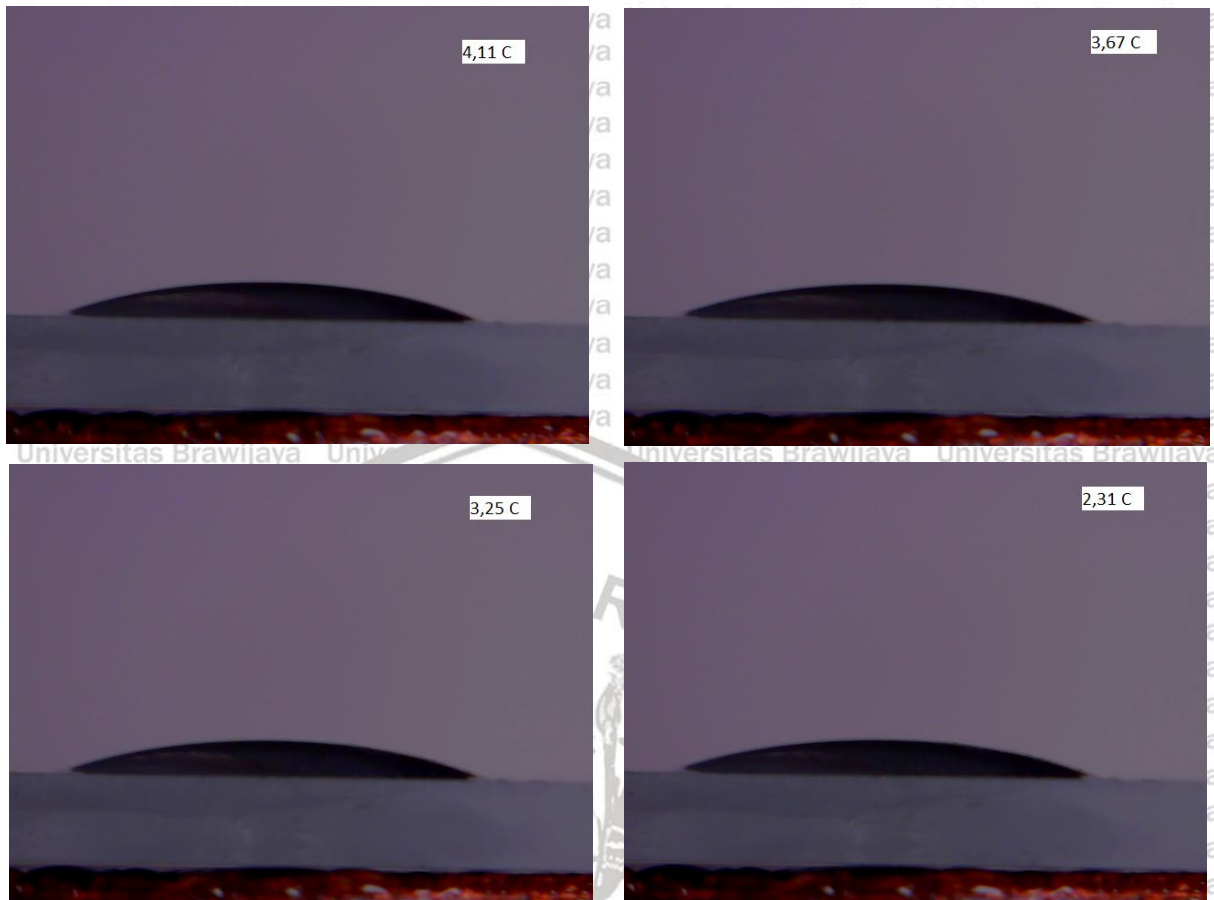








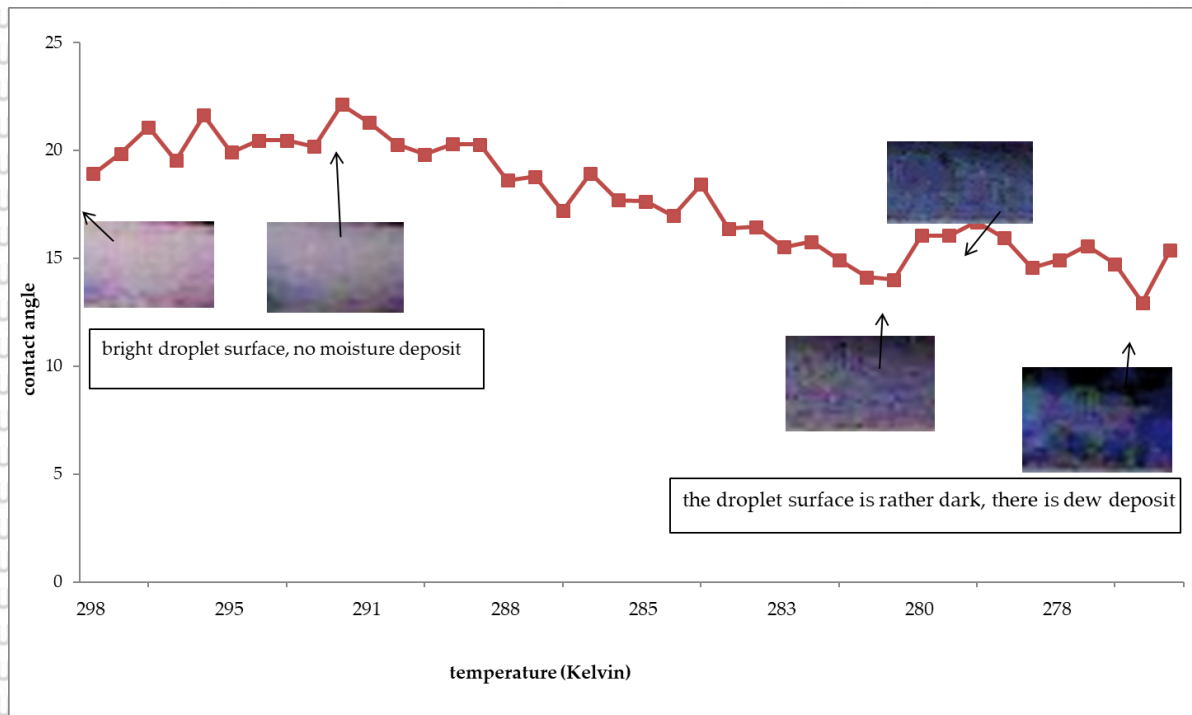




Gambar 5- 3 Bentuk *droplet* minyak bunga matahari selama pendinginan

Dari gambar di atas nampak bahwa pada temperatur sekitar 14°C uap air sudah sangat mengganggu permukaan *droplet*, meskipun sebenarnya pada sekitar 19°C telah terdapat uap air yang menempel.

Secara grafis, perubahan sudut kontak dan permukaan *droplet* minyak bunga matahari ialah sebagai berikut:



Gambar 5- 4 Grafik temperature vs sudut kontak droplet minyak bunga matahari

Dari grafik di atas nampak bahwa sudut kontak meningkat dari 18,92° pada temperatur sekitar 24,60°C menjadi 22,13° pada 19,19°C. Kemudian sudut kontak menurun sangat tajam menjadi 14,02° pada 7,69°. Setelah itu sudut kontak naik menjadi 16,70° pada 6,12° dan turun lagi menjadi 12,95° pada 3,25°C.

5.5 Hasil pengukuran sudut kontak pada minyak kelapa

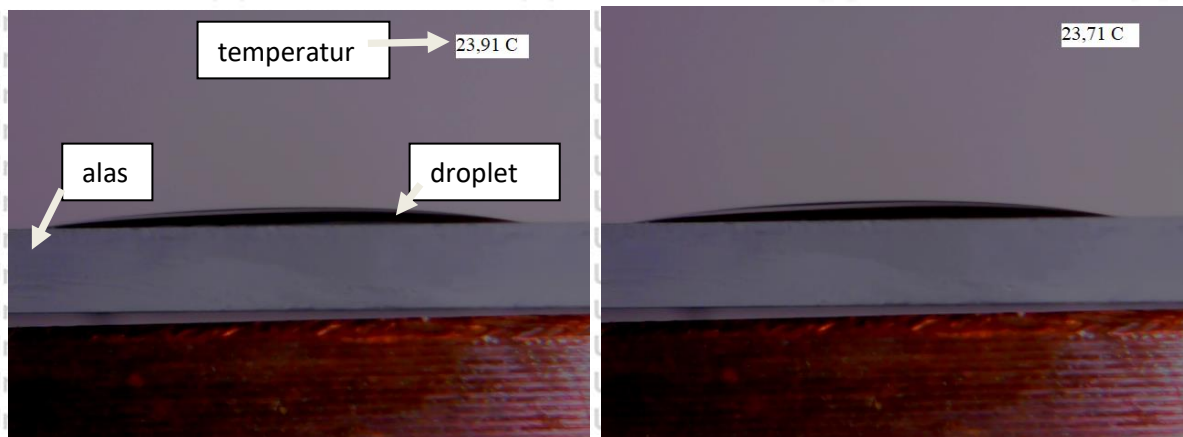
Dengan pendinginan hingga membeku, diperoleh data temperatur dan sudut kontak sebagai berikut:

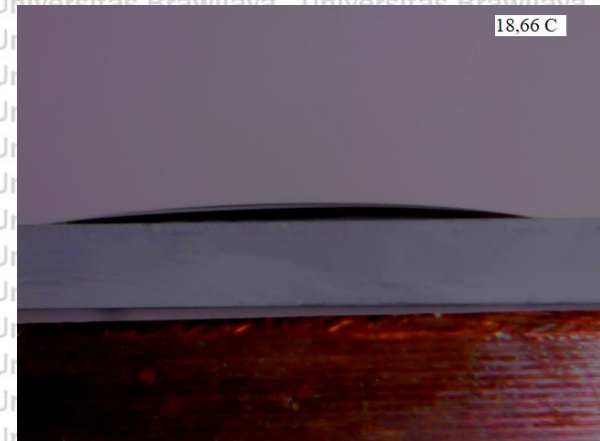
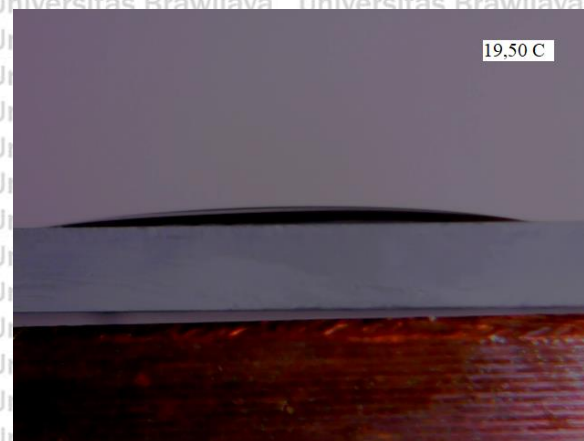
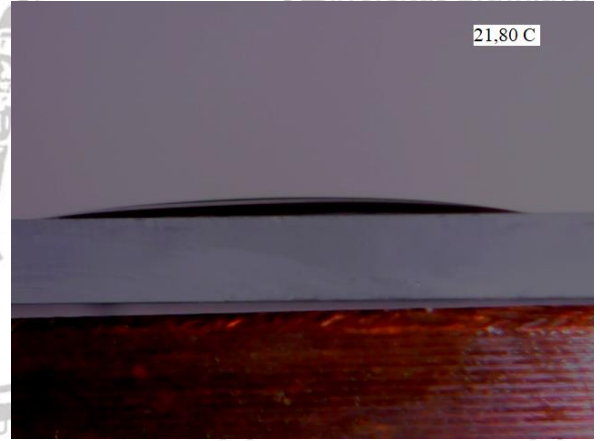
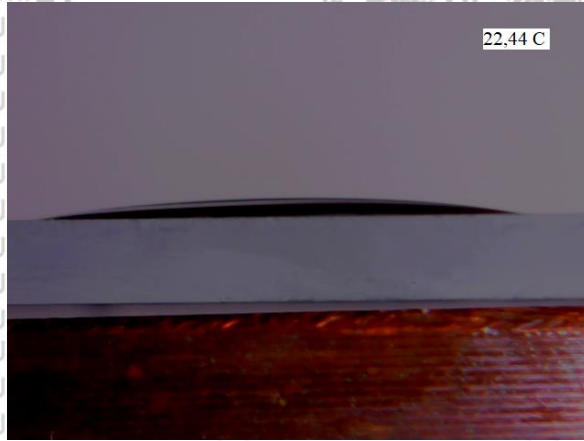
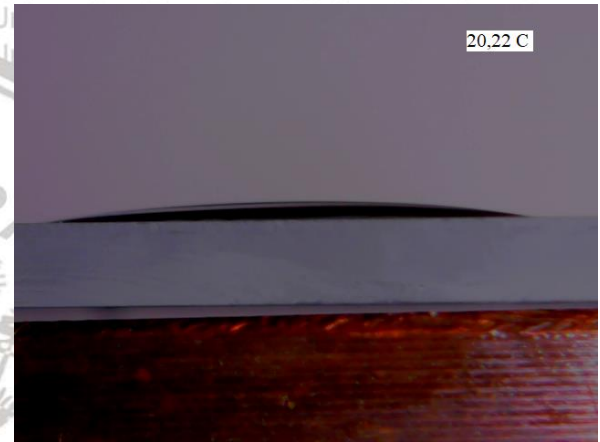
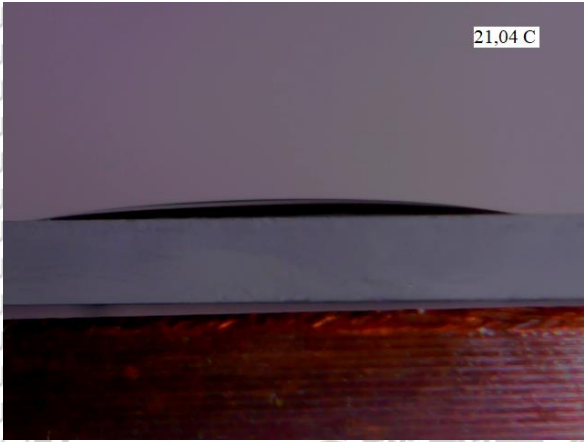
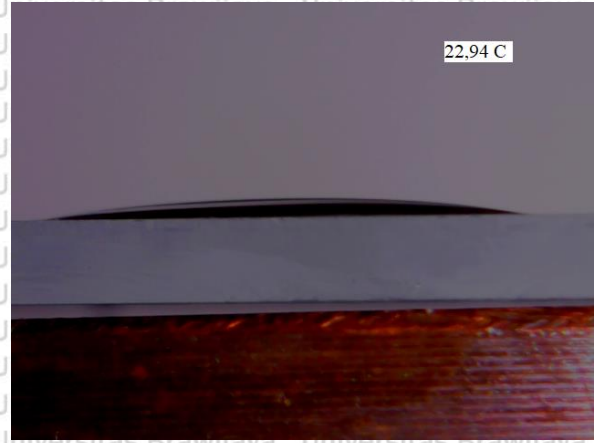
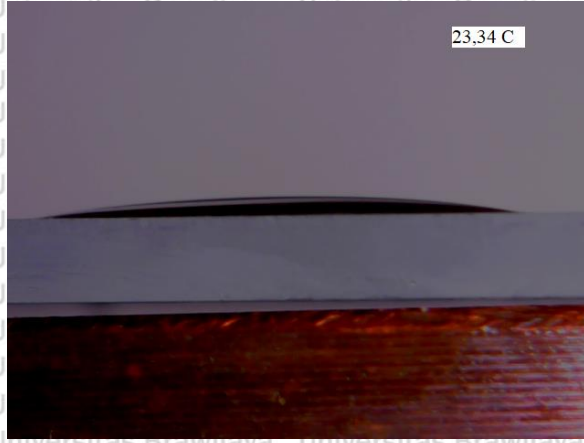
Tabel 5- 7 Data temperatur vs sudut kontak minyak kelapa

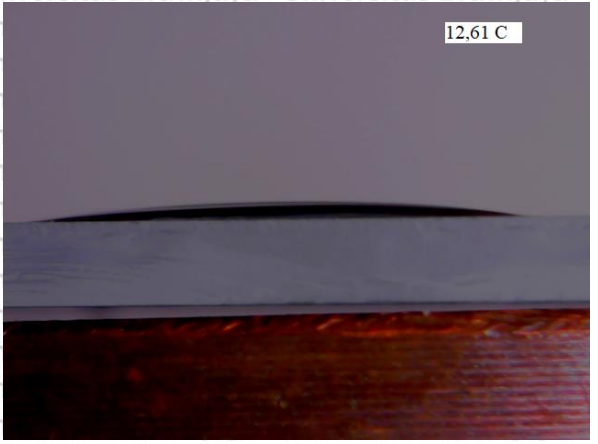
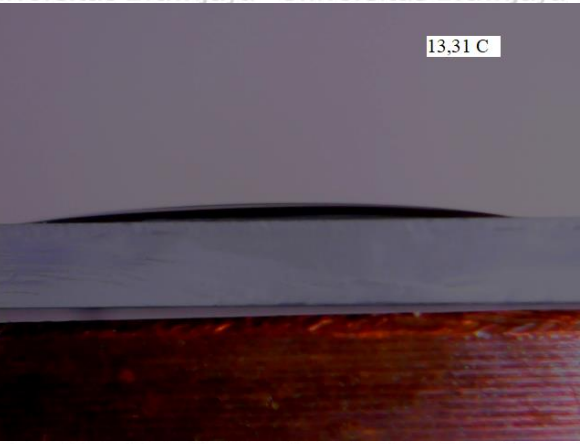
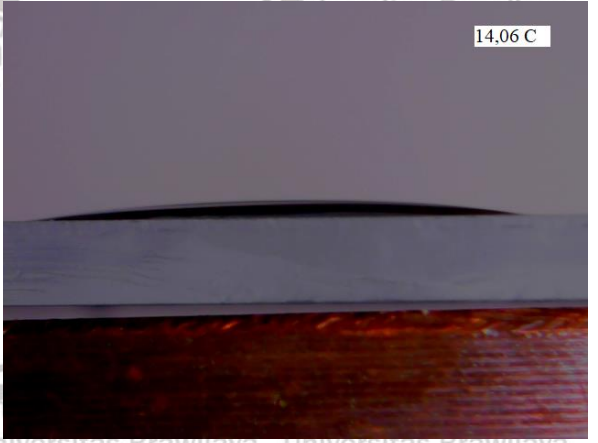
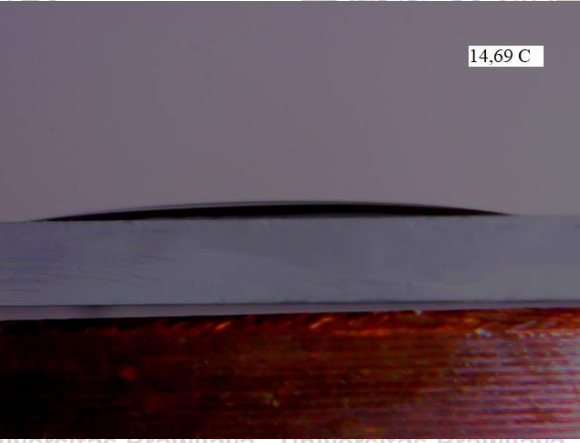
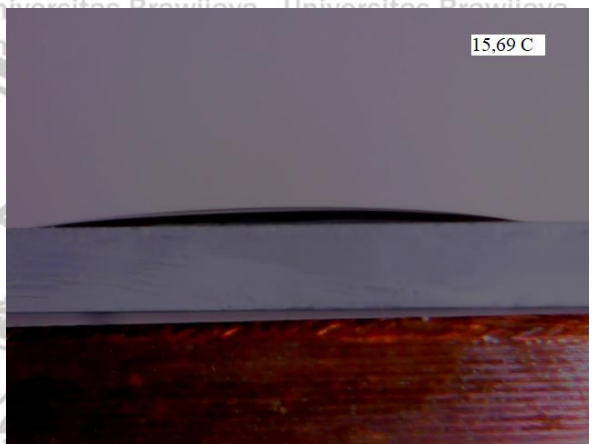
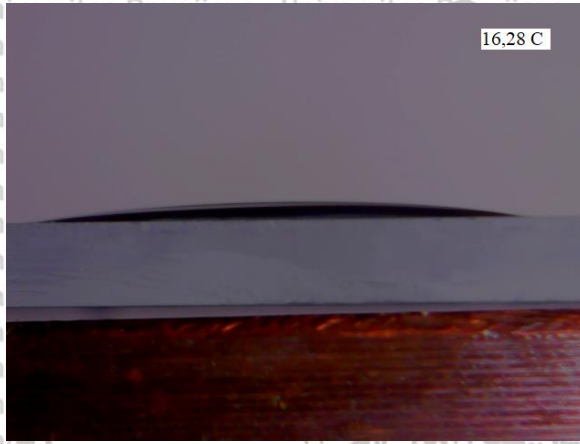
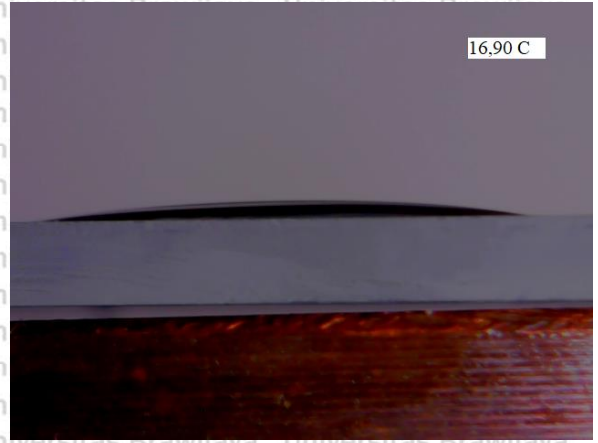
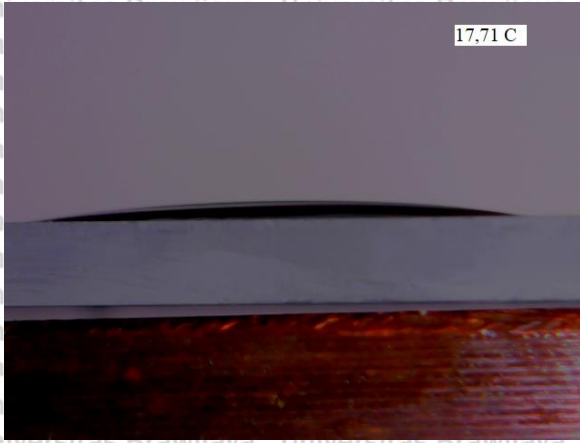
Temperature (C)	Sudut	Temperature (C)	Sudut
23,91	9,07	14,06	7,18
23,71	9,1	13,31	6,89
23,34	9,67	12,61	8,71
22,94	10,88	11,9	7,52
22,44	12,71	11,14	9,28
21,8	11,65	10,52	7,07
21,04	11,12	10,13	8,87
20,22	10,79	9,58	6,38
19,5	10,39	8,99	7,75
18,66	9,92	8,44	6,88
17,71	9,07	7,93	5,65
16,9	9,25	7,08	6,34
16,28	8,47	6,31	6,5
15,69	7,39	5,78	4,47
14,89	7,95		

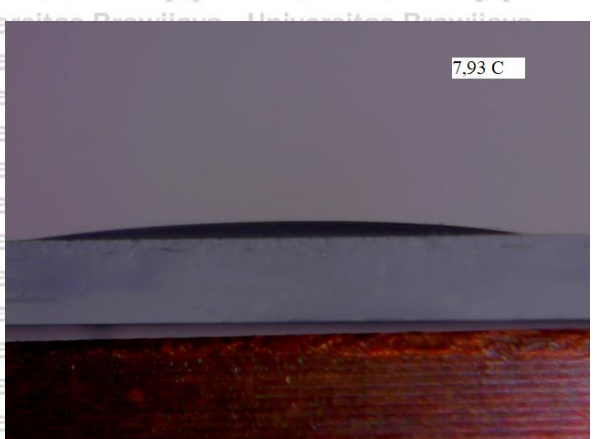
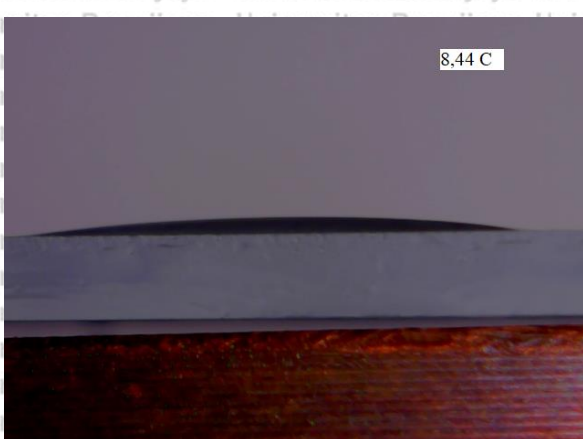
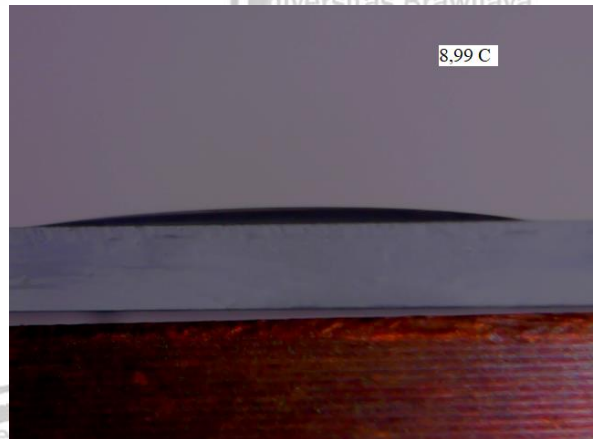
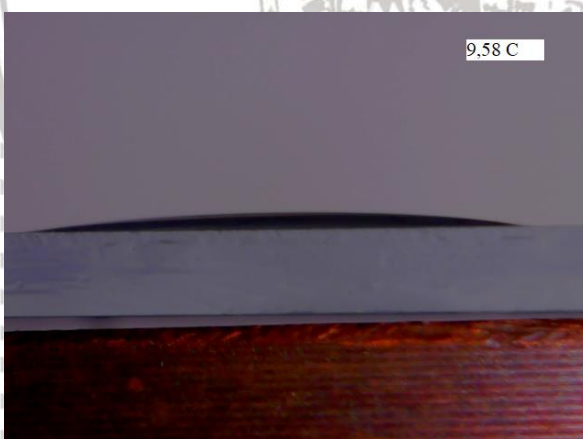
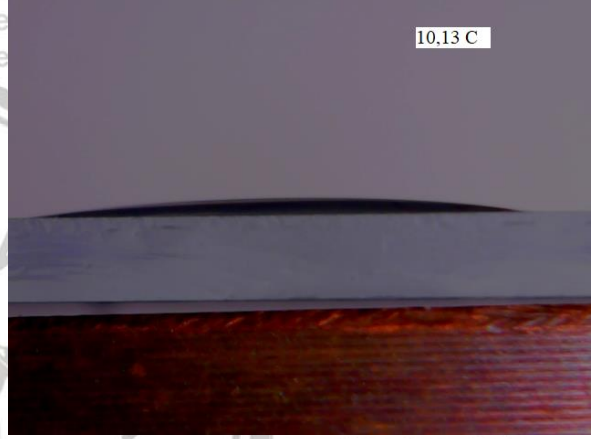
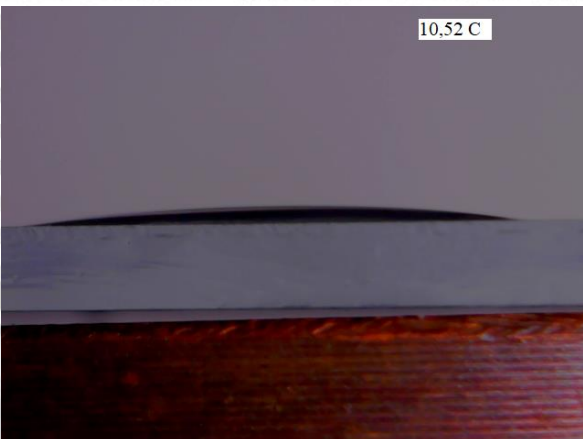
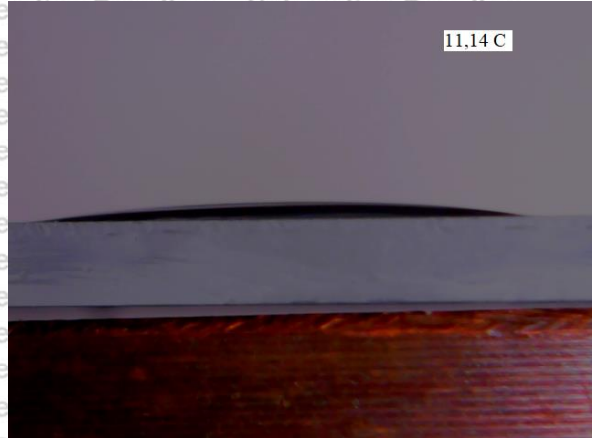
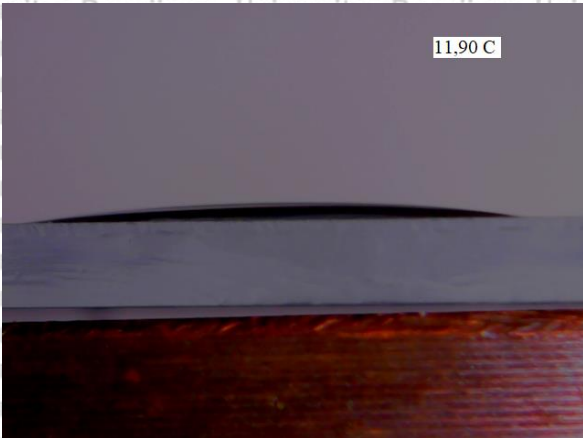
Dari tabel di atas menunjukkan bahwa sudut kontak awalnya sekitar $9,07^{\circ}$ pada $23,91^{\circ}\text{C}$. Kemudian sudut kontak meningkat hingga $12,7^{\circ}$ pada $22,44^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun hingga $6,89^{\circ}$ pada $13,31^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya naik hingga $9,28^{\circ}$ pada $11,14^{\circ}\text{C}$. Kemudian menurun lagi hingga $4,47^{\circ}$ pada $5,78^{\circ}\text{C}$.

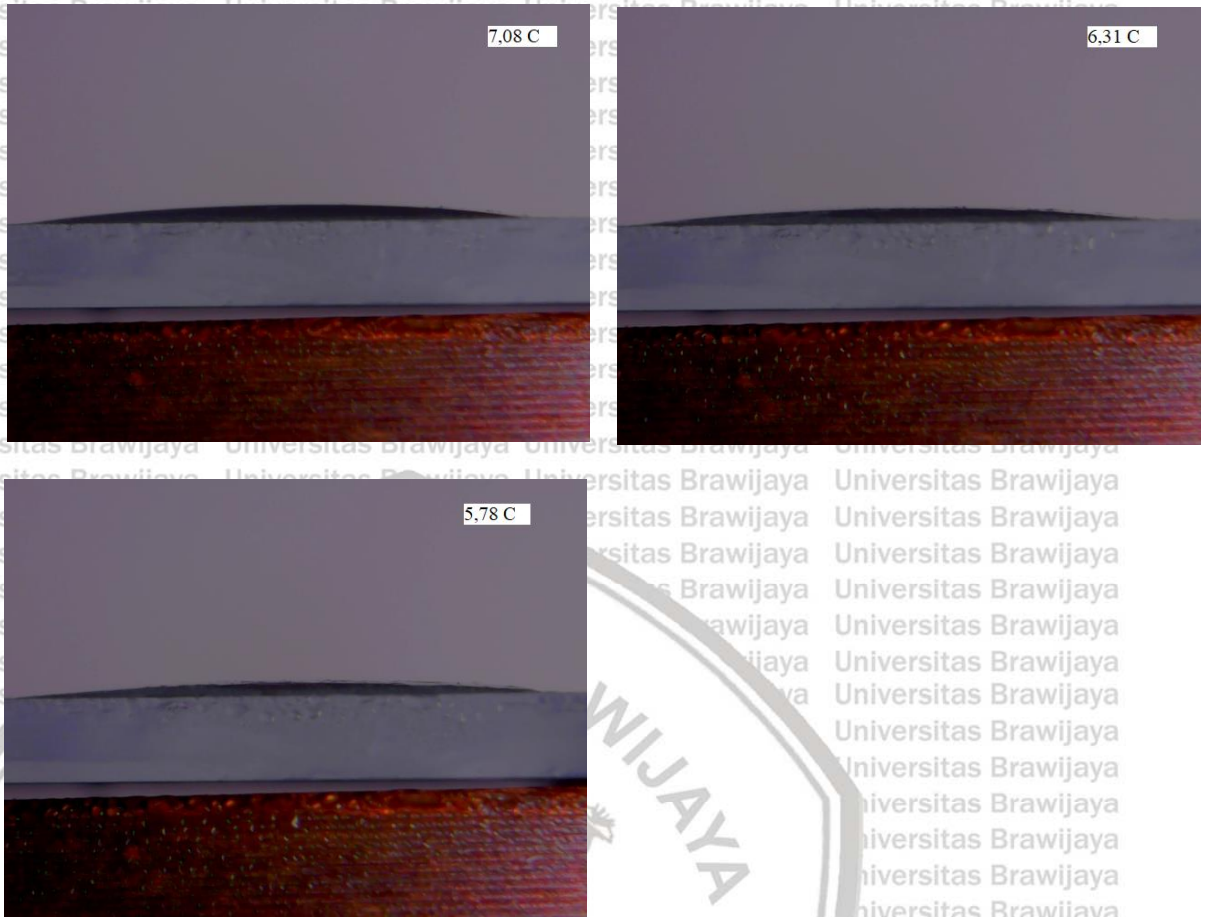
Pada percobaan ini, terlihat bentuk permukaan droplet minyak jarak sebagai berikut







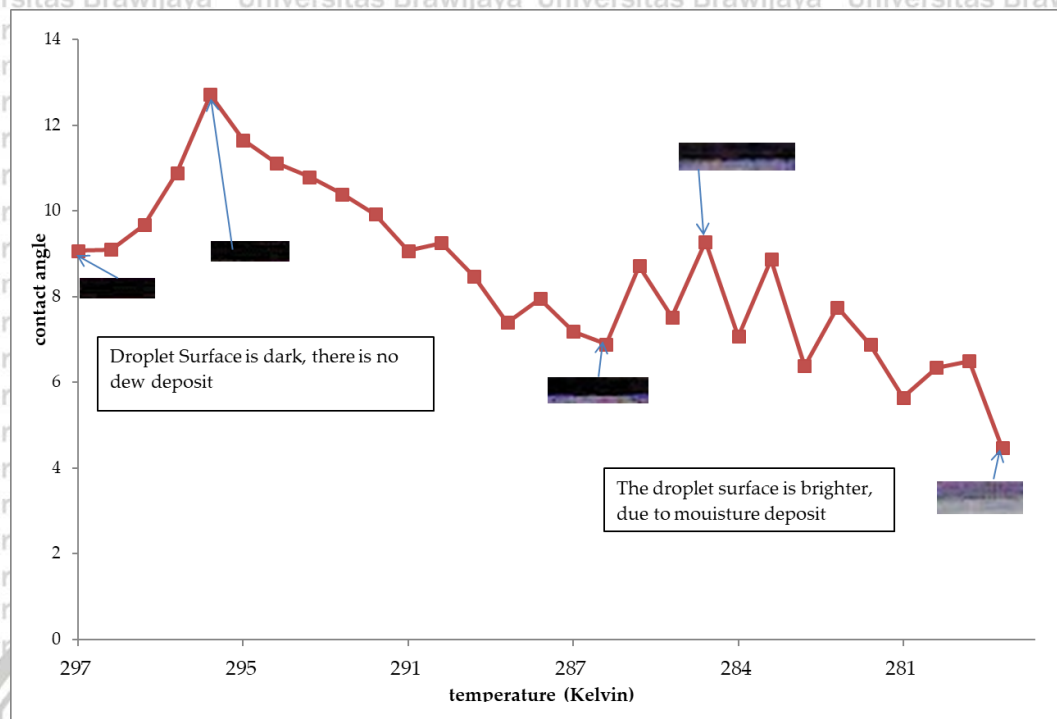




Gambar 5- 5 Bentuk droplet minyak kelapa selama pendinginan

Dari gambar di atas terlihat bahwa minyak kelapa merupakan minyak yang paling rendah viskositasnya. Untuk mengamati perubahan sudut kontak dan permukaan *droplet* harus dilakukan dengan seksama. Pembentukan uap air di permukaannya berlangsung lebih cepat daripada minyak jarak dan minyak bunga matahari.

Secara grafis, perubahan sudut kontak dan permukaan *droplet* minyak kelapa ialah sebagai berikut:



Gambar 5- 6 Grafik temperature vs sudut kontak *droplet* minyak kelapa

Dari grafik di atas nampak bahwa sudut kontak meningkat dari $9,07^{\circ}$ pada temperatur sekitar $23,91^{\circ}\text{C}$ menjadi $12,17^{\circ}$ pada $22,44^{\circ}\text{C}$. Kemudian sudut kontak menurun sangat tajam menjadi $6,89^{\circ}$ pada $13,31^{\circ}$. Setelah itu sudut kontak naik menjadi $9,28^{\circ}$ pada $11,14^{\circ}\text{C}$ dan turun lagi menjadi $4,46^{\circ}$ pada $5,78^{\circ}\text{C}$.

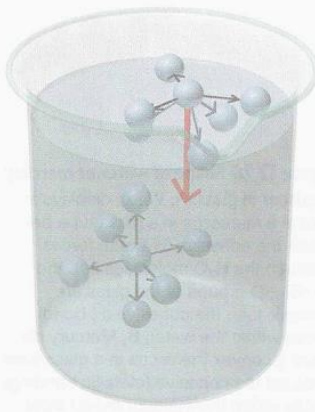
5.6 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pendinginan mempengaruhi sudut kontak droplet pada semua *sample*.

Sejak terbentuknya *droplet* di permukaan substrate, telah terjadi perbedaan sudut kontak. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh tegangan permukaan yang terjadi pada masing-masing droplet minyak nabati.

Pada liquid, molekul yang ada di dalam “interior” memiliki gaya tarik intermolekular ke segala arah. Sedangkan yang ada di permukaan memiliki gaya tarik terbesar ke arah bawah (*substrate*), sehingga minyak nabati cenderung meminimalkan jumlah molekul di permukaan. Hal ini menyebabkan munculnya tegangan permukaan pada droplet minyak nabati. (Silberberg, 2006). Tegangan

permukaan dinyatakan dengan J/m^2 , yaitu energi yang dibutuhkan untuk mengembangkan permukaan. Energi ini diperlukan untuk merusak gaya tarik di dalam liquid.



Gambar 5- 7 Pembentukan tegangan permukaan secara molekuler

Sumber : (Silberberg, 2006)

Tegangan permukaan dipengaruhi oleh interaksi molekuler akibat masing-masing komponen minyak nabati. Minyak jarak mengandung sejumlah besar Oleic Acid ($C_{18}H_{34}O_2$) yang merupakan *monounsaturated fatty acid*. Minyak bunga matahari mengandung sejumlah besar linoleic acid ($C_{18}H_{32}O_2$), yang merupakan *polyunsaturated fatty acid*. Minyak kelapa mengandung sejumlah besar Lauric Acid ($C_{12}H_{24}O_2$) merupakan *saturated fatty acid*.

Viskositas berkorelasi dengan seberapa mudah molekul pada suatu material bergerak relatif antara molekul yang satu dengan molekul lainnya. Hal tersebut membuktikan bahwa *Intermolekular force* antar molekul akan mempengaruhi viskositas.

Minyak jarak akan memiliki viskositas tertinggi, kemudian diikuti oleh minyak bunga matahari dan kemudian minyak kelapa. Viskositas ini mengindikasikan perbedaan *intermolecular force* dan perbedaan sudut kontak yang terbentuk. Semakin tinggi viskositas berarti sudut kontak semakin besar. (Yuan & Lee, 2013) (Brown, LEMay, Jr., Bursten, Murphy, & Woodward, 2012)

Untuk mengetahui peran *intermolecularforce* pada masing-masing molekul dapat dilakukan dengan mengetahui struktur dan bentuk masing-masing molekul.

Salah satu sifat yang penting ialah polaritas molekul. Molekul polar merupakan molekul yang memiliki distribusi *charge* yang tidak sama (*unequal*). (Reger, Goode, & Ball, 2010).

Dipole moment muncul dari *sharing* elektron yang tidak seimbang. Kemampuan atom pada suatu molekul untuk menarik elektron disebut elektronegatifitas. Elektronegatifitas merupakan sifat elektron yang berkorelasi dengan energi ionisasi dan afinitas elektron. Elemen dengan energi ionisasi rendah memiliki elektronegatifitas yang rendah. Sedangkan elemen dengan energi ionisasi yang tinggi akan memiliki elektronegatifitas yang tinggi juga. Skala elektronegatifitas telah disusun oleh Linus Pauling.

H 2.1						
Li 1.0	Be 1.5	B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Na 0.9	Mg 1.2	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0
K 0.8	Ca 1.0	Ga 1.8	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8
Rb 0.8	Sr 0.9	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5
Cs 0.7	Ba 0.9	Tl 1.8	Pb 1.9	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2

Gambar 5- 8 Elektronegatifitas dalam skala Pauling.
Sumber : (Reger, Goode, & Ball, 2010)

Polaritas pada suatu ikatan merupakan selisih nilai elektronegatifitas atom-atom yang membentuk ikatan tersebut. (Zumdahl & DeCoste, 2011). Jika atom-atom yang memiliki elektronegatifitas hampir sama membentuk ikatan, maka polaritas dalam ikatan tersebut tergolong rendah. Jika atom yang memiliki elektronegatifitas sangat berbeda membentuk ikatan, maka ikatan itu disebut sangat polar. Jika perbedaan elektronegatifitas kurang dari 0,5 maka type ikatannya disebut kovalen nonpolar. Perbedaan elektronegatifitas antara 0,5 sampai 1,9 disebut ikatan kovalen polar. Sedangkan jika perbedaan elektronegatifitas lebih dari

1,9 disebut ikatan ionik. (BETTELHEIM, BROWN, CAMPBELL, & FARRELL, 2007)

Elektronegativitas Carbon ialah 2,5 sedangkan Elektronegativitas Hydrogen ialah 2,1. Karena selisihnya 0,4 maka C-H didefinisikan sebagai non polar. Sedangkan pada gugus OH termasuk polar. Hal ini karena elektronegatifitas O ialah 3,5 sedangkan elektronegatifitas H ialah 2,1 sehingga selisihnya ialah 1,4 jadi termasuk ikatan polar. Sedangkan CO memiliki selisih $3,5 - 2,5 = 1$.

Linoleic Acid memiliki 31 ikatan CH, 2 ikatan CO, dan 1 ikatan OH. Jika dihitung beda elektronegatifitasnya ialah $((31 \times 0,4) + (2 \times 1) + (1 \times 1,4)) / 34 = 0,46$. Maka Linoleic acid tergolong non polar.

Oleic Acid memiliki 33 ikatan CH, 2 ikatan CO, dan 1 ikatan OH. Dengan cara di atas maka beda elektronegatifitasnya ialah $((33 \times 0,4) + (2 \times 1) + (1 \times 1,4)) / 36 = 0,46$. Maka Oleic acid tergolong non polar.

Sedangkan Lauric Acid memiliki 23 ikatan CH, 2 ikatan CO, dan 1 ikatan OH. Dengan cara di atas maka beda elektronegatifitasnya ialah $((23 \times 0,4) + (2 \times 1) + (1 \times 1,4)) / 26 = 0,48$. Maka Oleic acid tergolong non polar.

Jika suatu molekul tergolong molekul polar, maka molekul tersebut memiliki sifat *solubility* terhadap air, atau *water loving (hydrophilic)*. OH grup tergolong hydrophilic karena kemampuannya berinteraksi dengan air dan membentuk ikatan hydrogen.

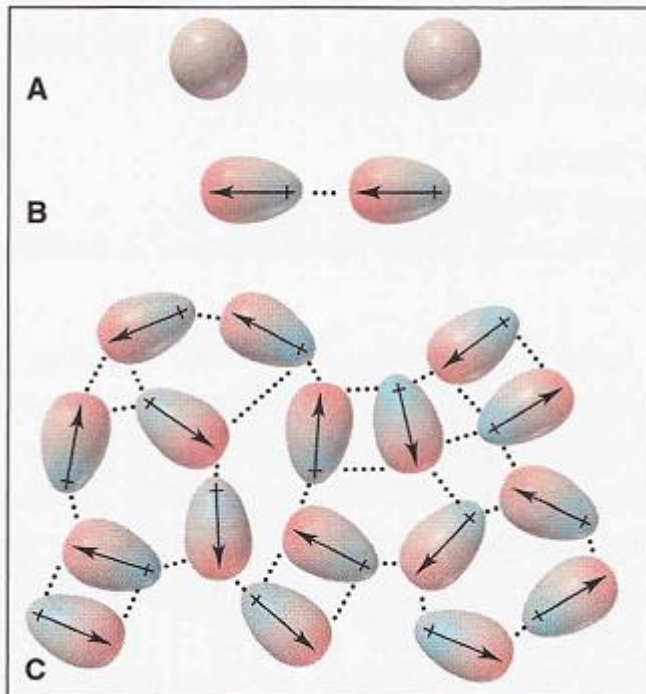
Molekul yang non polar tergolong water insoluble (*hydrophobic*). Rantai karbon tergolong *hydrophobic*. *Fatty acid* tergolong hydrophobic karena sebagian besar molekulnya tergolong rantai karbon. *Fatty acid* memiliki sifat yang mirip dengan molekul hidrokarbon yang bersifat hydrophilic. (Raymond, 2008)

Sebenarnya *fatty acid* adalah bersifat *amphipilic (amphipatic)*. *Amphipilic* adalah molekul dengan sifat hydrophilic pada satu sisi dan hydrophobic pada sisi yang lain. (Albert, et al., 2002)

Gaya London muncul dari gerakan relatif awan elektron yang menyebabkan munculnya dipole sesaat. Gerakan awan elektron mengelilingi atom dapat menyebabkan *momentary dipole*, yang menarik atau menolak elektron di sebelahnya sehingga menyebabkan *temporary dipole*. Terjadinya temporary dipole

tersebut disebabkan oleh terkonsentrasinya awan elektron di salah satu sisi pada saat tertentu.

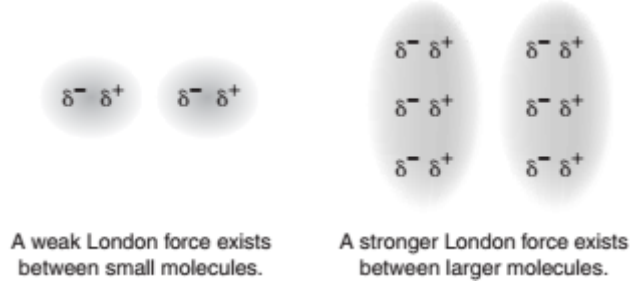
Induksi terjadi dalam wilayah *elektromagnetic field*. Akibat induksi tersebut akan muncul *internal cohesive*. Seluruh liquid akan berusaha mencapai bentuk yang seminimal mungkin bersentuhan dengan area permukaan, karena hal ini akan menyebabkan molekul berikatan dengan molekul yang bersebelahan. Liquid dengan *internal cohesive* yang nilainya kecil akan membasahi permukaan, sedangkan liquid dengan *internal cohesive* yang nilainya besar cenderung tidak membasahi permukaan. (Anslyn & Dougherty, 2006)



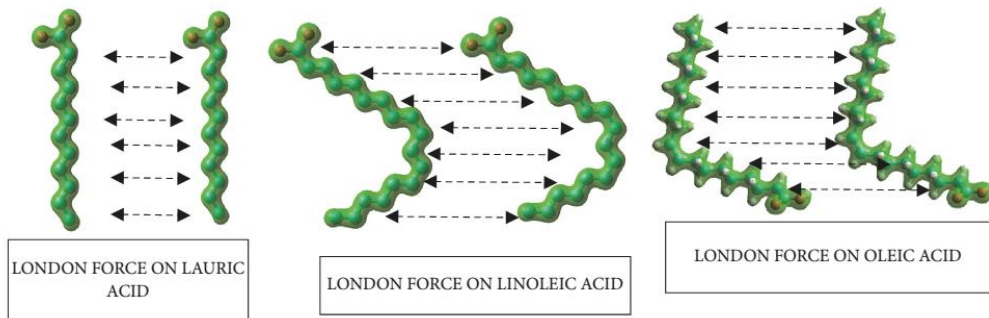
Gambar 5- 9 Pembentukan Gaya London

Sumber : (Silberberg, 2006)

Gaya London merupakan *intermolecular force* pada molekul nonpolar. Gaya London semakin besar ketika ukuran molekulnya meningkat. (Zumdahl & DeCoste, 2011).



Gambar 5- 10 Gaya London pada ukuran molekul yang berbeda
 Sumber : (Raymond, 2008)



Gambar 5- 11 Gaya London pada Asam Lemak
 Sumber : (Rizza, Wijayanti, Hamidi , & Wardana, 2018)

Sesuai dengan data hasil penelitian, minyak jarak membentuk sudut kontak 20,66° pada suhu kamar. Sedangkan minyak bunga matahari membentuk sudut 18,92°. Minyak kelapa membentuk sudut 9.07°C.

Setelah mengalami pendinginan, minyak nabati akan mengalami 4 tahap (sesuai grafik temperature vs sudut kontak di atas). Yaitu tahap 1 kenaikan sudut kontak, tahap 2 penurunan sudut kontak, tahap 3 sudut kontak naik lagi, dan tahap 4 sudut kontak turun lagi.

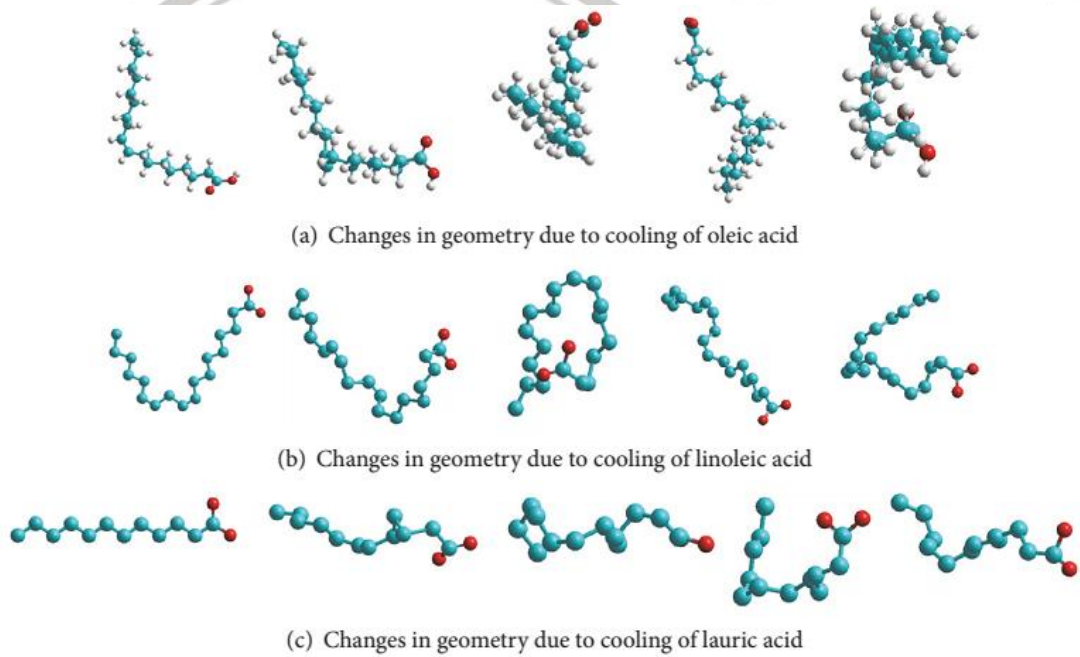
Pada tahap 1 terjadi kenaikan sudut kontak sebagai berikut: Sudut kontak minyak jarak naik dari 20.65° menjadi 24.37°; minyak bunga matahari meningkat dari 18.92° menjadi 22.13°; minyak kelapa meningkat dari 9.06° menjadi 12.7°.

Penurunan temperatur akan menaikkan viskositas, juga menaikkan tegangan permukaan. (Israelachvili, 2011).

Penurunan temperatur menyebabkan penurunan energi kinetik molekular (penurunan getaran molekular).

Penurunan getaran molekular menyebabkan menurunnya energi kinetik sehingga jarak antar molekular semakin dekat. Jarak molekular yang semakin dekat menyebabkan meningkatnya gaya interaksi antar molekular. Gaya interaksi yang meningkat inilah yang menyebabkan viskositas dan sudut kontak meningkat.

Perubahan bentuk molekular akibat pendinginan disimulasikan dengan *software* hyperchem sebagai berikut:

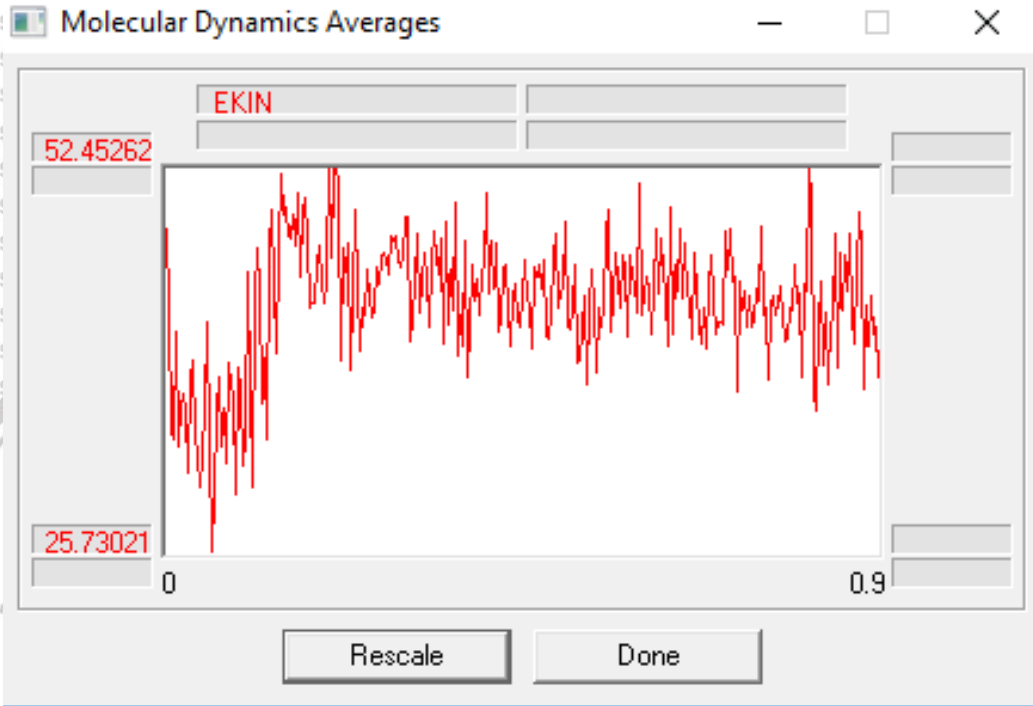


Gambar 5- 12 Perubahan geometri molekular akibat pendinginan

Sumber: (Rizza, Wijayanti, Hamidi , & Wardana, 2018)

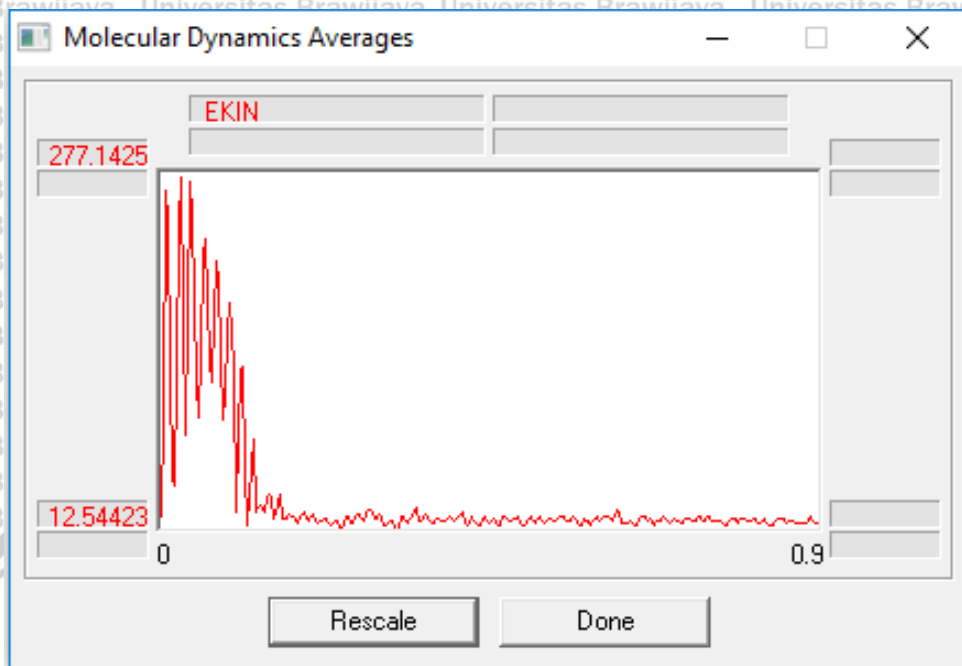
Simulasi selanjutnya menunjukkan energi kinetik selama pendinginan untuk masing-masing molekul sebagai berikut:

a. Oleic acid



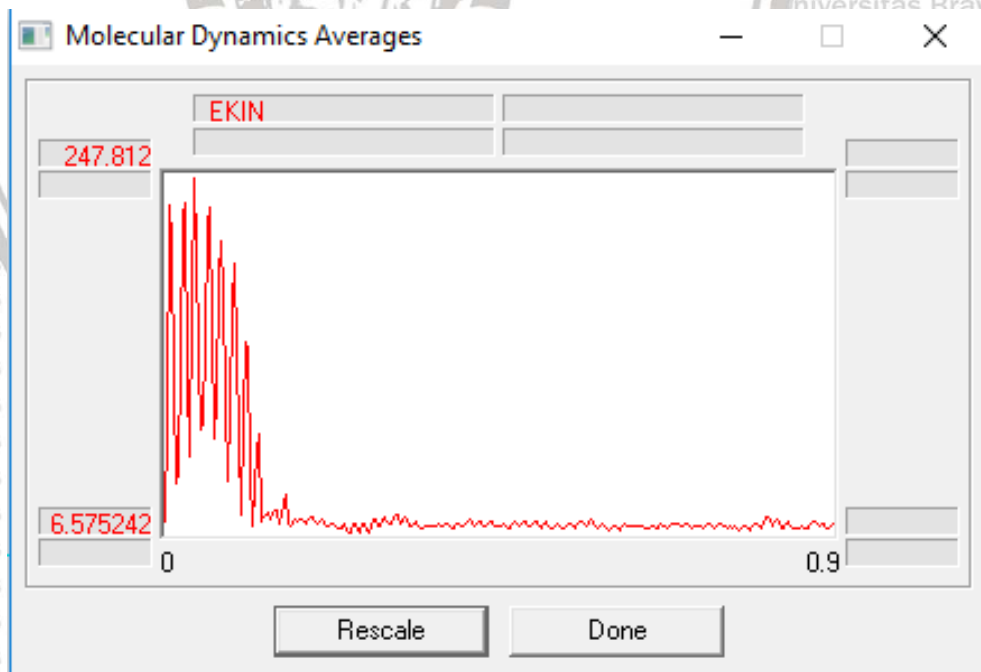
Gambar 5- 13 Penurunan Energi Kinetik Molekul Oleic Acid (kcal/mol)

b. Linoleic acid



Gambar 5- 14 Penurunan Energi Kinetik pada molekul Linoleic Acid (Kcal/mol)

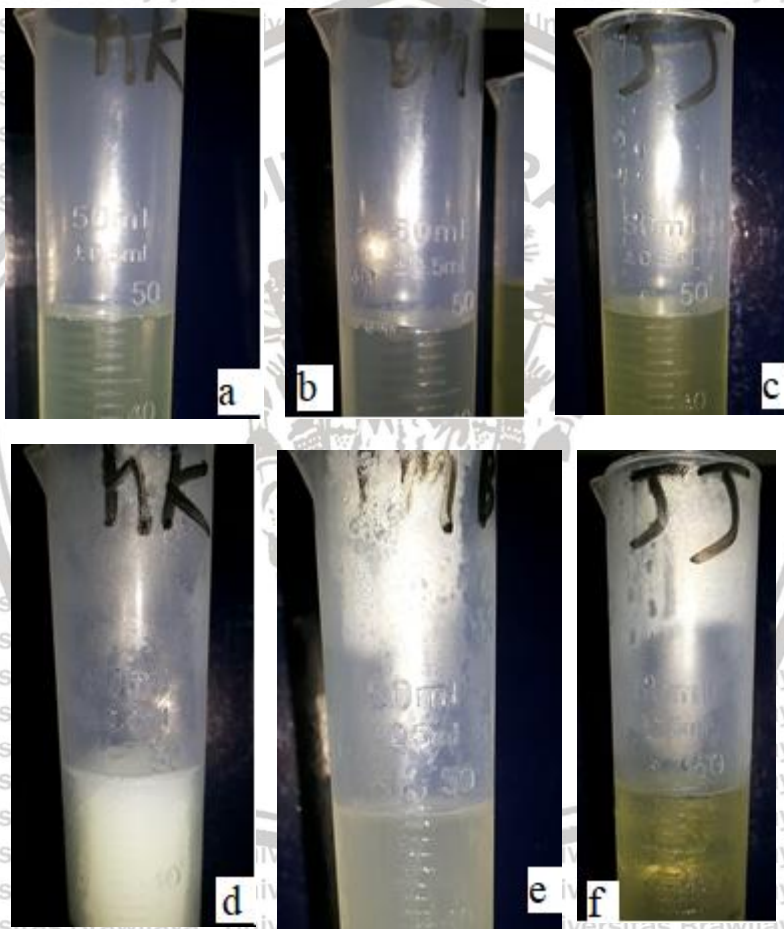
c. Lauric acid



Gambar 5- 15 Penurunan Energi Kinetik pada molekul Lauric Acid (Kcal/mol)

Dari grafik energi kinetik di atas nampak adanya penurunan energi kinetik akibat pendinginan. Menurunnya energi kinetik menyebabkan jarak molekul semakin dekat akibat gaya tarik menarik antar molekul.

Mendekatnya molekul-molekul selama proses pendinginan juga dibuktikan dengan adanya penurunan volume minyak nabati selama pendinginan. Pada pengujian terpisah, 50 ml minyak nabati yang diletakkan dalam gelas ukur mengalami penurunan volume ketika didinginkan. Hal ini nampak dari menurunnya permukaan pada gelas ukur. (lihat gambar 5-16)



Gambar 5- 16 Minyak Kelapa (a), Minyak Bunga Matahari (b), dan Minyak Jarak (c) dalam suhu kamar

Minyak kelapa (d), Minyak Bunga Matahari (e), dan Minyak Jarak (f) setelah dibekukan

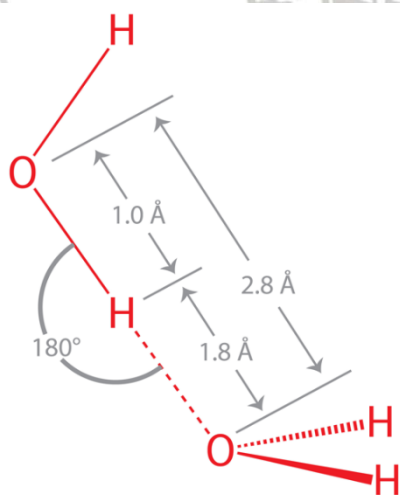
Pada tahap ke 2, terjadi penurunan sudut kontak untuk semua *sample droplet* minyak nabati. Pada minyak jarak terjadi penurunan sudut kontak dari $24,37^\circ$ menjadi $15,94^\circ$. Pada minyak bunga matahari terjadi penurunan sudut kontak

dari $22,13^\circ$ menjadi $14,03^\circ$. Sedangkan pada minyak kelapa terjadi penurunan sudut kontak dari $12,71^\circ$ menjadi $6,89^\circ$.

Penurunan tersebut disebabkan oleh terjadinya penumpukan uap air di permukaan *droplet*. Hal ini terlihat dari perubahan warna permukaan *droplet*. (lihat grafik temperatur vs sudut kontak). Permukaan *droplet* warnanya berubah karena cairan di permukaan droplet telah mengganggu jalannya pencahayaan.

Menempelnya uap air di permukaan *droplet* dapat dijelaskan sebagai akibat sifat *hydrophilic* pada bagian kepala molekul asam lemak. Sifat *hydrophilic* akan mengikat uap di sekitarnya, di mana pada saat itu terjadi perubahan fase dari uap air menjadi air akibat penurunan temperatur hingga terbentuk ikatan hydrogen. (Israelachvili, 2011)

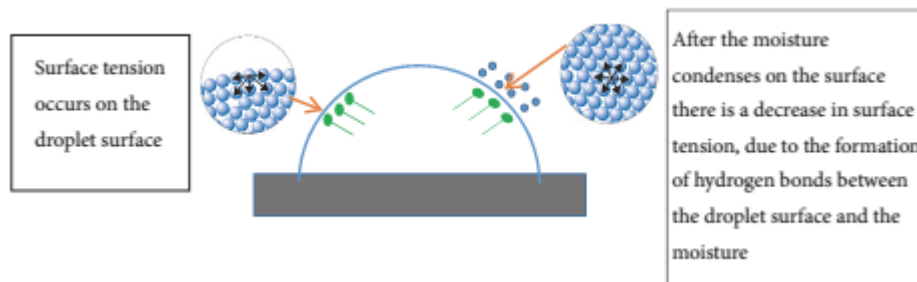
Molekul air (H_2O) dapat membentuk ikatan hydrogen yang kuat, dengan donor atau akseptor ikatan hydrogen. Satu molekul air dapat menerima dua ikatan hydrogen dan menyumbangkan dua ikatan hydrogen. Ikatan Hidrogen bentuknya pendek, lurus, dan kuat. Pada ikatan hydrogen, jarak dari H ke O sekitar $1,8 \text{ \AA}$, lebih pendek dari pada jumlah radius van Der Waals O dan H. ($r_O = 1,5 \text{ \AA}$; $r_H = 1,0 \text{ \AA}$). Jarak Ikatan Hydrogen antara O ke O adalah $2,8 \text{ \AA}$, lebih pendek daripada radius dua atom O (3 \AA). (Williams, 2018)



Gambar 5- 17 Ikatan Hydrogen

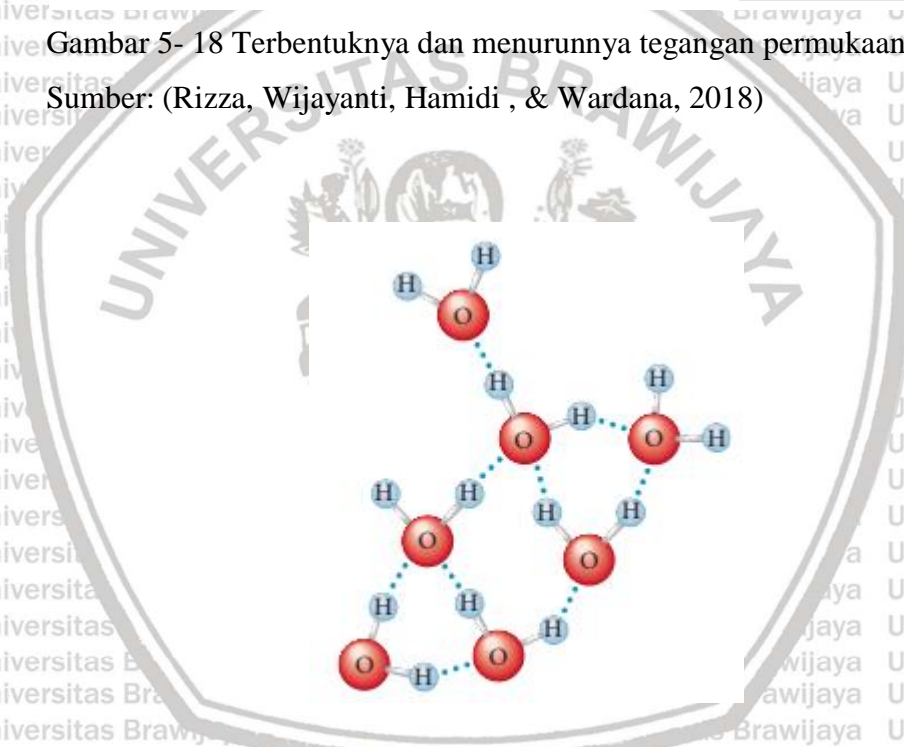
Sumber : (Williams, 2018)

Hydrogen bond yang terjadi antara molekul di permukaan *droplet* dengan air yang menempel di permukaan *droplet* dapat merusak tegangan permukaan. Tegangan permukaan yang terganggu oleh uap air menyebabkan penurunan sudut kontak *droplet*.



Gambar 5- 18 Terbentuknya dan menurunnya tegangan permukaan

Sumber: (Rizza, Wijayanti, Hamidi , & Wardana, 2018)



Gambar 5- 19 Ikatan hydrogen

Sumber: (Zumdahl & DeCoste, 2011)

Setelah mengalami penurunan sudut kontak, pada tahap 3 *droplet* mengalami kenaikan sudut kontak. Minyak jarak naik dari $15,94^\circ$ menjadi $17,65^\circ$. Minyak bunga matahari naik dari $14,03^\circ$ menjadi $16,69^\circ$. Sedangkan minyak kelapa naik dari $6,89^\circ$ menjadi $9,27^\circ$.

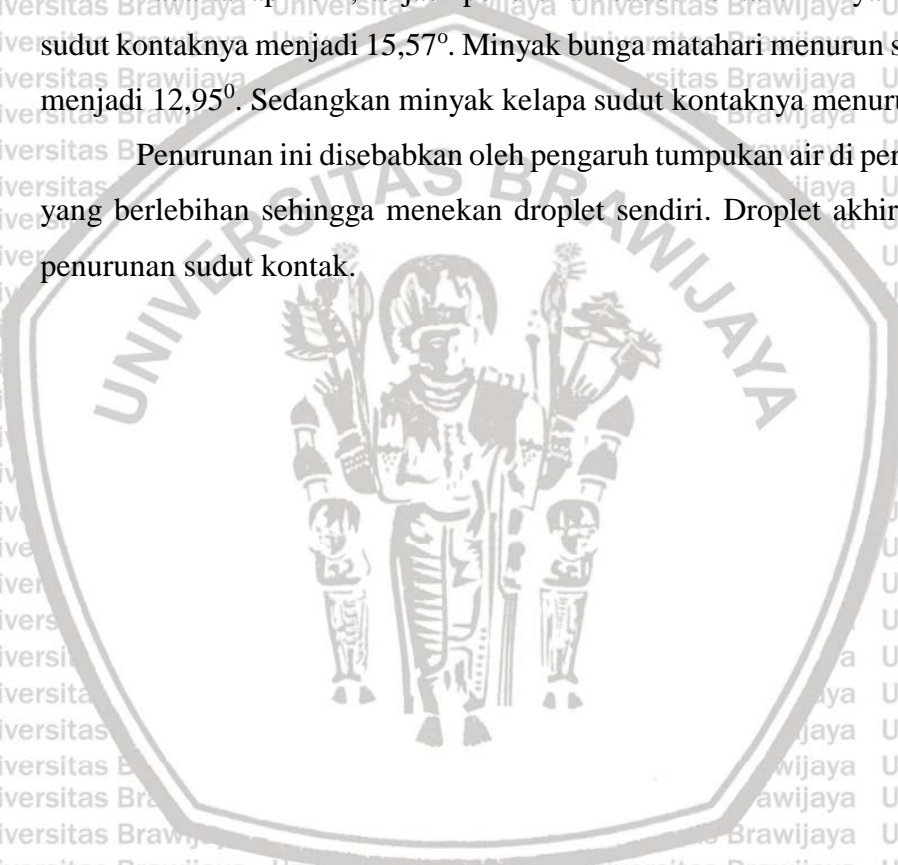
Kenaikan sudut kontak ini diakibatkan oleh penumpukan air di permukaan droplet, sehingga seolah-olah terjadi kenaikan sudut kontak. Perubahan warna di permukaan droplet menjadi bukti bahwa air di permukaan droplet semakin banyak.

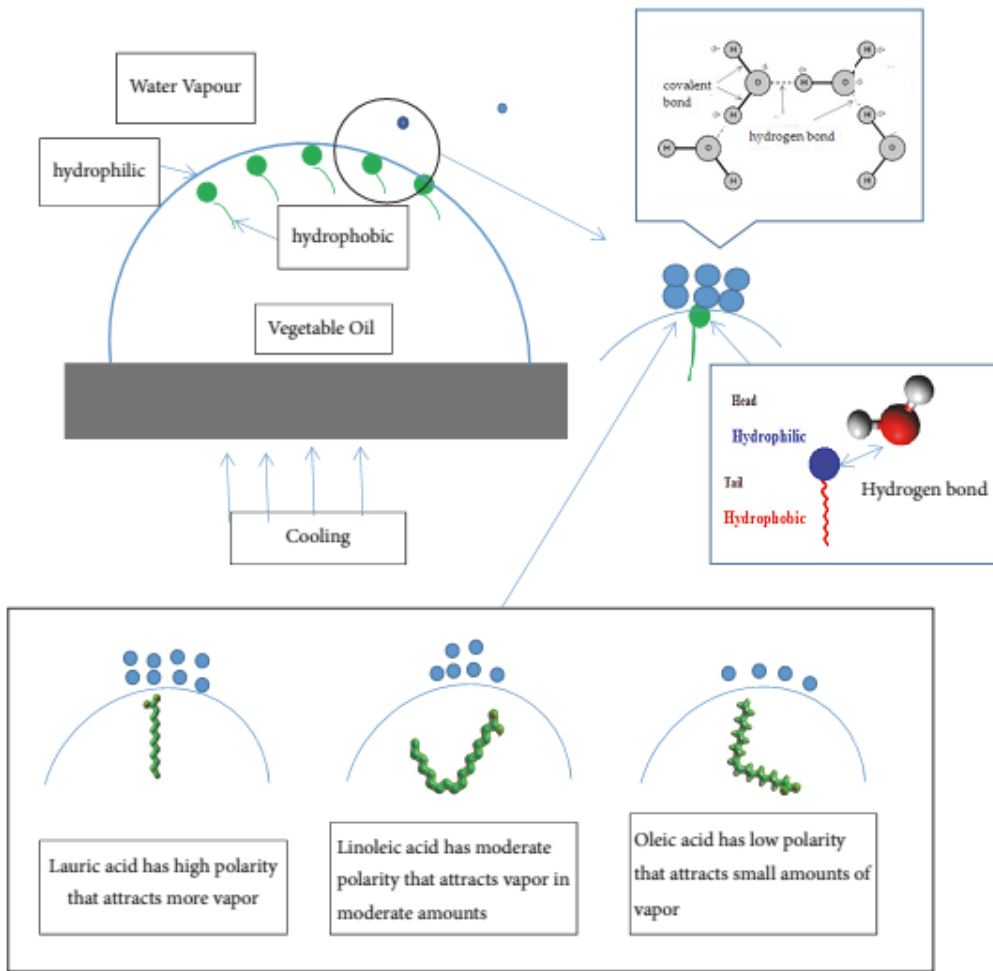
(lihat grafik temperature vs sudut kontak)

Penumpukan air di permukaan *droplet* diakibatkan oleh sifat hydrophilic yang ada pada kepala molekul asam lemak. Sifat hydrofilik ini menyebabkan semakin banyak air yang ditarik ke permukaan droplet. Air yang menumpuk di permukaan droplet ini saling mengikat dengan ikatan hydrogen.

Pada tahap ke 4, terjadi penurunan sudut kontak. Minyak jarak menurun sudut kontaknya menjadi $15,57^{\circ}$. Minyak bunga matahari menurun sudut kontaknya menjadi $12,95^{\circ}$. Sedangkan minyak kelapa sudut kontaknya menurun jadi $4,47^{\circ}$.

Penurunan ini disebabkan oleh pengaruh tumpukan air di permukaan droplet yang berlebihan sehingga menekan droplet sendiri. Droplet akhirnya mengalami penurunan sudut kontak.





Gambar 5- 20 Intermolecular force pada penarikan uap air

Sumber : (Rizza, Wijayanti, Hamidi , & Wardana, 2018)

Kepala molekul asam lemak bersifat polar sehingga bersifat menarik air (hidrofilik). Tetapi bagian ekor nya bersifat non polar sehingga bersifat hidrofobik. Sehingga semakin pendek ekornya akan menarik air di permukaan droplet lebih banyak. (sifat hidrofobik semakin kuat).

Perbedaan kandungan asam lemak juga berpengaruh terhadap kecepatan perubahan sudut kontak terhadap perubahan temperatur. Minyak jarak mengalami perubahan sudut kontak secara tajam pada penurunan temperatur sekitar 287,15K hingga 281,65 K. Minyak bunga matahari mengalami penurunan sudut kontak secara cepat pada penurunan temperatur 288,15 K – 284,15 K. Sedangkan minyak

kelapa mengalami perubahan temperatur secara cepat pada penurunan temperatur 300K-295K.

Minyak kelapa menunjukkan perubahan sudut kontak yang cepat pada temperature tinggi akibat memiliki sifat polar yang dimiliki Lauric acid lebih tinggi daripada polaritas linoleic acid dan oleic acid. Polaritas yang tinggi menyebabkan molekul lauric acid memiliki gaya tarik menarik yang lebih kuat. Temperatur yang rendah menyebabkan getaran molekul menurun, sehingga mudah untuk ditarik.

Minyak bunga matahari mengandung linoleic acid, dan minyak jarak mengandung oleic acid. Linoleic acid dan oleic acid memiliki sifat non polar yang cukup besar. Sehingga interaksi tarik menarik molekul terjadi akibat temporary dipole, sehingga sifatnya lemah. Agar tarik menarik terjadi, maka diperlukan temperatur yang lebih rendah, agar getaran molekul yang ditarik juga semakin rendah dan mudah ditarik.





BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- a. Perubahan sudut kontak akibat perubahan suhu pada droplet minyak nabati dipengaruhi oleh *intermolekuler force* dari konstituen minyak tersebut
- b. Gaya London mempengaruhi pembentukan sudut kontak saat terjadi perubahan temperatur
- c. Sifat hidrofilik mempengaruhi gerakan uap air menempel di permukaan *droplet* dan mempengaruhi sudut kontak
- d. Ikatan hidrogen mengikat uap air dan mempengaruhi sudut kontak

6.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlunya dikembangkan penelitian dengan substrate yang memiliki sifat berbeda-beda





DAFTAR PUSTAKA

McMASTER, M. C. (2008). *GC/MS A Practical User's Guide*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Barish, J. A., & Goddard, J. M. (2013). Anti-fouling surface modified stainless steel for food processing. *food and bioproducts processing*, 352–361.

BOTT, T. R. (1988). GENERAL FOULING PROBLEMS. In L. F. Melo, T. R. Bott, & C. ... Bernardo, *Fouling Science and Technology* (pp. 1-15). AH Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

BOULANGÉ-PETERMANN, L., JOUD, J.-C., & BAROUX, B. (2008). Wettability parameters controlling the surface cleanability of stainless steel. *Contact Angle, Wettability and Adhesion*, 1-13.

Carrier, O., & Bonn, D. (2015). CONTACT ANGLES AND THE SURFACE FREE ENERGY OF SOLIDS. In D. Brutin, *Droplet Wetting and Evaporation* (pp. 15-23). Oxford: Elsevier Inc.

Elert, G. (2019, February 21). *Viscosity*. Retrieved from The Physics Hypertextbook: <https://physics.info/viscosity/>

Li, H., & Chen, V. (2010). Membrane Fouling and Cleaning in Food and Bioprocessing A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing. In Z. F. Cui, & H. S. Muralidhara, *Membrane Technology* (p. 213). Burlington: Butterworth-Heinemann.

Luna, D., Luque, R., Verdugo, C., Hidalgo, J. M., Escalona, M., Sagarra, F., & Daquinta, M. (2010). JATROPHA CURCAS (L): A PROMISING BIOFUEL PLANT. CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS. In C. Ponterio, & C. Ferra, *Jatropha Curcas as a Premier Biofuel: Cost, Growing and Management* (pp. 1-37). New York: Nova Science Publishers.

Radulovic, J., Sefiane, K., Starov, V., Ivanova, N., & Shanahan, M. (2013). Review on Kinetics of Spreading and Wetting by Aqueous Surfactant Solutions. In M. ferrari, I. Iggieri, & r. Miller, *Drops and Bubbles in Contact with Solid Surfaces* (pp. 37-65). Boca Raton, FL: CRC Press.

Raymond, K. W. (2008). *General, Organic, and Biological Chemistry: An Integrated Approach*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Wu, C., Qian, T., & Sheng, P. (2010). Droplet spreading driven by van der Waals force: a molecular dynamics study. *JOURNAL OF PHYSICS : CONDENSED MATTER*, 1-9.

Adrian, R. J., Gharib, M., Merzkirch, W., Rockwell, D., & Whitelaw, J. H. (2000). *Dynamics of Droplets*. Berlin: Springer-Verlag.

- Albert, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Robert, K., & Walter, P. (2002). *Molecular Biology of The Cell*. Abingdon: Garland Science.
- Amin, I. N., Mohammad, A. W., Markom, M., & Peng, L. C. (2010). Effects of palm oil-based fatty acids on fouling of ultrafiltration membranes during the clarification of glycerin-rich solution. *Journal of Food Engineering*, 264–272.
- Anslyn, E. V., & Dougherty, D. A. (2006). *Modern Physical Organic Chemistry*. www.uscibooks.com: University Science Books.
- Anslyn, E. V., & Dougherty, D. A. (2006). *Modern Physical Organic Chemistry*. United States of America: University Science Books.
- Ashokkumar, S., Adler-Nissen, J., & Møller, P. (2012). Factors affecting the wettability of different surface materials with vegetable oil at high temperatures and its relation to cleanability. *Applied Surface Science*, 86–94.
- Barberis, F. (2013). Contact Angle Measurements over Macro, Micro and Nano Dimensioned Systems. In M. Ferrari, I. Iggieri, & r. Miller, *DROPS AND BUBBLES IN CONTACT WITH SOLID SURFACES* (pp. 1-25). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Berthier, J., & Brakke, K. A. (2012). *The Physics of Microdroplet*. Massachussets: Scrivener Publishing.
- BETTELHEIM, F. A., BROWN, W. H., CAMPBELL, M. K., & FARRELL, S. O. (2007). *Introduction To General, Organic, and Biochemistry*. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.
- Bonn, D., Eggers, J., Indekeu, J., Meunier, J., & Rolley, E. (2009). Wetting and spreading. *REVIEWS OF MODERN PHYSICS*, 740-802.
- Bormashenko, E., Bormashenko, Y., Whyman, G., Pogreb, R., Musin, A., Jager, R., & Barkay, Z. (2008). Contact Angle Hysteresis on Polymer Substrates Established with Various Experimental Techniques, Its Interpretation, and Quantitative Characterization. *Langmuir*, 4020-4025.
- Brown, T. L., LEMay, Jr., H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., & Woodward, P. M. (2012). *CHEMISTRY THE CENTRAL SCIENCE*. Boston: Prentice Hall.
- Butt, H.-J., Graf, K., & Kappl, M. (2003). *Physics and Chemistry of Interfaces*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Carrier, O., & Bonn, D. (2015). LIQUID SPREADING. In D. Brutin, *Droplet Wetting and Evaporation* (p. 4). Oxford: Academic Press.
- Changani, S. D., Belmar-Beiny, M. T., & Fryer, P. J. (1997). Engineering and Chemical Factors Associated with Fouling and Cleaning in Milk Processing. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 392-406.

Chen, C. W., Lai, O. M., Ghazali, H. M., & Chong, C. L. (2002). Isothermal Crystallization Kinetics of Refined Palm Oil. *JAOCS*, 403-410.

Chen, X., Sun, X., Deng, H., Xiao, S., Gan, X., Li, X., & Hu, W. (2016). The wetting properties of Li droplet on Cu surfaces: A molecular dynamics study. *Computational Materials Science*, 114-119.

Chinnamma, M., Salini, B., Harish, M., & Pradeep, T. (2015). Production of coconut methyl ester (CME) and glycerol from coconut (*Cocos nucifera*) oil and the functional feasibility of CME as biofuel in diesel engine. *Fuel* 140, 4-9.

Chumpitaz, L. D., Coutinho, L. F., & Meirelles, A. J. (1999). Surface Tension of Fatty Acids and Triglycerides. *JAOCS*, 379-382.

Cundiff, J. S. (2002). *FLUID POWER CIRCUITS and CONTROLS Fundamentals and Applications*. Florida: CRC Press.

de-Gennes, P. (1985). Wetting : Statics and Dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 827-861.

DESIRAJU, G. R., & STEINER, T. (2001). *The Weak Hydrogen Bond ,In Structural Chemistry and Biology*. Oxford: Oxford University Press.

EPSTEIN, N. (1983). Thinking about Heat Transfer Fouling: A 5 × 5 Matrix. *Heat Transfer Engineering*, 43-56.

Erbil, H. Y. (2006). *Surface Chemistry Of Solid and Liquid Interfaces*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.

FOGLER, H. S. (2004). *Elements of Chemical Reaction Engineering*. New Delhi: Prentice-Hall of India.

Fowkes, F. M. (1964). Attractive Forces at Interface. *Industrial and Engineering Chemistry*, 40-52.

Fryer, P. J., Robbins, P. T., & Asteriadou, K. (2011). Current knowledge in hygienic design: can we minimize fouling and speed cleaning? *Procedia Food Science*, 1753-1760.

Glasner, K. B. (2003). Spreading of droplets under the influence of intermolecular forces. *Physics of fluids*, 1837-1842.

Goode, K., Bowen, J., Akhtar, N., Robbins, P., & Fryer, P. (2013). THE EFFECT OF TEMPERATURE ON ADHESION FORCES BETWEEN SURFACES AND MODEL FOODS CONTAINING WHEY PROTEIN AND SUGAR. *Journal of Food Engineering*, 1-20.

Gotor, A. A., & Rhazi, L. (2016). Effects of refining process on sunflower oil minor components: a review. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 207.

Gubitz, G. M., Mittelbach, M., & Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jathropa Curcas L.* *Bioresource Technology*, 73-82.

Hunter, R. J. (1981). *Zeta Potential In Colloid Science Principles and Application*. San Diego: Academic Press.

Isele Holder, R. E., & Ismail, A. E. (2016). Classification of Precursors in Nanoscale Droplets. *Physical Review*, 043319-1-9.

Ishiyama, E. M., Paterson, W. R., & Wilson, D. I. (2009). Platform for Techno-economic Analysis of Fouling Mitigation Options in Refinery Preheat Trains. *Energy & Fuels*, 1323-1337.

Israelachvili, J. N. (2011). *Intermolecular and Surface Forces*. Burlington, MA: Elsevier Inc.

JEOL. (2018, Oktober 14). *JEOL corporation*. Retrieved from JEOL corporation: <https://www.jeol.co.jp/en/science/gcms.html>

Jieteng, W., Zhongliang, L., Yujun, G., Xinhua, Z., & Shuiyuan, C. (2006). Deformation of freezing water droplets on a cold copper surface. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 590-600.

Kawamura, K. (1978). The DSC Thermal Analysis of Crystallization Behaviour in Palm Oil. *Journal of the American Oil Chemist Society*, 753-758.

Kizaki, Y., Konisho, T., & Ueno, I. (2007). Precursor Film Ahead Droplet on Solid with Temperature Gradient. *Microgravity sci. technol.*, 106-108.

Konisho, T., & Ueno, I. (2009). Detection of Advancing Edge and Length of Precursor Film Ahead of Macroscopic Contact Line of Droplet Spreading on Solid Substrate. *Interdisciplinary Transport Phenomena*, 292-303.

Korhonen, T. J., Huhtamäki, T., Ikkala, O., & Ras, R. H. (2013). Reliable Measurement of the Receding Contact Angle. *Langmuir*, A-F.

Kuchin, I., & Starov, V. (2015). Hysteresis of Contact Angle of Sessile Droplets on Smooth Homogeneous Solid Substrates via Disjoining/Conjoining Pressure. *Langmuir*, 5345-5352.

Lin, Q., Qiu, F., & Sui, R. (2014). Characteristics of precursor film in the wetting of Zr-based alloys on ZrC substrate at 1253 K. *Thin Solid Films*, 231-236.

Maréchal, Y. (2007). *The Hydrogen Bond and the Water Molecule, The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio Media*. Oxford: Elsevier.

Meher, L. C., Chumarami, C. P., Arif, M. D., Ahmed, Z., & Naik, S. N. (2013). *Jatropha curcas* as a renewable source for bio-fuels—A review. *Renewable and Sustainable Source for Bio Fuels*, 397-407.

Morton, K., Tsui, O. K., Tung, C.-K., Sturm, J. C., Chou, S. Y., & Austin, R. (2010). The anti-lotus leaf effect in nanohydrodynamic bump arrays. *New Journal of Physics*, 1-15.

O'Brien, R. D. (2009). *Fats and Oils, Formulating and Processing for Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Oss, C. V., & Giese, R. F. (1995). THE HYDROPHILICITY AND HYDROPHOBICITY OF CLAY MINERALS. *Clays and Clay Minerals*, 474-477.

Oss, C. v., & Good, R. J. (1988). ON THE MECHANISMOF"HYDROPHOBIC" INTERACTIONS. *J. DISPERSIONSCIENCE AND TECHNOLOGY* , 355-362.

PETERMANN, L. B., JOUD, J. C., & BAROUX, B. (2008). Wettability parameters controlling the surface cleanability of stainless steel. *Contact Angle, Wettability and Adhesion*, 1-13.

Pubchem. (2018, Januari 2019 Sabtu). *Pub Chem*. Retrieved from The Pub Chem: pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

PubChem. (2018, Oktober Rabu). *Pub Chem*. Retrieved from Pub Chem: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

Ramadhass, A. S., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2004). Use of Vegetable oil as IC engine fuels A review. *Renewable energy*, 727-742.

Reger, D. L., Goode, S. R., & Ball, D. W. (2010). *CHEMISTRY: Principles and Practice*. Belmont: Brooks/Cole.

Rizza, M. A., Wijayanti, W., Hamidi, N., & Wardana, I. (2018). Role of Intermolecular Forces on the Contact Angle of Vegetable Oil Droplets during the Cooling Process. *The Scientific World Journal*, 1-8.

Shi, X., Tal, G., Hankins, N. P., & Gitis, V. (2014). Fouling and cleaning of ultrafiltration membranes: A review. *Journal of Water Process Engineering* , 121-138.

Silberberg, M. S. (2006). *Chemistry The Molecular Nature of Matter and Change*. New York: Mcfraw-Hill,.

Speight, J. G. (2015). *Fouling in Refineries*. Kidlington, Oxford,: Elsevier.

Starov, V. M. (2013). Disjoining Pressure. *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*, 1-9.

Stoker, H. S. (2010). *General, Organic, and Biological Chemistry*. Belmont, CA: Brooks/Cole.

VISWANATH, D. S., GHOSH, T. K., PRASAD, D. H., DUTT, N. V., & RANI, K. Y. (2007). *VISCOSITY OF LIQUIDS Theory, Estimation, Experiment, and Data*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Williams, L. D. (2018, Oktober Senin). *Molecular Interactions*. Retrieved from Williams Home: https://ww2.chemistry.gatech.edu/~lw26/structure/molecular_interactions/mo [I_int.html](#)

Xian, A. P. (1993). Precursore Film of Tin Based Active Solder Wetting on Ceramic. *Journal of Material Science*, 1019-1030.

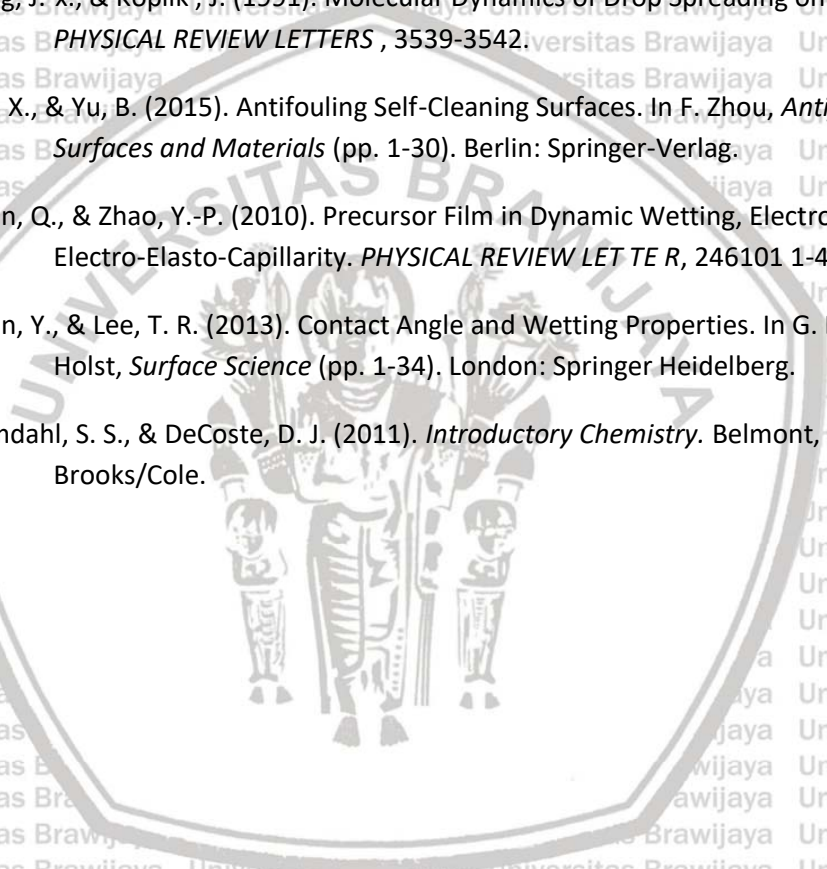
Yang, J.-x., & Koplik, J. (1991). Molecular Dynamics of Drop Spreading on a Solid Surface. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, 3539-3542.

Yin, X., & Yu, B. (2015). Antifouling Self-Cleaning Surfaces. In F. Zhou, *Antifouling Surfaces and Materials* (pp. 1-30). Berlin: Springer-Verlag.

Yuan, Q., & Zhao, Y.-P. (2010). Precursor Film in Dynamic Wetting, Electrowetting, and Electro-Elasto-Capillarity. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, 246101 1-4.

Yuan, Y., & Lee, T. R. (2013). Contact Angle and Wetting Properties. In G. Bracco, & B. Holst, *Surface Science* (pp. 1-34). London: Springer Heidelberg.

Zumdahl, S. S., & DeCoste, D. J. (2011). *Introductory Chemistry*. Belmont, CA: Brooks/Cole.



LAMPIRAN

