



**STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN
TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAN
PERMUKAAN POLISTIRENA VARIASI PELARUT**

SKRIPSI

Oleh :

CHOIRUL ANWAR

125090301111003



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2017**

[illegible]



STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN POLISTIRENA VARIASI PELARUT

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Oleh :

CHOIRUL ANWAR
125090301111003



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2017

[illegible]

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN
TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAN
PERMUKAAN POLISTIRENA VARIASI PELARUT**

oleh
CHOIRUL ANWAR
125090301111003

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I**Pembimbing II****Dr. Eng. Masruroh, M.Si****NIP. 19751231 200212 2 002****Muhammad Ghufron, S.Si., M.Si****NIP. 19880727 201404 1 002****Mengetahui,****Ketua Jurusan Fisika****Fakultas MIPA Universitas Brawijaya****Sukir Maryanto, Ph.D****NIP. 19710621 199802 1 001**

[illegible]

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Choirul Anwar
NIM : 125090301111003
Program Studi : Fisika
Penulis skripsi berjudul :

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN POLISTIRENA VARIASI PELARUT

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 24 Januari 2017

Yang menyatakan,

(Choirul Anwar)
NIM. 125090301111003

STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAN PERMUKAAN POLISTIRENA DENGAN VARIASI PELARUT

ABSTRAK

Telah dilakukan perlakuan plasma nitrogen terhadap permukaan lapisan polistirena menggunakan variasi pelarut yaitu kloroform, toluena, xylene, dan tetrahidrofuran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh plasma nitrogen terhadap kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan lapisan tipis polistirena dengan pelarut berbeda. Lapisan tipis polistirena dideposisikan menggunakan metode *spin coating* kemudian dilakukan perlakuan plasma selama 2 menit, daya 40 Watt dan pada tekanan 0.3 Torr. Sampel dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik olympus BX51, TMS-1200 polytech dan pengukur sudut kontak. Hasil karakterisasi menunjukkan adanya perbedaan morfologi sebelum dan sesudah perlakuan plasma. Terjadi penurunan nilai kekasaran pada permukaan semua lapisan tipis polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma. Penurunan nilai kekasaran paling besar terjadi pada lapisan tipis polistirena dengan pelarut xylene yaitu sebesar 25% dari kekasaran sebelum perlakuan plasma. Sifat kebasahan permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut mengalami penurunan dari hidrofobik menjadi lebih hidrofilik yang ditandai dengan menurunnya nilai sudut kontak sebelum perlakuan plasma adalah 90°-94° berubah menjadi 33°-48° setelah dilakukan perlakuan plasma nitrogen.

Kata kunci: polistirena, pelarut, kekasaran, tingkat kebasahan, plasma nitrogen

[illegible]



EFFECT OF NITROGEN PLASMA TREATMENT ON POLYSTYRENE SURFACE ROUGHNES AND WETTABILITY WITH DIFFERENT SOLVENT

ABSTRACT

Nitrogen plasma treatment has been performed on polystyrene thin film with different solvents: chloroform, toluene, xylene, tetrahydrofuran. The purposes of this research are to know the effect of nitrogen plasma on roughness and wettability of polystyrene surface. Polystyrene thin film was made by spin coating method. Sample was treatment by plasma for 2 minutes, power 40 watt, and pressure 0,3 Torr. Microscope optic BX51, TMS-1200 Polytech, and contact angle measurement was used to characterization sample. The result showed there are different morphology of polystyrene surface before and after plasma treatment, roughness value are decreasing for polystyrene surfaces after plasma treatment. The highest decrease of roughness value occurs in the polystyrene thin film with xylene solvent with 25% decrease. Wettability properties of the polystyrene thin film surface was decreased from hydrophobic to hydrophilic that indicated by decreasing value of the contact angle from 90° - 94° to 33° - 48° after nitrogen plasma treatment.

Keywords: Polystyrene, solvent, roughness, wettability, nitrogen plasma

[illegible]



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, karunia, bimbingan, kekuatan, dan kesehatan yang diberikan-Nya. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad S.A.W yang telah menuntun penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “STUDI PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN TERHADAP KEKASARAN DAN TINGKAT KEBASAHAAN PERMUKAAN POLISTIRENA VARIASI PELARUT”. Selama penyusunan laporan skripsi ini, tidak sedikit kesulitan yang dialami penulis serta tidak lepas bimbingan, dorongan, bantuan dan peran aktif dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Kedua Orang tua yang selalu mendukung baik moril maupun materil.
2. Ibu Dr. Eng. Masruroh, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing I dan Bapak Muhammad Ghufron, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan dukungan, bimbingan, kepercayaan, kritik dan saran dalam proses menyelesaikan penelitian.
3. Direktorat Riset dan Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, melalui DIPA Universitas Brawijaya dengan no. 137/SP2H/LT/DRPM/III/2016 yang telah mendanai penelitian ini.
4. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Brawijaya.
5. Keluarga besar Jurusan Fisika dimulai dari Ketua Jurusan, Dosen-dosen, Staff Tata Usaha, Ketua Laboratorium dan para Laboran, yang telah memfasilitasi semua yang penulis butuhkan selama pelaksanaan skripsi.
6. Teman-teman Fisika Material Angkatan 2012, kakak tingkat, adik tingkat, dan semua sahabat dekat, untuk semua



pertemanan yang telah diberikan selama perkuliahan dan pelaksanaan skripsi.

7. Teman-teman satu atap pram, Zen, Dinda dan arvi yang telah mendukung baik moril maupun materiil

8. Semua pihak yang terlibat dalam pengerjaan skripsi ini baik secara langsung dan tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas bantuannya baik tenaga, fisik, maupun pikiran.

9. Pembaca yang telah meluangkan waktunya untuk membaca laporan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis mohon kiranya dapat dimaklumi dan penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari pembaca yang sangat membangun. Semoga penyusunan dan penulisan laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 24 Januari 2017

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

LEMBAR PERNYATAAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.2 Rumusan Masalah

1.3 Batasan Masalah

1.4 Tujuan

1.5 Manfaat

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Quartz Crystal Microbalance*

2.2 Morfologi Permukaan QCM sebagai biosensor

2.3 Hubungan kekasaran Permukaan dengan Tingkat

Kebasaan

2.4 Pembentukan Plasma

2.5 Pengaruh Plasma pada Polimer

2.6 Polistirena

2.7 Solubilitas Polistirena

2.10 Kekasaran Permukaan

2.10.1 Parameter Sz

2.10.2 Parameter Sa dan Sq

2.11 *Spin Coating*



2.12 *Topography Measurement System (TMS)* 20

BAB III METODE PENELITIAN 21

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 21

3.2 Alat dan Bahan 21

3.3 Tahapan Penelitian 21

3.3.1 Persiapan Sampel 21

3.3.2 Pembuatan Larutan 21

3.3.3 Deposisi Lapisan Tipis Polistirena 22

3.3.4 Karakterisasi Lapisan Tipis Polistirena 23

3.3.5 Perlakuan Plasma Nitrogen 25

3.3.6 Karakterisasi Setelah Perlakuan Plasma 27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29

4.1 Pengaruh Perbedaan Pelarut Terhadap morfologi dan sifat Permukaan Polistirena 29

4.2 Pengaruh Perlakuan Plasma Terhadap Kekasaran dan *Wettability* permukaan Polistirena Variasi Pelarut 36

4.2.1 Morfologi Permukaan 37

4.2.2 Tingkat Kebasahan Permukaan Polistirena 43

BAB V PENUTUP 49

5.1 Kesimpulan 49

5.3 Saran 49

DAFTAR PUSTAKA 51

LAMPIRAN 55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Mode potongan kristal QCM AT-Cut (Marx, 2003)	
(b) bentuk fisik QCM.....	5
Gambar 2.2 QCM sebagai sensor dan cara kerja piezoelektrik.....	6
Gambar 2.3 Imobilisasi biomolekul dengan morfologi struktur	
(a) permukaan halus dan (b) kasar.....	6
Gambar 2.4 Ilustrasi perbedaan sudut kontak pada permukaan.....	7
Gambar 2.5 Sudut kontak model Young.....	8
Gambar 2.6 (a) Sudut kontak permukaan ideal menurut persamaan	
Young (b) sudut kontak sebenarnya (Wenzel, 19963).....	8
Gambar 2.7 Tingkatan suatu zat (http:// connorsscience.com).....	9
Gambar 2.8 Ilustrasi proses pembentukan plasma menggunakan	
generator plasma AC (www.piescientific.com).....	10
Gambar 2.9 Ilustrasi ion bombardment di dalam plasma.....	11
Gambar 2.10 Mekanisme (a) ablasi (b) Crosslinking (c) surface	
activation permukaan polimer dengan plasma.....	12
Gambar 2.11 Struktur molekul Polistirena.....	13
Gambar 2.12 Kelarutan polistirena dengan beberapa pelarut	
menggunakan diagram Hoernschemeyer.....	15
Gambar 2.13 (A) pengukuran parameter Sz (B) parameter Sp (C)	
parameter Sv.....	17
Gambar 2.14 (A) pengukuran parameter Sa (B) parameter Sq	
(http://www.olympus-	
ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/3d_	
parameter/	18
Gambar 2.15 Tahapan deposisi lapisan tipis <i>spin coating</i> (Sahu,	
2009).....	19
Gambar 2.16 Konfigurasi interferometer TMS 1200.....	20
Gambar 2.17 Proses scanning TMS 1200.....	20
Gambar 3.1 Luasan pengambilan data TMS-1200.....	23
Gambar 3.2 Diagram alir tahapan sebelum perlakuan plasma.....	24
Gambar 3.3 Diagram alir persiapan perlakuan plasma.....	26
Gambar 3.4 Diagram alir perlakuan plasma.....	27
Gambar 3.5 Sistem Plasma Nitrogen.....	28



Gambar 4.1 Perbedaan morfologi permukaan QCM dengan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut	29
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara energi uap pelarut dan nilai kekasaran permukaan polistirena	32
Gambar 4.3 Ilustrasi pembentukan lapisan tipis polistirena dengan pelarut berbeda	33
Gambar 4.4 Sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut	34
Gambar 4.5 Grafik hubungan kekasaran permukaan dengan sudut kontak sebelum perlakuan plasma	35
Gambar 4.6 Ilustrasi (a) sudut kontak kurang dari 90° (b) sudut lebih dari 90°	36
Gambar 4.7 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut kloroform sebelum dan sesudah perlakuan plasma	37
Gambar 4.8 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut toluena sebelum dan sesudah perlakuan plasma	38
Gambar 4.9 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut xylene sebelum dan sesudah perlakuan plasma	38
Gambar 4.10 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut tetrahidrofuran sebelum dan sesudah perlakuan plasma	39
Gambar 4.11 Ilustrasi Perubahan morfologi lapisan tipis polistirena akibat deformasi	40
Gambar 4.12 Hasil karakterisasi TMS lapisan tipis polistirena pelarut xylene sebelum perlakuan plasma	41
Gambar 4.13 Hasil karakterisasi TMS lapisan tipis polistirena sesudah perlakuan plasma	41
Gambar 4.14 Grafik nilai kekasaran permukaan lapisan tipis polistirena sebelum dan sesudah perlakuan plasma	42
Gambar 4.15 Nilai sudut kontak lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma	45
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara kekasaran dan sudut kontak permukaan setelah perlakuan plasma	47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai solubilitas dari bahan polimer berdasarkan Hildebrand and Hansen solubility parameters (Hansen hildebrand, 1966).....	15
Tabel 2.2 Sifat fisika dan kimia pelarut (Smallwood, 1996).....	16
Tabel 4.1 Perbedaan nilai kekasaran polistirena masing-masing pelarut.....	31
Tabel 4.2 Nilai kekasaran permukaan polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma.....	43
Tabel 4.3 perbedaan sudut kontak permukaan polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma.....	46



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data kekasaran permukaan polistirena sebelum perlakuan plasma.....	55
Lampiran 2 Data kekasaran permukaan polistirena setelah perlakuan plasma.....	55
Lampiran 3 Data sudut kontak masing-masing polistirena sebelum perlakuan plasma.....	56
Lampiran 4 Data sudut kontak masing-masing sampel setelah dilakukan perlakuan plasma.....	58
Lampiran 5 Bahan Penelitian.....	60
Lampiran 6 Peralatan penelitian.....	61



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan resonator kuarsa yang sensitif terhadap perubahan massa yang terdeposisi di atasnya berdasarkan pergeseran frekuensi yang terukur. QCM bekerja berdasarkan prinsip piezoelektrik yaitu suatu sifat material yang akan mengalami osilasi ketika terdapat medan listrik yang diberikan terhadapnya dan menghasilkan muatan listrik ketika diberi beban mekanik (Vijaya, 2013).

Dalam perkembangannya sebagai biosensor, permukaan QCM dimodifikasi dengan dilakukan deposisi lapisan tipis untuk melindungi elektroda QCM yang terbuat dari bahan logam dari proses oksidasi yang mengakibatkan korosi karena bekerja dilingkungan air serta sebagai matriks untuk tempat terjadinya immobilisasi biomolekul. Permukaan sensor merupakan bagian yang sangat penting karena akan menentukan bagaimana permukaan ketika berinteraksi dengan lingkungannya terutama pada saat proses immobilisasi terhadap biomolekul. Membran atau lapisan tipis polistirena sangat dianjurkan dalam mengikat (*immobile*) enzim atau protein karena memiliki biokompatibilitas yang baik, tidak beracun, gaya tarik yang tinggi, adsorpsi yang kuat, kekakuan fisik dan inertitas kimia dalam reaksi biologi (Wang, 2013) serta telah berhasil digunakan sebagai bioimunosensor (Sakti et al., 2001).

Polistirena merupakan bahan polimer non-polar berbentuk padatan sehingga sebelum dilakukan deposisi sebagai lapisan tipis harus dilarutkan menggunakan pelarut non-polar yang mudah menguap dan merupakan larutan yang memiliki nilai parameter kelarutan yang hampir sama atau mendekati nilai parameter kelarutan zat terlarut (Garcia et al., 2009) seperti kloroform, toluena, xylene, dan tetrahidrofurana (THF). Dimana tiap pelarut memiliki properti-properti fisika maupun kimia yang berbeda-beda. Hal ini bisa mempengaruhi morfologi permukaan polistirena (Masruroh et al., 2014).

Perlakuan plasma terhadap permukaan polimer telah luas digunakan dengan tujuan untuk memodifikasi fungsi dari permukaan tanpa merusak sifat dari polimer sendiri. Salah satunya adalah



menggunakan teknologi plasma. Gas yang terionisasi melalui sistem plasma dipaparkan terhadap permukaan polimer dan akibat adanya tumbukan atom gas yang terionisasi dengan permukaan polimer di dalam reaktor plasma mengakibatkan terjadi perubahan pada permukaan polimer dengan perlakuan plasma diantaranya seperti ikatan silang (*crosslinking*), pengikisan (*etching*), deposisi lapisan dan fungsionalisasi permukaan bahan (Selim et al., 2007). Gas-gas yang sering digunakan dalam plasma diantaranya adalah Ar, N₂, O₂, NH₃, dan CF yang mana setiap gas memiliki karakteristik yang berbeda dari properti fisika dan properti kimia. Sehingga mampu merubah morfologi permukaan polimer dan sifatnya. Penggunaan gas nitrogen untuk perlakuan plasma terhadap permukaan polimer menunjukkan adanya penambahan atom N pada rangkaian hidrokarbon polimer (Foerch & Hunter, 1992). Perubahan yang dapat diamati pada permukaan polimer setelah dilakukan perlakuan plasma diantaranya adalah morfologi permukaan dimana dapat dilihat dari kekasaran atau kehalusan yang terbentuk sebelum dan setelah dilakukan perlakuan plasma sedangkan sifat permukaan polimer dapat dilihat dari tingkat kebasahan permukaan (*wettability*) yaitu hidrofobik dan hidrofilik permukaan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh pelarut kloroform, toluena, xylene, tetrahidrofurana terhadap kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan polistirena?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan plasma terhadap kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan polistirena variasi pelarut?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan parameter plasma diantaranya daya 40 watt, tekanan 0,3 Torr dan selama 2 Menit.
2. Menggunakan larutan polistirena konsentrasi 3%
3. Deposisi lapisan tipis polistirena menggunakan metode *spin coating*.

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi pelarut terhadap kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan polistirena
2. Mengetahui pengaruh perlakuan plasma terhadap morfologi kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan lapisan tipis polistirena dengan variasi pelarut.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

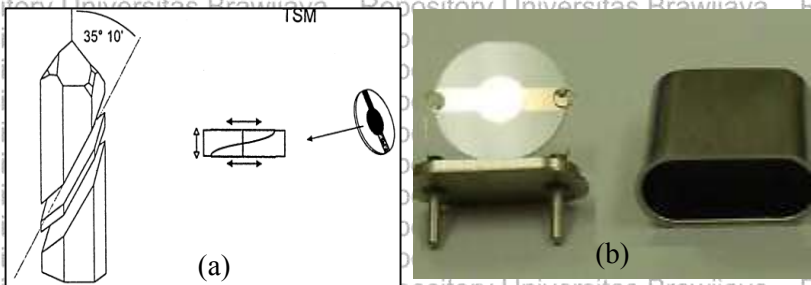
1. Mendukung pengembangan sensor berbasis QCM.
2. Memberikan informasi pengaruh plasma nitrogen terhadap bahan polimer terutama polistirena

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Quartz Crystal Microbalance*

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sensor yang sensitif terhadap perubahan massa per satuan luas dengan mengukur perubahan frekuensi dari resonator kristal. Resonansi terdistribusi dengan adanya penambahan atau pengurangan massa yang kecil pada permukaan elektroda QCM. QCM sebagai sensor dapat digunakan pada fase vakum, fase gas (King, 1964), maupun pada fase cair. QCM memiliki elektroda pada kedua sisi permukaannya yang terbuat dari emas atau perak. QCM terbuat dari bahan kristal SiO_2 (silikon dioksida) yang memiliki sifat tidak larut dalam air, tahan pada temperatur tinggi tanpa menghilangkan sifat piezoelektriknya dan memiliki frekuensi resonansi mode TSM (*Thickness Shear Mode*) dimana pergerakan osilasi dari QCM bergerak menyamping kearah permukaan yang tergantung pada cara memotongnya.

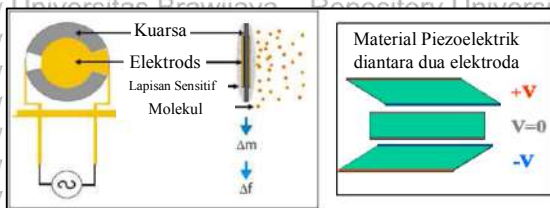


Gambar 2.1 (a) Mode potongan kristal QCM AT-Cut (Marx, 2003) (b) bentuk fisik QCM

Untuk beberapa aplikasi tertentu, QCM dipotong pada bidang AT hal ini dilakukan karena pemotongan mode AT-Cut memiliki resonansi paling stabil dan hampir tidak ada fluktuasi temperatur yang disebabkan beresonansinya kuarsa pada temperatur ruang. Dengan sudut pemotongan sekitar 35° dari sudut Z seperti pada **gambar 2.1** dengan ketebalan sepuluh milimeter (Marx, 2003).

QCM sebagai biosensor sudah banyak dikembangkan karena memiliki kemampuan untuk mendeteksi adanya perubahan massa yang sangat kecil pada range $1\text{-}250 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Sakti, 2001) yang

terdeposisi diatasnya dengan mengirimkan sinyal perubahan frekuensi dalam bentuk pulsa listrik menggunakan instrumen *frekuensi counter*. Ketika massa terdeposisi QCM akan mengalami perubahan frekuensi sebesar Δf sehingga frekuensi osilasi dapat di ubah menjadi fungsi massa

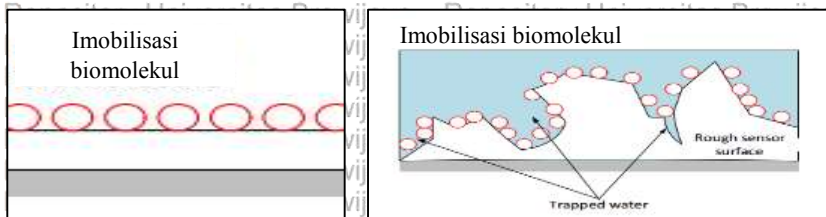


Gambar 2.2 QCM sebagai sensor dan cara kerja piezoelektrik

Resonansi QCM disebabkan adanya sifat piezoelektrik yang dimiliki oleh kristal kuarsa yang merupakan bahan dasar QCM. Efek piezoelektrik merupakan suatu fenomena material ketika diberi medan listrik mengalami deformasi mekanik dan sebaliknya ketika diberi beban mekanik menghasilkan muatan listrik.

2.2 Morfologi Permukaan QCM sebagai biosensor

Dalam aplikasi *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) sebagai biosensor, permukaan sensor QCM harus dimodifikasi terlebih dahulu dengan mendeposisikan lapisan tipis tujuannya adalah sebagai pelindung terjadinya oksidasi pada elektroda QCM yang terbuat dari logam seperti emas atau perak ketika kontak dengan cairan penyangga (*buffer*) dan sebagai matriks untuk tempat terjadinya immobilisasi molekul dengan cara adsorpsi fisika pada saat pengukuran.

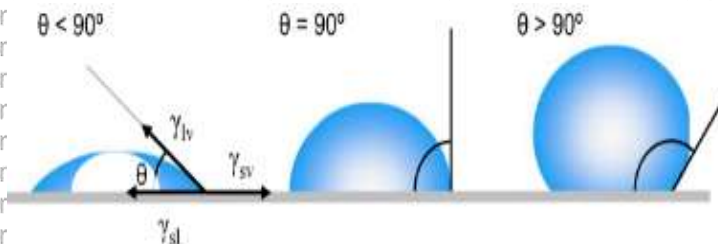


Gambar 2.3 Immobilisasi biomolekul dengan morfologi struktur (a) permukaan halus dan (b) kasar (Sakti & Santjojo, 2012)

Morfologi permukaan sangat penting dalam proses adsorpsi molekul. Permukaan lapisan tipis sensor yang kasar akan menghasilkan tempat terjadinya pengikatan biomolekul yang lebih banyak yang disebabkan geometri permukaan sensor meningkatnya pengikatan biomolekul karena luas area yang tegak lurus dengan permukaan sensor lebih besar. Permukaan sensor yang kasar akan ada banyak air yang terperangkap sehingga akan menurunkan frekuensi dari QCM yang mana perubahan ini bukan merupakan hasil dari pengukuran tetapi dianggap sebagai frekuensi awal. Penelitian yang telah dilakukan oleh Fenny Irawati (Irawati dkk., 2013) menunjukkan sensor dengan permukaan hidrofobik lebih baik karena dapat lebih banyak mengikat biomolekul. Ikatan yang terjadi adalah ikatan secara adsorpsi fisika dimana biomolekul diadsorpsi pada permukaan sensor akibat adanya gaya van der Waals antar materi yang berinteraksi. Penelitian yang lain menyebutkan permukaan QCM yang memiliki sifat hidrofilik dapat menngadsorpsi molekul protein dua kali lebih banyak jika dibandingkan dengan permukaan QCM yang bersifat hidrofobik (Recek et al., 2013).

2.3 Hubungan kekasaran Permukaan dengan Tingkat Kebasahan

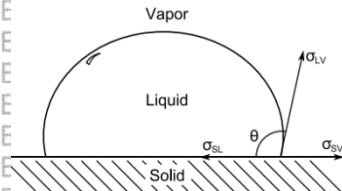
Tingkat kebasahan (*wettability*) merupakan sifat permukaan ketika kontak dengan cairan apakah bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Sifat hidrofobik atau hidrofilik permukaan dapat diamati menggunakan besar sudut kontak (Marmur, 2006) dimana semakin besar sudut kontak permukaan bahan maka akan semakin hidrofobik permukaannya. Sudut kontak merupakan representasi makroskopik dari sebuah fenomena mikroskopik. Fenomena tersebut merupakan karakteristik mikroskopik yang meliputi kekasaran permukaan yang berkaitan dengan energi permukaan.



Gambar 2.4 Ilustrasi perbedaan sudut kontak pada permukaan

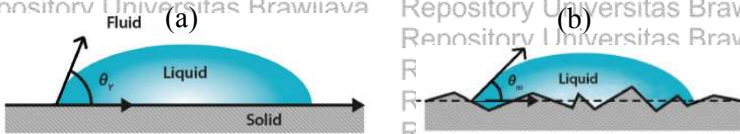
Sudut kontak diartikan sebagai sudut yang dibentuk oleh perpotongan antara permukaan permukaan zat padat-cair dan permukaan zat cair-udara dengan cara menerapkan garis singgung dari titik kontak ke sepanjang permukaan cair-udara (Yuan & Lee, 2013). Gambar 2.5 diatas menjelaskan sudut kontak yang kecil memiliki sudut lebih kecil dari 90° yang menunjukkan bahwa permukaan bersifat hidrofilik sedangkan sudut kontak besar > 90° menunjukkan permukaan yang bersifat hidrofobik. Pengukuran sudut kontak telah dilakukan dengan menggunakan sudut kontak statis pada bidang datar didefinisikan dengan persamaan young (Adamson & Gast, 1997) menggunakan tegangan permukaan antara zat padat dan cair σ_{SL} , tegangan permukaan padat uap σ_{SV} , dan tegangan permukaan cair uap σ_{LV} . Dimana :

$$\sigma_{LV} \cos \theta_y = \sigma_{SV} - \sigma_{SL} \quad (2.1)$$



Gambar 2.5 Sudut kontak model Young

Namun persamaan young menganggap bahwa permukaan terkait memiliki sifat kimia yang homogen dan bentuk topography yang halus dan ini bukan merupakan kekasaran permukaan yang sebenarnya. (Wenzel, 1936) telah melakukan pengukuran sudut kontak dimana terdapat perbedaan antara permukaan ideal menurut Young dengan hasil sudut kontak yang sebenarnya yang terlihat seperti gambar



Gambar 2.6 (a) Sudut kontak permukaan ideal menurut persamaan Young (b) sudut kontak sebenarnya (wenzel, 19963)

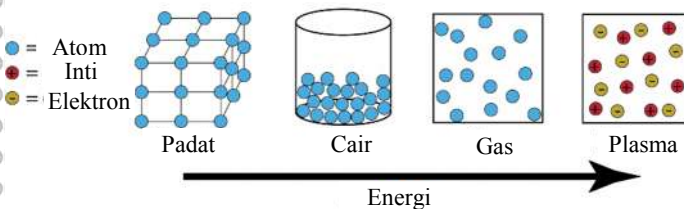
Hubungan antara kekasaran permukaan dengan dengan sifat hirofobik permukaan bahan telah dijelaskan oleh (Wenzel, 1963) yang mengembangkan model sebelumnya (model young). Dimana penambahan kekasaran permukaan bahan yang bersifat hidrofobik akan semakin hidrofobik dan sebaliknya penambahan kekasaran permukaan bahan yang bersifat hidrofilik akan semakin hidrofilik. Pernyataan Wenzel tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\cos \theta_m = r \cos \theta_y \quad (2.2)$$

Dimana θ_m adalah sudut kontak sebenarnya (pada permukaan kasar), θ_y adalah sudut kontak young **persamaan 2.2** (sudut kontak pada bidang datar) dan r adalah rasio kekasaran. Pengukuran sudut kontak juga bisa menggunakan metode Goniometri dimana menggunakan profil gambar dari droplet dari air aquades ditetaskan pada permukaan dan sudut kontak dapat diukur secara langsung.

2.4 Pembentukan Plasma

Plasma merupakan fase gas terionisasi (materi keempat setelah gas) yang terdiri dari partikel-partikel bermuatan seperti ion, elektron dan atom atau molekul netral. Ketika atom-atom gas diberikan energi (panas atau listrik) atom-atom gas akan mengalami ionisasi dengan melepas elektron (Nur, 2011).

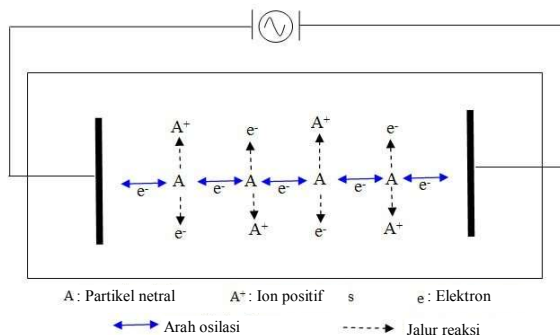


Gambar 2.7 Tingkatan suatu zat ([http:// connorssciencelab.com](http://connorssciencelab.com))

Proses ionisasi merupakan bagian terpenting dari pembentukan plasma. Energi yang dibutuhkan untuk melepas elektron dari tingkat orbitnya disebut sebagai energi ionisasi (E_i).

Pada aplikasi teknik modifikasi permukaan pembentukan plasma menggunakan energi panas tidak efektif karena panas yang

terlalu tinggi akan merusak sampel seperti polimer. Metode yang umum digunakan dalam pembangkitan plasma adalah dengan menerapkan medan listrik seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi proses pembentukan plasma menggunakan generator plasma AC (www.piescientific.com)

Pada proses pembentukan plasma, dua plat sejajar sebagai dua elektroda diletakkan didalam ruang bertekanan rendah. Ketika kedua elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan yang memiliki beda potensial yang sangat tinggi, awan elektron yang berada dipermukaan logam sebagai elektroda akan mengalami loncatan elektron kearah elektroda yang memiliki potensial rendah. Selama pergerakan elektron tersebut elektron menumbuk molekul-molekul ataupun atom gas yang menyebabkan terjadinya ionisasi.

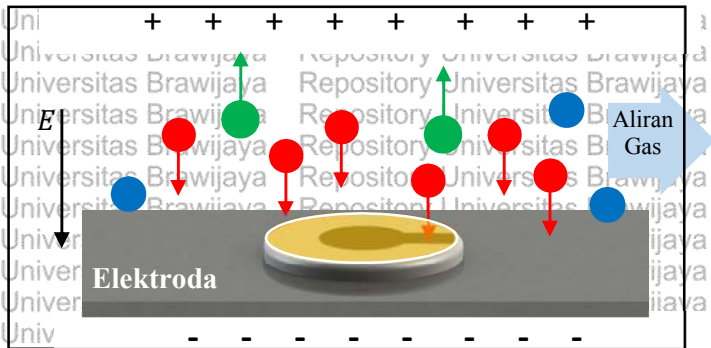
Ionisasi dapat terjadi jika energi elektron yang menumbuk molekul atau atom gas lain memiliki energi yang lebih besar atau sama (tumbukan tak elastis). Dapat ditulis dengan persamaan:

$$\frac{1}{2} m_e v_e^2 \geq eV_i \quad (2.3)$$

Dimana m_e adalah elektron, v_e adalah kecepatan elektron, e adalah muatan elektron, dan V_i adalah potensial ionisasi dari atom atau molekul. Didalam plasma tidak hanya terjadi ionisasi tetapi juga terjadi rekombinasi yaitu peristiwa kebalikan dari ionisasi yaitu kembalinya satu atau lebih elektron bergabung dengan atom atau molekul lain yang kekurangan elektron sehingga atom tersebut menjadi netral kembali (Nur, 2011).

2.5 Pengaruh Plasma pada Polimer

Ketika sebuah partikel bermuatan positif atau ion positif yang berasal dari proses ionisasi dipengaruhi oleh medan listrik maka partikel tersebut akan bergerak dengan percepatan konstan searah dengan arah medan listrik. Sampel yang terletak diantara kedua elektroda tepatnya elektroda bawah kemudian akan tertumbuk oleh ion-ion positif.



● Partikel bermuatan positif

● Partikel bermuatan negatif

ps Lapisan tipis polistirena
diatas QCM

● Partikel netral

Gambar 2.9 Ilustrasi ion bombardment di dalam plasma

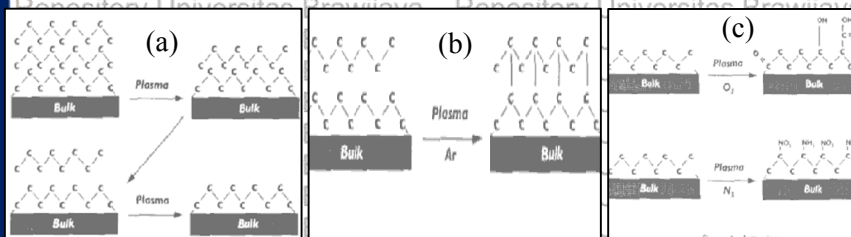
Modifikasi permukaan polimer menggunakan teknologi plasma merupakan teknik yang aman dan ramah lingkungan (Jeremy, 2003) sehingga dapat memilih dengan bebas gas yang akan digunakan untuk menentukan fungsionalisasi yang diinginkan seperti gas oksigen dan nitrogen dapat meningkatkan energi permukaan polimer, sementara gas fluor dapat menurunkan energi permukaan polimer dan meningkatkan inertitas kimia. Sementara itu, gas inert dapat membentuk ikatan silang pada permukaan polimer. Modifikasi yang dilakukan hanya terbatas pada permukaan sampai ratusan angstrom (Å) tanpa mempengaruhi sifat dari polimer itu sendiri.

Efek yang dapat diakibatkan oleh plasma ketika di paparkan diatas permukaan polimer diantaranya adalah (Wolf, 2010).

a) *Surface activation* (aktifasi permukaan)

- b) *Surface ablation* (pengikisan)
- c) *Cross linking* (ikatan silang)

Pada proses ablasi ini penumbukan permukaan polimer oleh partikel berenergi seperti (radikal, ion dan elektron) dan iradiasi didalam sistem plasma mengakibatkan pemecahan rantai ikatan polimer yang menghasilkan ikatan polimer lemah dan rantai polimer menjadi lebih pendek. Produk dari proses ablasi ini berupa volatil oligomer dan monomer terangkut keluar oleh pompa vakum.



Gambar 2.10 Mekanisme (a) ablasi (b) Crosslinking (c) surface activation permukaan polimer dengan plasma

Proses *crosslinking* atau ikatan silang terjadi pada permukaan polimer yang terkena paparan plasma menggunakan gas-gas inert seperti Argon dan helium. Terjadi pemecahan ikatan pada permukaan polimer, tetapi karena menghasilkan radikal bebas, molekul kemungkinan dapat melakukan salah satu dari tiga hal yaitu:

- 1) Melakukan rekombinasi dengan produk hasil pemecahan ikatan polimer kemudian kembali ke keadaan semula
- 2) Bereaksi dengan radikal bebas yang terhubung dengan rantai yang sama dan membentuk ikatan rangkap dua atau rangkap tiga
- 3) Dapat membentuk ikatan dengan radikal bebas terdekat pada rantai yang sama (*Crosslinking*)

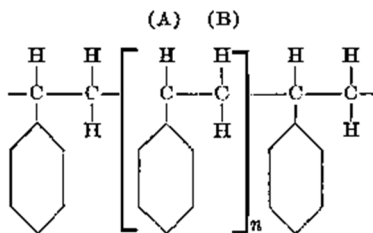
Proses aktivasi terjadi ketika gugus fungsi permukaan polimer digantikan oleh atom-atom berbeda atau gugus fungsi dari gas yang digunakan dalam proses plasma. Efek paparan plasma terhadap permukaan polimer dapat memutus ikatan hidrogen polimer dan membentuk radikal bebas pada permukaan polimer. Radikal bebas

cenderung tidak stabil, cepat beraksi dengan radikal bebas yang lain dan membentuk dengan membentuk ikatan kovalen. Proses aktivasi ini menjadi sangat penting karena dapat memodifikasi fungsi dari permukaan tanpa merubah properti sampel (Finson, 1995):

2.6 Polistirena

Polistirena merupakan polimer dengan monomer stirena memiliki rumus kimia $C_6H_5CH=CH_2$ atau dapat ditulis C_8H_8 yang berarti polistirena adalah stiren yang mengalami polimerisasi dan tergolong senyawa aromatik. stirena sendiri merupakan hasil dari dehidrogenasi Etilbenzene pada reaksi endotermik fase gas reversibel (Wusch, 2000).

Beberapa lapisan tipis telah banyak dikembangkan untuk mengimmobilisasi protein atau enzim diatas elektroda QCM dan banyak bahan polimer yang bisa digunakan untuk mengimmobilisasi protein atau enzim namun, polistirena sering digunakan dalam pengembangan biosensor karena memiliki kemampuan untuk mengikat bimolekul karena biokompatibilitas yang sangat baik, tidak beracun, afinitas yang tinggi, daya adsorpsi yang kuat, dan kekakuan serta inertitas kimia dalam reaksi biologi (Wang, 2013).



Gambar 2.11 Struktur molekul Polistirena

Pada suhu ruangan, polistirena bersifat termoplastik berupa padatan yang dapat dirubah menjadi cairan pada suhu yang lebih tinggi atau menggunakan beberapa jenis pelarut kemudian kembali menjadi padat ketika pelarut tersebut mengalami penguapan. Struktur polistirena tampak seperti pada gambar 2.7 dimana n menunjukan berat molekul dari partikel polistirena yang tergantung pada kondisi saat polimerisasi. Pembagian ini dapat memudahkan analisis polistirena

ketika terjadi perubahan strukturnya. Komponen struktur kimia polistirena dibagi menjadi 3 bagian yang pertama merupakan cincin benzen, kedua adalah atom karbon tersier yang membawa satu atom hidrogen (A) dan berikatan dengan cincin benzen dan yang ketiga adalah gugus metilena yang menghubungkan dengan atom karbon sekunder yang berikatan dengan dua atom hidrogen (B) (Reiney et al., 1953)

2.7 Solubilitas Polistirena

Penentuan pelarut bagi polistirena dapat menggunakan parameter kelarutan *Hansen Solubility parameter* (HSP). Pelarut yang dapat digunakan untuk melarutkan zat terlarut adalah pelarut yang memiliki nilai R_a (jarak antara titik pelarut dengan titik pusat bola pada diagram diagram *Hoernschemeyer* **Gambar 2.12**) yang lebih kecil dari pada jarak interaksi polimer dalam hal ini adalah polistirena. Untuk menghitung nilai R_a digunakan persamaan berikut

$$R_a = \sqrt{4(\delta_{as} - \delta_{ap})^2 + (\delta_{ps} - \delta_{pp})^2 + (\delta_{hs} - \delta_{hp})^2} \quad (2.4)$$

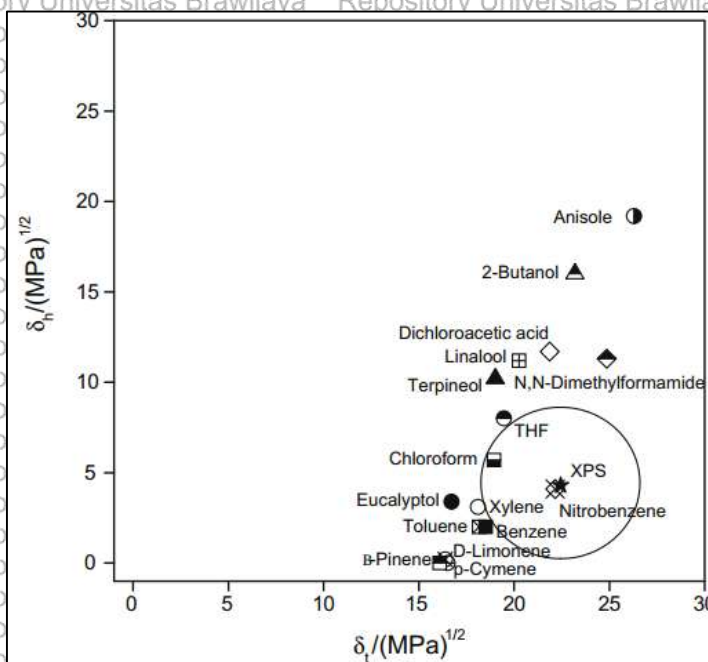
Dimana :

R_a = jarak antara titik pelarut dan pusat lingkaran atau bola kelarutan

δ_{as} = parameter kelarutan pelarut (*solvent*)

δ_{ap} = parameter kelarutan untuk polimer

Angka 4 pada persamaan 2.1 menunjukkan volume kelarutan dalam bentuk bola. Jika nilai R_a kurang atau lebih kecil dari nilai jari-jari interaksi polimer (R_o) atau perbandingan nilai (R_a/R_o) lebih kecil dari satu maka pelarut dapat melarutkan dengan baik polimer sementara jika nilai perbandingannya lebih dari satu maka kemampuan pelarut untuk melarutkan zat terlarut menurun (Garcia et al., 2009). Sehingga dapat dikatakan bahwa pelarut yang baik yang digunakan untuk melarutkan zat terlarut seperti polistirena adalah pelarut yang memiliki total nilai parameter kelarutan yang sama atau mendekati nilai parameter kelarutan dari zat terlarut.



Gambar 2.12: Kelarutan polistirena dengan beberapa pelarut menggunakan diagram Hoernschemeyer

Tabel 2.1 Nilai solubilitas dari bahan polimer berdasarkan Hildebrand and Hansen solubility parameters (Hansen hildebrand, 1966)

Pelarut	$\delta_T(\text{MPa})^{1/2}$	$\delta_d(\text{MPa})^{1/2}$	$\delta_p(\text{MPa})^{1/2}$	$\delta_h(\text{MPa})^{1/2}$
Polistirena	22,4	21,3	5,8	4,3
Benzena	18,51	18,4	0,0	2,0
Toluena	18,16	18,0	1,4	2,0
Xylene	18,10	17,8	1,0	3,1
THF	19,46	16,8	5,7	8,0
Kloroform	18,95	17,8	3,1	5,7
2-Butanol	23,2	15,8	5,7	14,5
d-Limonen	16,38	16,4	0,2	0,2

Dari tabel 2.1 tersebut terlihat bahwa pelarut yang memiliki nilai solubilitas, mendekati polistirena adalah toluena, xylen, tetrahidrofuran, dan kloroform.

Tabel 2.2 Sifat fisika dan kimia pelarut (Smallwood, 1996)

No	Sifat	Kloroform	THF	Toluena	Xylene
1	Rumus kimia	CHCl_3 	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ 	C_7H_8 	C_8H_{10} 
2	Berat molekul	119	72	92	106
3	Titik didih	61°C	66°C	110°C	136°C
4	<i>S. gravity</i>	1.480	0.888	0.867	0.870
5	Dipole	1.1 D	1.75 D	0.4	1.3
6	K. dielektrik (@20°C)	4.8	1.6	2.38	2.3
7	Energi uap (mmHg)	169	133	23.2	7.0

2.10 Kekasaran Permukaan

Kekasaran merupakan salah satu karakteristik pada material yang menunjukkan profil mikro suatu bidang permukaan. Dalam perkembangan biosensor morfologi permukaan penting terutama kekasarannya untuk meningkatkan performa sensor karena memperluas area immobilisasi molekul (Sakti et al., 2012). Morfologi permukaan dalam sensor merupakan sifat fisis yang penting karena akan menentukan bagaimana suatu permukaan akan berinteraksi dengan lingkungannya seperti permukaan kasar akan memiliki gaya gesek yang lebih tinggi dari permukaan halus dan juga mempengaruhi sifat adhesi suatu permukaan. Ada dua parameter

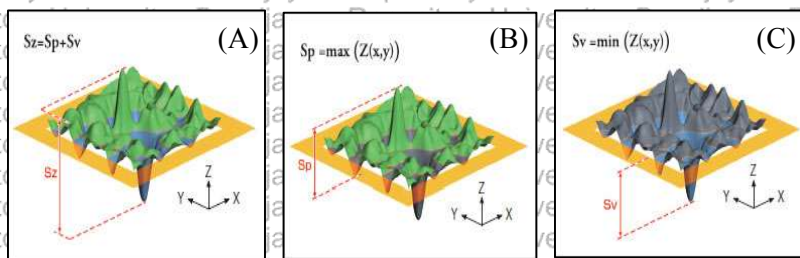


kekasaran yang sering digunakan yaitu R dan S. parameter kekasaran R mengukur nilai kekasaran hanya dalam bidang 2D berbentuk garis (dalam arah x- saja atau y- saja) sedangkan parameter kekasaran S mengukur nilai kekasaran dalam suatu bidang yang berbentuk luasan (dalam arah x dan y). Penggunaan parameter kekasaran sebuah permukaan menggunakan parameter tiga dimensi (S) menghasilkan data yang lebih baik dan dapat diterima dalam topografi permukaan (Deleanu et al, 2012).

2.10.1 Parameter Sz

Parameter Sz merupakan pengertian tiga dimensi atau lebih luas dari parameter dua dimensi Rz. Dimana nilai ini diperoleh dengan cara menjumlahkan antara nilai Sp (puncak) dan nilai Sv (lembah) pada area permukaan yang terukur. Parameter kekasaran (R) lebih efektif digunakan untuk mengetahui perbedaan ketinggian pada bidang permukaan karena hasil etching dan kurang memberikan informasi penuh untuk mengetahui kekasaran permukaan suatu luasan bidang (Dong et al., 1994).

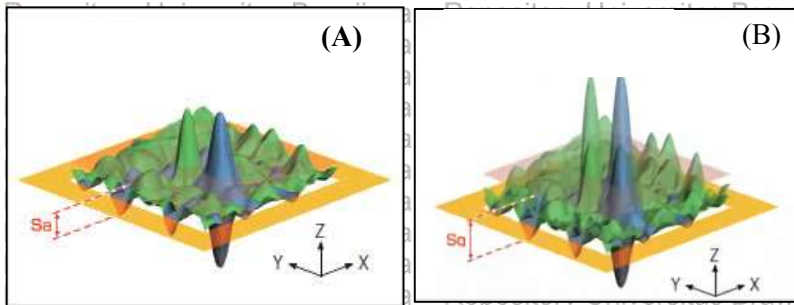
Parameter Sz merupakan pengertian tiga dimensi atau yang lebih luas dari parameter dua dimensi Rz. Dimana nilai ini diperoleh dengan cara menjumlahkan antara nilai Sp (puncak) dan nilai Sv (lembah) pada area permukaan yang terukur. Parameter kekasaran (R) lebih efektif digunakan untuk mengetahui perbedaan ketinggian pada bidang permukaan karena hasil etsa dan kurang memberikan informasi penuh untuk mengetahui kekasaran permukaan suatu luasan bidang (Dong et al., 1993).



Gambar 2.13 (A) pengukuran parameter Sz (B) parameter Sp (C) parameter Sv

2.10.2 Parameter Sa dan Sq

Merupakan parameter kekasaran permukaan tiga dimensi dari dua dimensi (Ra) yang diperoleh dengan cara merata-ratakan nilai Sz dari seluruh luasan yang terukur dalam arah x dan arah y. parameter ini sering digunakan karena pengaruh kesalahan yang kecil sehingga didapatkan hasil yang stabil. Sedangkan parameter kekasaran Sq didapatkan dengan cara mengakar kuadratkan nilai Sa yang sudah didapatkan. Kedua parameter ini menggunakan persamaan seperti pada persamaan 2.5a dan 2.5b untuk mendapatkan nilai kekasarannya seperti pada ilustrasi gambar berikut.



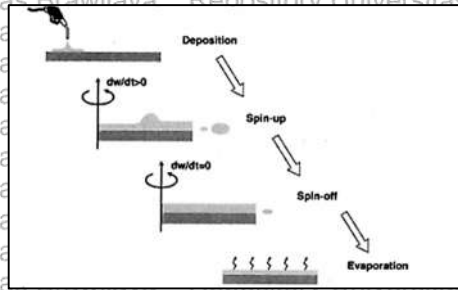
Gambar 2.14 (A) pengukuran parameter Sa (B) parameter Sq
(http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/)

$$Sa = \frac{1}{A} \iint |Z(x,y)| dx dy \quad (2.5)$$

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint |Z^2(x,y)| dx dy} \quad (2.6)$$

2.11 Spin Coating

Lapisan tipis dari bahan polimer dapat dideposisikan menggunakan alat *spin coating*. Bahan yang akan didposisikan menjadi lapisan tipis dilarutkan dahulu menggunakan pelarut yang mudah menguap. Ada empat tahapan yang dapat dijelaskan dalam proses pembuatan lapisan tispis ini diantaranya adalah *deposition*, *spin-up*, *spin-off* dan *evaporation*.



Gambar 2.15 Tahapan deposisi lapisan tipis *spin coating* (Sahu, 2009)

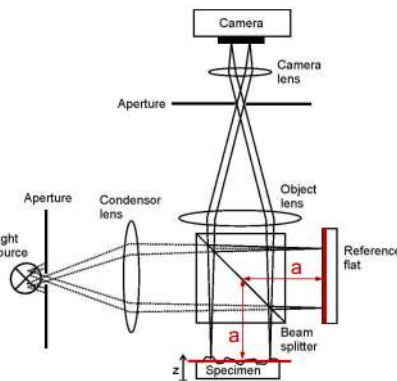
Berikut adalah penjelasan masing masing tahapan dalam deposisi menggunakan *spin coating*

1. *Deposition*, pada tahap ini bahan lapisan tipis yang sudah dilarutkan dalam pelarut yang mudah menguap ditetaskan pada daerah pusat substrat dalam keadaan kecepatan rendah sebelum transisi menuju kecepatan kedua yang lebih tinggi.
2. *Spin-up*, pada saat substrat berputar dan larutan telah ditetaskan, larutan akan menyebar melapisi seluruh permukaan secara radial karena adanya gaya sentrifugal.
3. *Spin-off*, tahap ini berlangsung ketika kecepatan putar substrat yang tinggi dan konstan, larutan yang berada ditepi substrat akan meninggalkan substrat dan lapisan yang sebelumnya ditetaskan diatas substrat akan semakin sedikit dan lapisan diatas substrat akan semakin tipis. Tingkat keseragaman lapisan tipis dipengaruhi oleh ketahanan larutan pada saat mengalir yaitu viskositas larutan dan energi uap pelarut.
4. *Evaporation*, meskipun telah terjadi proses penguapan saat awal ketika proses *spin coating* yaitu ketika kecepatan putar pada saat *spin-off* mulai melambat dan kurangnya energi uap pelarut maka perlu dilakukan proses penguapan kembali untuk benar-benar menghilangkan pelarut dalam lapisan tipis (Aguilar & López, 2011).

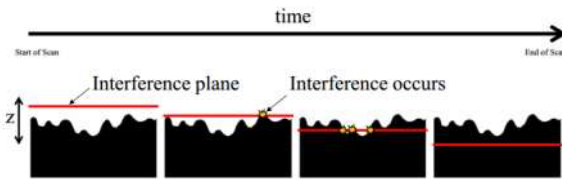
2.12 Topography Measurement System (TMS)

TMS tergolong *non-destructive* testing yaitu merupakan alat uji laboratorium non kontak tanpa merusak benda uji. Alat ini digunakan untuk menguji atau mengukur tinggi dan kekasaran profil 3D dengan range centimeter sampai dengan micrometer. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip *Interferometer Michelson* yaitu pembentukan pola interferensi gelombang cahaya.

Pola interferensi yang dihasilkan oleh *beam splitter* dari gabungan hasil pantulan cermin dan sampel dideteksi oleh sensor kamera kemudian diolah menghasilkan citra gambar. Sampel di scan dengan cara menggerakkan bidang interferensi (*interference plane*) melewati sampel. Setiap terdapat beda ketinggian (adanya puncak atau lembah) maka akan terjadi interferensi yang kemudian dideteksi oleh chip komputer untuk diolah menjadi sebuah citra gambar. Kemudian didapatkan nilai *z* yang menunjukkan nilai ketinggian dari kontur seluruh luasan permukaan sampel yang diamati dengan melihat pada grafik.



Gambar 2.16 Konfigurasi interferometer TMS 1200



Gambar 2.17 Proses scanning TMS 1200



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan Juli 2016 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Biofisika dan Laboratorium pengukuran dan Instrumentasi jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah satu set sistem plasma, *spin coating*, *ultrasound cleaner*, *furnace* (oven), mikroskop optik, TMS-1200 polytech, pengukur sudut kontak, timbangan digital pinset, mikropipet, gelas kimia, cawan petri, gelas ukur, gelas kecil.

Sedangkan Bahan yang digunakan diantaranya QCM, polistirena, kloroform, toluena, xylene, etanol, tetrahidrofuran (THF) dan akuades.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Persiapan Sampel

QCM dibersihkan dengan etanol menggunakan alat *ultrasound cleaner* sebagai penggetar selama 2 menit, kemudian dipanaskan menggunakan *furnace* selama 15 menit pada suhu 100°C untuk menguapkan cairan etanol yang kemungkinan masih tersisa pada QCM. Jika terlihat belum bersih diulangi dengan menambah durasi waktu pembersihan pada *ultrasound cleaner*

3.3.2 Pembuatan Larutan

Pembuatan 4 macam larutan dilakukan dengan melarutkan polistirena dengan pelarut kloroform, toluena, xylene dan Tetrahydrofuran (THF) menggunakan *ultrasound cleaner* untuk mempercepat proses pelarutan karena adanya getaran dengan frekuensi yang tinggi. Konsentrasi yang digunakan masing-masing

3% berdasarkan penelitian sebelumnya. Menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ larutan} = \frac{\text{gram terlarut}}{\text{ml pelarut}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana gram terlarut adalah berat polistirena sedangkan ml pelarut adalah volume pelarut. Polistirena ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak 0,03 gram kemudian pelarut berupa kloroform diambil sebanyak 1 ml menggunakan gelas ukur kemudian dilarutkan menggunakan gelas parfum yang sebelumnya sudah dibersihkan. Proses pelarutan menggunakan alat ultrasound cleaner untuk mempercepat proses pelarutan. Tahapan pembuatan larutan polistirena dengan pelarut kloroform tersebut di ulangi untuk pelarut yang lain. Sehingga dihasilkan larutan polistirena dengan pelarut kloroform, larutan Polistirena dengan pelarut toluena, dan larutan Polistirena dengan pelarut xylene serta larutan polistirena dengan pelarut Tetrahidrofur.

3.3.3 Deposisi Lapisan Tipis Polistirena

Masing-masing larutan yang telah dibuat kemudian dideposisikan diatas permukaan QCM menggunakan *spin coating* pada kecepatan putaran awal 500 rpm selama 5 detik kemudian beralih secara otomatis ke kecepatan kedua sebesar 3000 rpm selama 60 detik. Volume larutan yang dideposisikan sebesar 50 μl berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan mikropipet. Kemudian QCM yang sudah dideposi lapisan tipis dipanaskan didalam furnace (oven) pada suhu 100°C selama 1 jam agar lapisan yang terdeposisi menempel semakin kuat dan menghilangkan pelarut yang mungkin masih tersisa. Parameter yang sama diperlakukan untuk tiap larutan polistirena dengan pelarut xylene, toluena dan tetrahidrofur sehingga diperoleh empat sampel lapisan tipis yaitu:

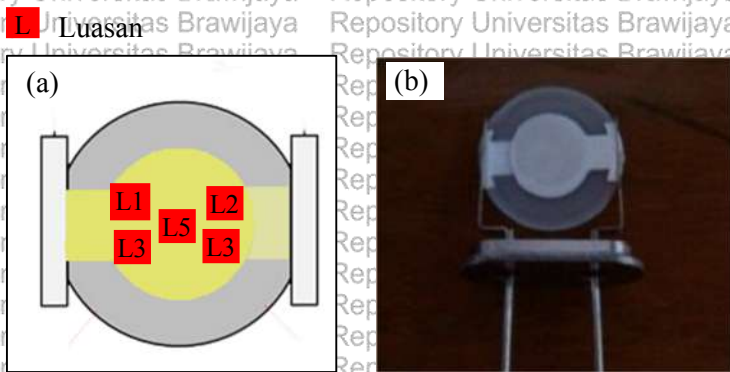
Sampel (C1) lapisan tipis polistirena pelarut kloroform, sampel (C2) lapisan tipis polistirena pelarut Tetrahidrofur, sampel (C3) lapisan tipis polistirena pelarut toluena, dan sampel (C4) lapisan tipis polistirena pelarut xylene.

3.3.4 Karakterisasi Lapisan Tipis Polistirena

Karakterisasi sampel lapisan tipis polistirena yang digunakan pada penelitian ini adalah mikroskop optik, TMS-1200 polytech dan pengukuran sudut kontak untuk mengetahui morfologi permukaan, kekasaran dan sifat hidrofobik hidrofilik permukaan polistirena masing-masing pelarut sebelum sampel dilakukan perlakuan plasma.

Mikroskop optik yang digunakan adalah merek Olympus BX51 (lampiran 5) yang mampu mengambil gambar hasil pengamatan melalui layar monitor dan menggunakan perbesaran 100x. Karakterisasi ini bertujuan agar QCM yang telah dideposisikan polistirena dengan masing-masing pelarut yang berbeda dapat diamati perbedaan morfologi permukaannya.

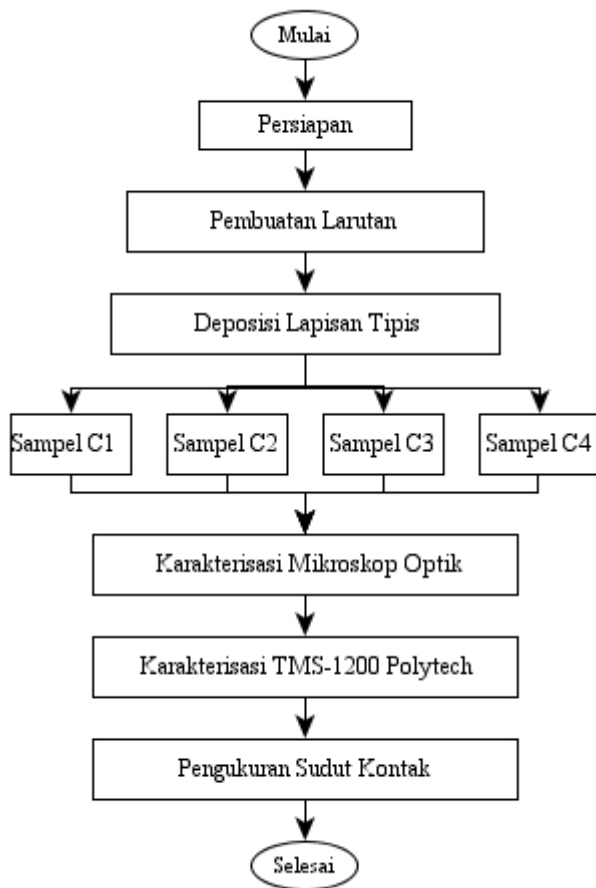
Kemudian dilakukan karakterisasi kekasaran sampel yang telah terdeposisi lapisan tipis polistirena dengan pelarut yang berbeda menggunakan TMS 1200 polytech. Parameter kekasaran yang digunakan adalah Sa. **Gambar 2.14** Diambil 5 luasan (luasan 1 sampai dengan 5) untuk setiap sampel. Pengukuran ini dilakukan agar dapat diketahui perbedaan nilai kekasaran permukaan sampel lapisan tipis pelarut diatas substrat QCM sebelum dilakukan perlakuan plasma.



Gambar 3.1 (a) Luasan pengambilan data TMS-1200. (b) Bentuk fisik QCM

Setelah dilakukan pengukuran kekasaran menggunakan TMS, masing-masing sampel kemudian diukur sifat hidrofobik dan hidrofilik menggunakan alat pengukur sudut kontak. Volume tetes akuades yang digunakan sebesar 20 μ l. Kemudian dilakukan

pengambilan gambar dari tetesan akuades yang terbentuk diatas permukaan polistirena. Sudut kontak dihitung menggunakan software *contact angle measurement.exe* berdasarkan gambar yang diperoleh. Pengambilan data sudut kontak diulang 5 kali untuk setiap sampel.



Gambar 3.2 Diagram alir tahapan sebelum perlakuan plasma

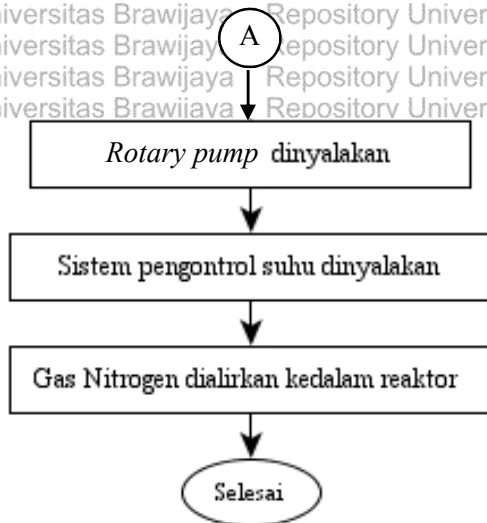
3.3.5 Perlakuan Plasma Nitrogen

Sebelum sampel dilakukan perlakuan plasma terlebih dahulu dilakukan *setting* sistem reaktor plasma diantaranya adalah memasang sensor tekanan dan menghubungkan kabel generator dengan kedua elektroda yang berada didalam reaktor plasma. Kemudian sampel QCM dengan lapisan tipis polistiren pelarut kloroform dilepas kedua kakinya dan diletakan diatas elektroda bawah menggunakan pinset dengan posisi sisi yang akan di perlakuan menghadap keatas. Reaktor ditutup rapat untuk proses selanjutnya yaitu proses vakumisasi reaktor plasma dengan cara menyalakan *rotary pump* sampai sensor tekanan yang terpasang pada sistem reaktor plasma menunjukan angka 4.00 volt atau bila dikonversi kedalam satuan tekanan sebesar 0.023 Torr.

Kemudian gas nitrogen dialirkan kedalam reaktor plasma dengan cara memutar *knob* pada flowmeter secara perlahan sampai bola penunjuk berada di angka 20 mil/Menit. Penambahan gas ini mengakibatkan tekanan dalam reaktor plasma naik hingga 5.07 volt atau skitar 0.279 Torr (setelah dikonversi). Tekanan ini dianggap sebagai parameter tetap tekanan reaktor plasma.

Kemudian sistem pengatur suhu yang terhubung dengan termokopel dan termoelektrik yang berada di dalam reaktor dinyalakan. Termoelektrik ini digunakan untuk menekan panas yang berlebih pada elektroda pada saat perlakuan plasma sedangkan termokopel berfungsi untuk mengukur suhu elektroda. Secara umum diagram alir persiapan perlakuan plasma sebagai berikut.





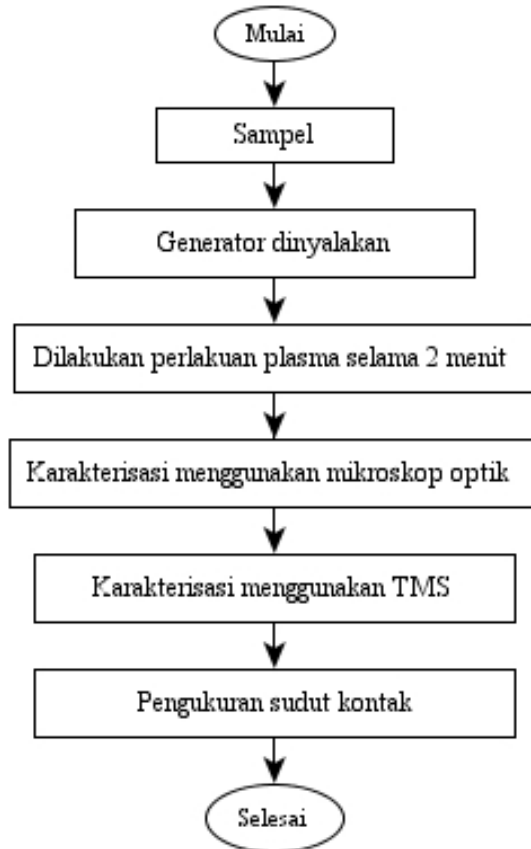
Gambar 3.3 Diagram alir persiapan perlakuan plasma

Setelah gas nitrogen dialirkan kedalam reaktor plasma, generator plasma di nyalakan sampai jarum penunjuk daya pada generator menunjukkan 2 garis atau sama dengan 40 Watt. Pemilihan daya ini berdasarkan uji coba sebelumnya dengan mempertimbangkan kerusakan lapisan tipis polistrien akibat kenaikan daya plasma.

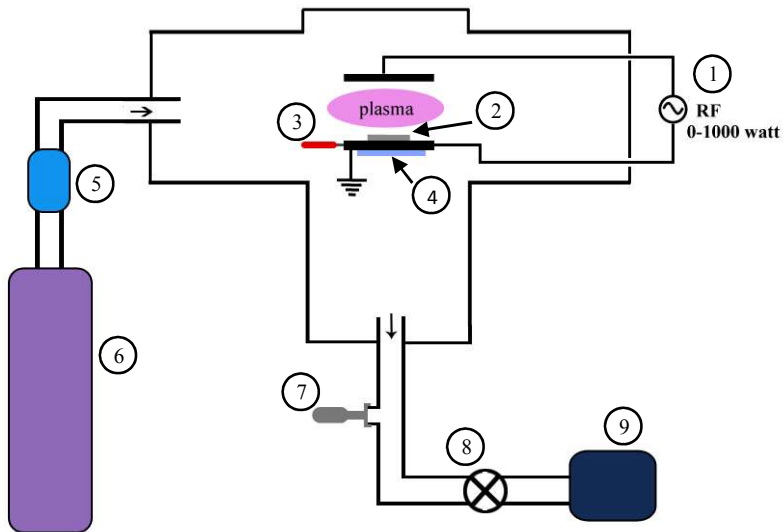
Setelah perlakuan plasma selama 2 menit generator plasma dimatikan dan aliran gas dihentikan. Tutup reaktor dibuka dengan sangat perlahan agar sampel tidak jatuh atau bergeser dari elektroda akibat dorongan udara dari luar karena perbedaan tekanan yang tinggi didalam reaktor dan tekanan udara atmosfer. Sampel kemudian diambil dan disimpan didalam cawan petri. Semua tahapan tersebut mulai dari persiapan sebelum perlakuan plasma diulangi untuk masing-masing sampel yang lain yaitu QCM dengan lapisan tipis pelarut toluena, QCM dengan lapisan tipis pelarut xylene, dan QCM dengan lapisan tipis pelarut tetrahidrofuran (THF).

3.3.6 Karakterisasi Setelah Perlakuan Plasma

Pada tahap ini sampel yang telah dilakukan perlakuan plasma dikarakterisasi agar diketahui pengaruh perlakuan plasma terhadap morfologi kekasaran dan sifat hidrofobik hidrofilik polistirena dengan tahapan yang sama dengan perlakuan ketika sebelum dilakukan perlakuan plasma yaitu karakterisasi menggunakan mikroskop optik, TMS-1200 dan pengukuran sudut kontak. secara garis besar tahapan perlakuan plasma dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 3.4 Diagram alir perlakuan plasma



Gambar 3.5 Sistem Plasma Nitrogen

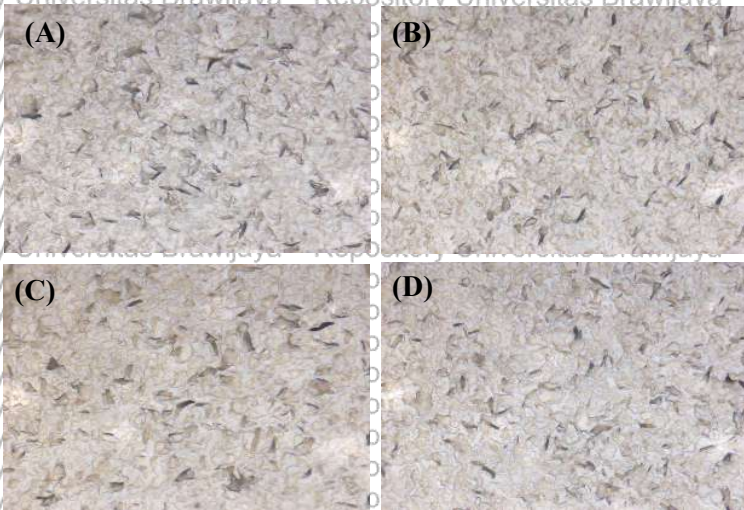
Keterangan :

1. Generator
2. Sampel
3. Termokopel
4. Termoelektrik
5. *Flowmeter*
6. Tabung gas Nitrogen
7. Sensor tekanan
8. *Valve*
9. *Rotary pump*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Perbedaan Pelarut Terhadap morfologi dan sifat Permukaan Polistirena

Pelarut dianggap sebagai zat yang mampu melarutkan zat-zat lainnya dan membentuk campuran yang seragam yang disebut larutan. Zat terlarut biasanya memiliki komponen yang berjumlah lebih kecil atau sedikit sedangkan pelarut memiliki jumlah yang lebih banyak. Dalam penelitian ini zat terlarut merupakan polimer polistirena sedangkan pelarut merupakan zat yang jumlahnya lebih banyak yaitu kloroform, toluena, xylene dan tetrahidrofur. Analisis morfologi permukaan polistirena masing-masing pelarut dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100x. Dimana dari pengamatan tersebut dapat dilihat perbedaan morfologi permukaan antara (A) lapisan tipis polistirena pelarut kloroform, (B) polistirena pelarut tetrahidrofur (THF), (C) polistirena pelarut toluena dan (D) polistirena pelarut xylene.



Gambar 4.1 Perbedaan morfologi permukaan QCM dengan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut

Hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik yang ditunjukkan pada **gambar 4.1** dapat diamati bahwa karakteristik morfologi dari empat sampel permukaan polistirena diatas QCM memiliki pola yang sama yaitu adanya pola berwarna hitam dengan jumlah dan ukuran berbeda-beda yang menunjukkan adanya perbedaan intensitas cahaya yang diterima oleh mikroskop optik pada saat pengamatan yang disebabkan karena adanya perbedaan profil ketinggian. Daerah yang gelap menunjukkan area yang lebih dalam dan sebaliknya. Dari pengamatan tersebut dapat dikatakan bahwa semua sampel memiliki morfologi yang kasar.

Adanya pola berwarna hitam yang menunjukkan perbedaan ketinggian pada permukaan lapisan tipis polistirena disebabkan karena polistirena memiliki modulus young yang tinggi (sakti, 2012). *Modulus young* merupakan ukuran kekakuan suatu bahan terhadap suatu tegangan dan regangan (Smallman, 1999). Semakin besar nilai modulus young suatu bahan maka akan semakin kaku bahan tersebut. Polistirena sendiri memiliki nilai *modulus young* (E) sebesar 3 GPa, jika dibandingkan dengan polimer yang lain seperti elastomer poliuretan yang memiliki nilai *modulus young* sebesar 3×10^{-3} GPa yang jauh lebih besar. Nilai *modulus young* yang besar ini menyebabkan permukaan lapisan tipis polistirena memiliki bentuk profil dengan ketinggian yang berbeda karena pada saat proses pelapisan menggunakan metode *spin coating*, gaya sentrifugal akibat adanya putaran dari *spin coating* menyebabkan lapisan tipis polistirena yang telah mengeras karena pelarut yang telah menguap dipaksa untuk menyebar sehingga terjadi regangan.

Perbedaan morfologi permukaan terutama kekasaran tersebut dapat ditunjukan dengan adanya perbedaan nilai kekasaran setelah dilakukan karakterisasi menggunakan TMS-1200 polytec. Nilai kekasaran ini didapat dari hasil rata-rata kekasaran permukaan dari 5 luasan yang diambil seperti yang sudah di ilustrasikan pada **gambar 3.1** pada bab metodologi. Nilai kekasaran ini merupakan nilai yang diambil dari parameter kekasaran S_a (S_a *Roughness*) yaitu suatu parameter kekasaran yang merupakan hasil bagi antara integral dua kali nilai Z terhadap sumbu x dan y dengan luas bidang (A) permukaan yang diukur. Sedangkan nilai Z sendiri diperoleh dari menjumlahkan nilai puncak (S_p) dan nilai lembah (S_v) seperti yang

telah diilustrasikan **gambar 2.11** sedangkan nilai Sa dapat dinyatakan dalam **persamaan 2.5** yang telah dijelaskan sebelumnya.

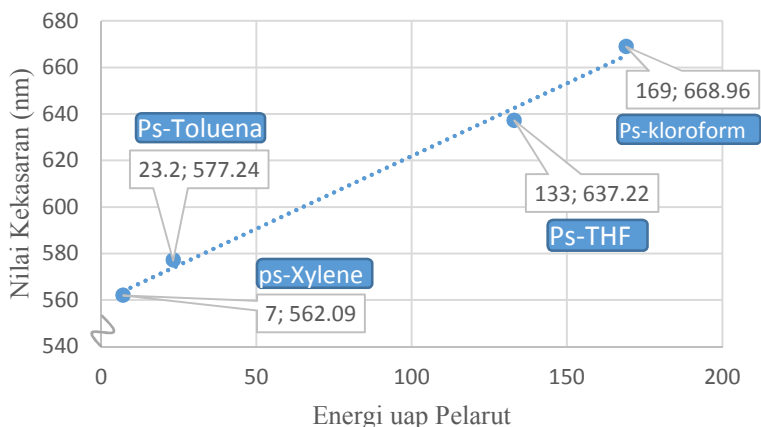
Dari karakterisasi tersebut dihasilkan permukaan QCM dengan lapisan polistirena pelarut kloroform dan pelarut tetrahidrofuran memiliki nilai kekasaran paling tinggi dibandingkan dengan ketiga pelarut lainnya yaitu sebesar 668,96 nm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari tabel berikut ini

Tabel 4.1 Perbedaan nilai kekasaran polistirena masing-masing pelarut

Lapisan	Pelarut	Nilai kekasaran (nm)
Polistirena	Kloroform	668,96
	<i>Tetrahidrofur</i> an	637,22
	Toluena	577,24
	<i>Xylene</i>	562,09

Adanya perbedaan morfologi dalam hal ini adalah kekasaran permukaan polistirena ini disebabkan karena adanya perbedaan kemampuan pelarut dalam melarutkan polimer, nilai energi uap dari pelarut (Masruroh et al., 2014) dan nilai parameter kelarutan yang sama dengan energi kohesi larutan. Menurut (Koenhen & Smolders, 1975) nilai parameter kelarutan berbanding lurus dengan energi uap pelarut. Sehingga jika energi uap larutan tinggi maka parameter kelarutannya tinggi yang artinya energi kohesifnya juga tinggi dan sebaliknya. Dari ke empat pelarut yang digunakan masing-masing pelarut memiliki nilai parameter kelarutan yang berbeda-beda diantaranya pelarut kloroform memiliki nilai parameter kelarutan sebesar $18.7 \text{ MPA}^{1/2}$ nilai parameter kelarutan kelarutan *tetrahidrofur*an $18.5 \text{ MPA}^{1/2}$ sedangkan nilai paramater kelarutan untuk toluena dan *xylene* berturut-turut adalah $18.3 \text{ MPA}^{1/2}$ dan $18.2 \text{ MPA}^{1/2}$ (Burke, 2011). Perbedaan nilai parameter kelarutan ini menyebabkan pelarut kloroform dan pelarut *tetrahidrofur*an

melarutkan polistirena lebih cepat dibandingkan dengan pelarut toluena dan pelarut xylene

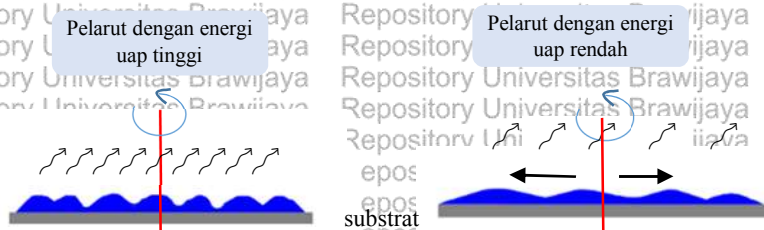


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara energi uap pelarut dan nilai kekasaran permukaan polistirena

Energi uap pelarut juga dapat mempengaruhi morfologi permukaan lapisan tipis polistirena diatas QCM. **Gambar 4.2** menunjukkan adanya grafik hubungan antara energi uap masing-masing pelarut yang digunakan untuk melarutkan polistirena dan nilai kekasaran permukaan polistirena setelah dideposisikan diatas QCM. Energi uap pelarut kloroform dan *tetrahidrofuran* berturut turut adalah sebesar 169 mmHg kPa dan 133 mmHg kPa. Sedangkan pelarut toluena dan *xylene* berturut-turut sebesar 23.2 mmHg kPa dan 7 mmHg kPa. Sehingga dari nilai energi uap tersebut pelarut dengan nilai energi uap lebih tinggi (kloroform dan *tetrahidrofuran*) akan menguap lebih cepat pada saat proses deposisi lapisan tipis polistirena menggunakan *spin coating*.

Pada saat proses deposisi lapisan tipis polistirena menggunakan *spin coating*, polistirena yang sudah dilarutkan menggunakan pelarut tersebut ditetaskan diatas permukaan QCM yang berputar sehingga menimbulkan gaya sentrifugal kearah luar dari pusat putaran. Pelarut dengan energi uap yang lebih tinggi akan menguap lebih cepat yang menyebabkan lapisan tipis polistirena yang terdeposisi lebih cepat

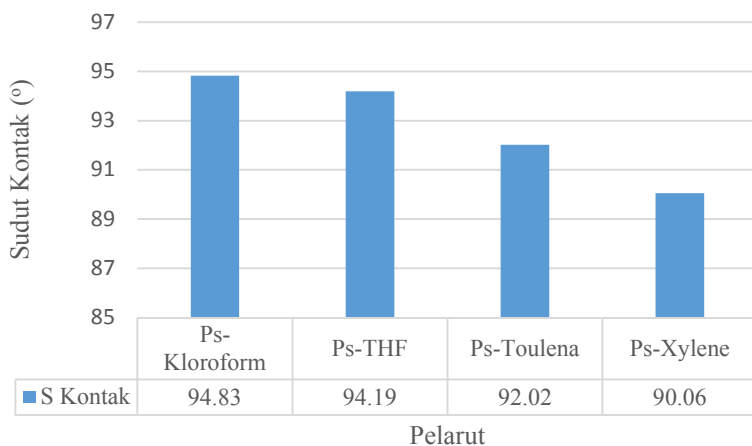
kembali ke fase padatnya dan gaya sentrifugal tidak mampu menyebarkan cairan lagi sedangkan larutan dengan energi uap yang lebih rendah akan menguap lebih lama sehingga ada waktu untuk lapisan tipis polistirena menyebar sehingga membentuk permukaan yang sedikit lebih rata. Proses evaporasi yang lebih lama akan menghasilkan lapisan tipis yang homogen dan lebih tipis karena aliran fluida yang lebih lama diatas lapisan tipis (Walsh & Franses, 2003)



Gambar 4.3 Ilustrasi pembentukan lapisan tipis polistirena dengan pelarut berbeda

Perbedaan pelarut yang digunakan untuk melarutkan polistirena juga mempengaruhi salah satu properti permukaan lapisan tipis polistirena yang dideposisikan diatas QCM yaitu properti kebasahan atau *wettability*. Tingkat kebasahan adalah kemampuan atau perilaku permukaan bahan dalam hal ini polistirena ketika kontak dengan air apakah bersifat hidrofobik (tidak suka air) atau hidrofilik (suka air). Karakterisasi sifat permukaan dalam hal ini adalah tingkat kebasahan permukaan tiap sampel lapisan tipis polistirena diamati dengan cara mengukur besar sudut kontak yang terbentuk antara cairan dengan permukaan polistirena menggunakan alat pengukur sudut kontak dengan cara meneteskan aquades sebanyak 15 μl diatas permukaan lapisan tipis polistirena. Setiap sampel masing-masing pelarut dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali. Kemudian dilakukan ralat untuk setiap sampel. Data diperoleh dengan memotret tetesan aquades yang sudah ditetaskan diatas lapisan tipis polistirena dari arah samping kemudian dilakukan perhitungan menggunakan software *contact angle measurement.exe* dengan memasukkan gambar hasil potret. Dari hasil perhitungan terdapat dua sudut yang ditampilkan

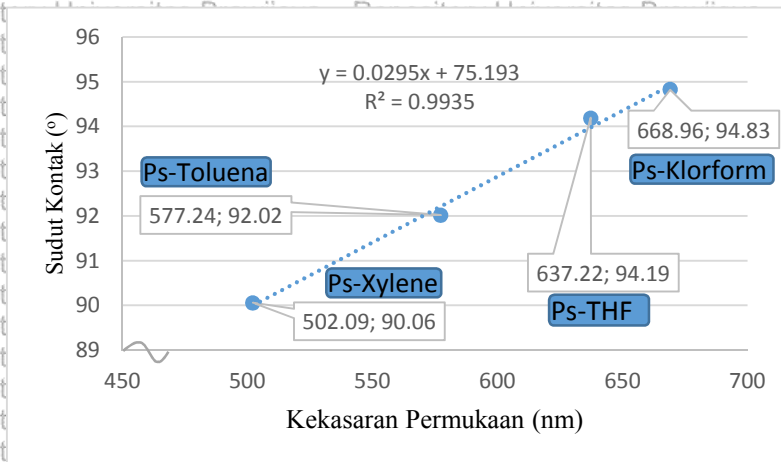
yaitu sudut kanan dan sudut kiri, yang kemudian dirata-rata untuk mendapatkan hasilnya. Perhitungan sudut kontak menggunakan software dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4.4 Sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran sudut kontak dari keempat lapisan tipis polistirena menggunakan empat pelarut berbeda yang dideposisikan diatas QCM menunjukan nilai lebih dari 90° yang artinya permukaan polistirena memiliki sifat yang cenderung hidrofobik. Hidrofobik merupakan salah satu sifat permukaan polimer terutama polistirena ketika kontak dengan cairan dan membentuk sudut lebih dari 90° . Hal ini dikarenakan polistirena merupakan polimer yang memiliki ikatan atom $\text{CH}=\text{CH}_2$ yang berikatan dengan cincin benzena (C_6H_5) artinya polistirena hanya memiliki dua atom yaitu C dan H yang mana keduanya memiliki elektronegativitas yang hampir sama ($\text{C}=2.25$ $\text{H}=2.20$) sehingga beda elektronegativitasnya sangat kecil yang berarti sangat nonpolar sedangkan air aquades (H_2O) cenderung sangat polar, molekul-molekul air tidak tertarik dengan lapisan tipis polistirena dan lebih tertarik dengan molekul air sendiri karena gaya adhesi antar molekul air lebih besar dibandingkan dengan gaya kohesi molekul air dengan

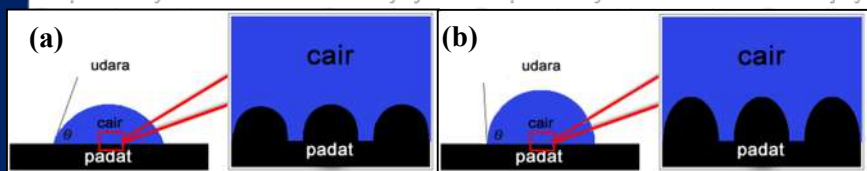
permukaan polistirena. Jika dilihat dari **gambar 4.4** permukaan lapisan tipis polistirena dengan pelarut kloroform (ps-kloroform) dan tetrahidrofuran (ps-tetrahidrofuran) memiliki besar sudut kontak yang lebih besar atau lebih hidrofobik jika dibandingkan dengan permukaan lapisan tipis polistirena dengan pelarut toluena (ps-toluena) dan xylene (ps-xylene). Adanya perbedaan nilai sudut kontak ini dikarenakan adanya perbedaan kekasaran permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing sampel.



Gambar 4.5 Grafik hubungan kekasaran permukaan dengan sudut kontak sebelum perlakuan plasma

Faktor yang mempengaruhi tingkat kebasahan (*wettability*) permukaan apakah bersifat hidrofobik atau hidrofilik diantaranya adalah struktur kimia permukaan yang meliputi atom-atom penyusunnya dan morfologi mikro permukaan (Adamson & Gast, 1990). Sedangkan pada tahap deposisi lapisan tipis polistirena menggunakan *spin coating* larutan yang digunakan untuk melarutkan polistirena mengalami penguapan seluruhnya sehingga hanya menyisakan polistirena yang terdeposisi menjadi lapisan tipis diatas QCM. Penelitian yang dilakukan (Wenzel, 1963) menunjukkan permukaan yang bersifat hidrofobik akan menjadi lebih hidrofobik ketika kekasarannya ditambah dan sebaliknya permukaan yang bersifat hidrofilik akan semakin hidrofilik ketika kekasarannya ditambah. Pernyataan ini sesuai dengan **persamaan 2.1**. Hal ini dapat

dibuktikan dari **Gambar 4.5** yang menunjukkan adanya hubungan linier antara nilai kekasaran permukaan lapisan tipis polistirena dengan nilai sudut kontak permukaan polistirena. Permukaan yang bersifat hidrofobik dan lebih kasar memiliki sudut kontak yang lebih besar yang dapat di asumsikan seperti pada **gambar 4.6**. Dimana air akan mengikuti kekasaran permukaan dan kontur yang terbentuk dari morfologi permukaan. Permukaan dengan nilai kekasaran yang lebih besar memiliki nilai parameter kekasaran S_z (**gambar 2.13a**) yang lebih tinggi sehingga cenderung membentuk sudut kontak air yang lebih besar karena memiliki luas permukaan yang juga lebih besar.



Gambar 4 6 Ilustrasi (a) sudut kontak kurang dari 90° (b) sudut lebih dari 90°

4.2 Pengaruh Perlakuan Plasma Terhadap Kekasaran dan *Wettability* permukaan Polistirena Variasi Pelarut

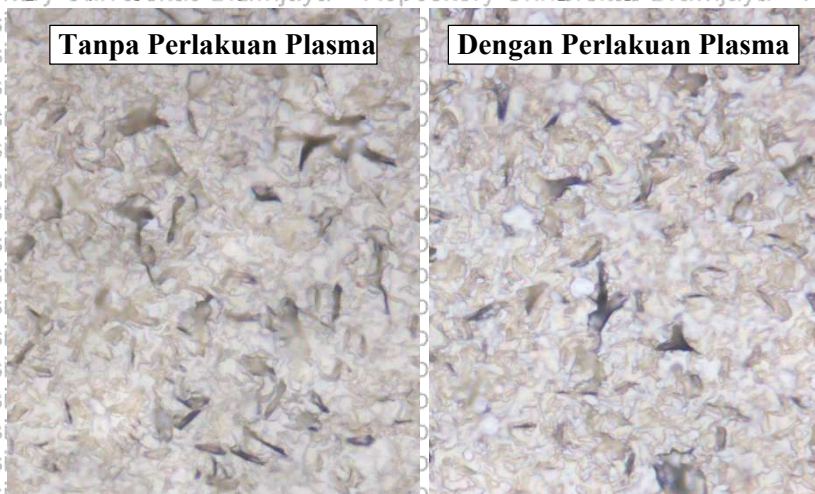
Perlakuan plasma (*plasma treatment*) adalah salah satu teknik atau cara untuk memodifikasi permukaan polimer, dengan cara mengubah lapisan molekul terluar sekitar 0.33-1 nm (Ratner 1996). Modifikasi permukaan yang terjadi akibat adanya tumbukan ion-on (*ion bombardment*) di dalam plasma terhadap permukaan polimer dalam hal ini adalah lapisan tipis polistirena adalah morfologi dan sifat kebasahan (*wettability*) karena adanya perubahan gugus-gugus fungsi yang menjadikan sifat permukaan polistirena lebih reaktif.

Pada penelitian ini lapisan tipis polistirena dengan empat pelarut berbeda yang telah dideposisikan diatas QCM menggunakan metode *spin coating* dan telah dilakukan karakterisasi morfologi permukaan, kekasaran dan *wettability* (sifat kebasahannya) masing-masing kemudian dilakukan perlakuan plasma nitrogen. Adapun karakterisasi yang dilakukan setelah perlakuan plasma yaitu sama dengan karakterisasi sebelum perlakuan plasma. Parameter plasma yang digunakan antara lain daya yang digunakan sebesar 40 Watt,

tekanan 0.03 Torr selama 2 menit dengan suhu elektroda mencapai 70°C.

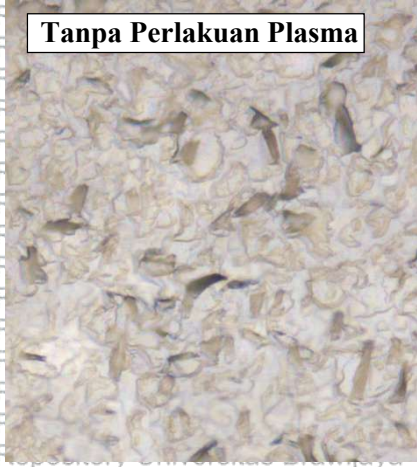
4.2.1 Morfologi Permukaan

Berikut ini menunjukkan hasil dari karakterisasi menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui morfologi masing-masing permukaan lapisan polistirena yang sudah di deposisikan diatas QCM menggunakan empat pelarut yang berbeda sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan plasma. Dari hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x seperti yang terlihat pada **gambar 4.7–4.10** dapat dilihat bahwa permukaan semua lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut mengalami perubahan morfologi setelah dilakukan perlakuan plasma. Perubahan ini diakibatkan karena terjadinya proses fisika dan kimia yang terjadi akibat adanya *ion bombardment* dimana partikel bermuatan akibat ionisasi yang terjadi pada plasma menumbuk permukaan lapisan tipis polistirena. Tumbukan ini berasal dari penyearahan partikel bermuatan oleh medan listrik antara dua plat sejajar yang digunakan sebagai elektroda seperti yang telah dijelaskan dan diilustrasikan pada **gambar 2.9**.

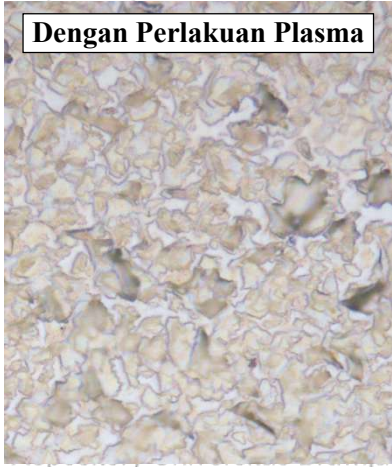


Gambar 4.7 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut kloroform sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Tanpa Perlakuan Plasma



Dengan Perlakuan Plasma

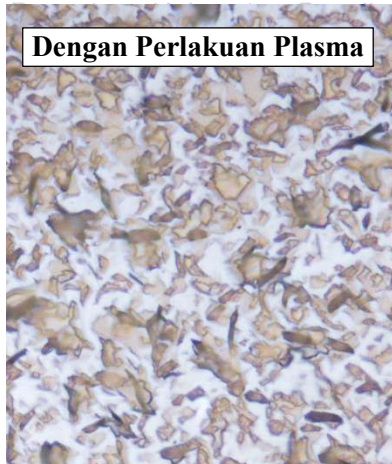


Gambar 4.8 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut toluena sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Tanpa Perlakuan Plasma



Dengan Perlakuan Plasma



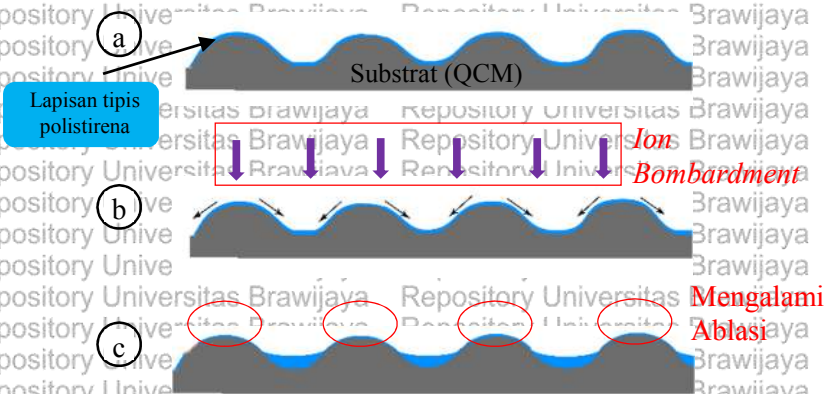
Gambar 4.9 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut xylene sebelum dan sesudah perlakuan plasma



Gambar 4.10 Perbedaan morfologi permukaan polistirena pelarut tetrahidrofuram sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Perubahan morfologi permukaan lapisan tipis polistirena, terjadi pada semua sampel lapisan tipis polistirena secara merata pada permukaan lapisan tipis. Perubahan morfologi yang dapat diamati dari hasil karakterisasi mikroskop optik menunjukkan bahwa pola berwarna hitam pada permukaan lapisan tipis yang ada sebelum perlakuan plasma tampak lebih sedikit terlihat ketika setelah perlakuan plasma. Terjadinya tumbukan ion-ion, radikal bebas dan elektron terhadap permukaan polistirena pada saat perlakuan plasma menyebabkan terjadinya ablasi atau pengikisan dan deformasi pada lapisan tipis polistirena pada saat perlakuan plasma. Dari hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik tersebut dapat dilihat permukaan lapisan tipis polistirena dengan menggunakan pelarut xylene dan toluena menunjukkan perbedaan yang signifikan atau lebih jelas jika dibandingkan dengan lapisan tipis dengan pelarut kloroform dan tetrahidrofuram. Hal ini disebabkan karena perbedaan ketebalan lapisan tipis yang telah dideposisikan diatas QCM sebelum dilakukan perlakuan plasma. Dimana lapisan tipis polistirena dengan pelarut yang memiliki energi uap yang kecil akan menguap lebih lama dan menjaga viskositas larutan lebih lama, sehingga gaya sentrifugal yang diakibatkan dari putaran *spin coating* mempunyai waktu yang cukup untuk menyebarkan larutan secara merata dan menghasilkan lapisan yang lebih tipis. Lapisan tipis yang lebih tebal mempunyai gaya yang

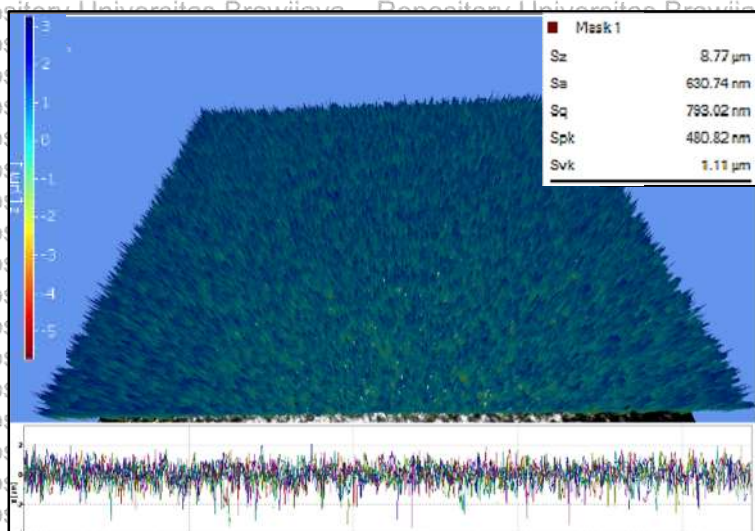
cukup untuk menahan adanya gaya dari luar yang mempengaruhinya sedangkan lapisan yang lebih tipis sebaliknya. Karena ketebalan lapisan tipis mempengaruhi properti mekanik lapisan tipis seperti nilai modulus *young* dan kekerasan lapisan tipis polimer (Huang et al., 2007). Gambar berikut merupakan ilustrasi kemungkinan terjadinya tumbukan ion pada perubahan permukaan morfologi permukaan polistirena berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik dimana (a) adalah lapisan tipis polistirena diatas QCM ketika sebelum dilakukan perlakuan plasma, (b) adalah lapisan tipis polistirena ketika dilakukan perlakuan plasma adanya tumbukan ion-ion di dalam plasma terhadap permukaan polistirena mengakibatkan lapisan tipis tampak terkikis kemudian menyebar dan menumpuk di daerah permukaan yang lain diatas QCM (c) sehingga membentuk morfologi baru setelah perlakuan plasma.



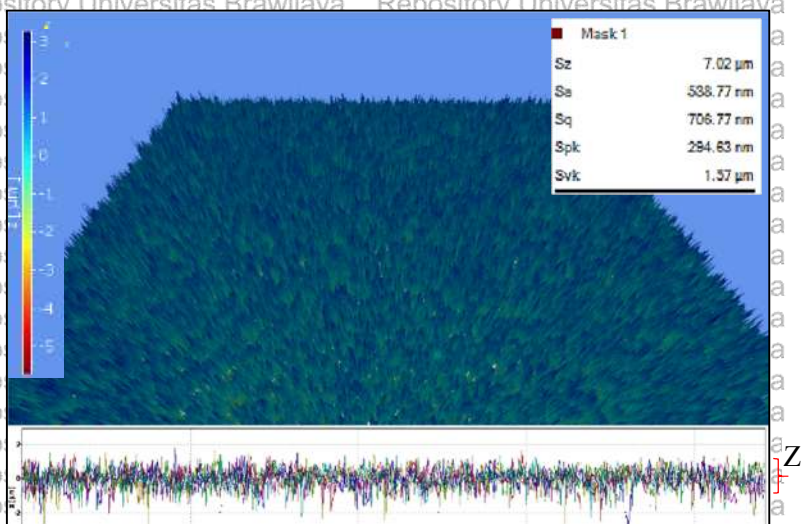
Gambar 4.11 Ilustrasi Perubahan morfologi lapisan tipis polistirena akibat ablasi dan deformasi

Perubahan morfologi lapisan tipis polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma mengakibatkan nilai kekasaran dari hasil karakterisasi menggunakan TMS-1200 polytech juga mengalami perubahan. Hasil yang diperoleh menunjukkan dimana semua permukaan lapisan tipis polistirena dengan perbedaan pelarut mengalami penurunan nilai kekasaran permukaan jika dibandingkan dengan sebelum dilakukan perlakuan plasma namun dengan persentase penurunan nilai kekasaran yang berbeda-beda. Pengukuran

nilai kekasaran ini dilakukan dengan perlakuan yang sama seperti sebelum perlakuan plasma

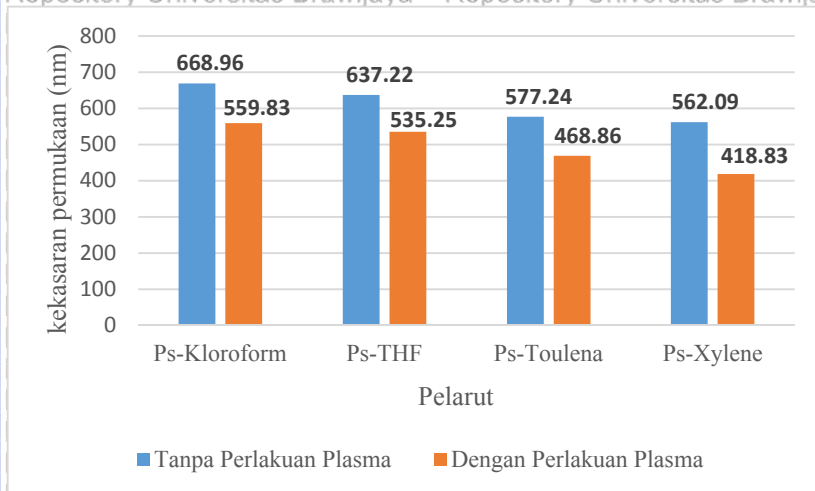


Gambar 4.12 Hasil karakterisasi TMS lapisan tipis polistirena pelarut xylene sebelum perlakuan plasma



Gambar 4.13 Hasil karakterisasi TMS lapisan tipis polistirena sesudah perlakuan plasma

Dari **gambar 4.10 dan 4.11** menunjukkan salah satu hasil dari karakterisasi kekasaran menggunakan TMS-1200 *polytec*. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai Sz dari grafik yang ditampilkan di bagian bawah gambar setelah dilakukan perlakuan plasma. Nilai Sz ini merupakan nilai hasil dari penjumlahan antara parameter Sv (lembah) dan Parameter Sp (puncak) dari seluruh luasan yang terukur dalam arah x dan arah y pada morfologi permukaan yang telah dijelaskan pada **gambar 2.14a**. Penurunan nilai kekasaran ini terjadi pada semua permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut namun dengan nilai penurunan yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel dan grafik berikut.



Gambar 4.14 Grafik nilai kekasaran permukaan lapisan tipis polustirena sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Dari **gambar 4.14** dapat dilihat bahwa adanya penurunan nilai kekasaran lapisan tipis dari masing-masing sampel setelah dilakukan perlakuan plasma. Kemudian dari **tabel 4.2** dapat diketahui nilai penurunan yang dihitung dari selisih antara kekasaran permukaan polistirena sebelum dilakukan perlakuan plasma dan setelah dilakukan perlakuan plasma. Lapisan tipis polistirena dengan pelarut xylene (Ps-Xylene) mengalami penurunan nilai kekasaran yang paling tinggi

dibandingkan dengan polistirena dengan pelarut yang lain yaitu sekitar 25, % dari nilai kekasaran polistirena sebelum perlakuan plasma. Sedangkan ketiga pelarut yang lain mengalami penurunan nilai kekasaran yang hampir sama yaitu sekitar antara 16-18 %.

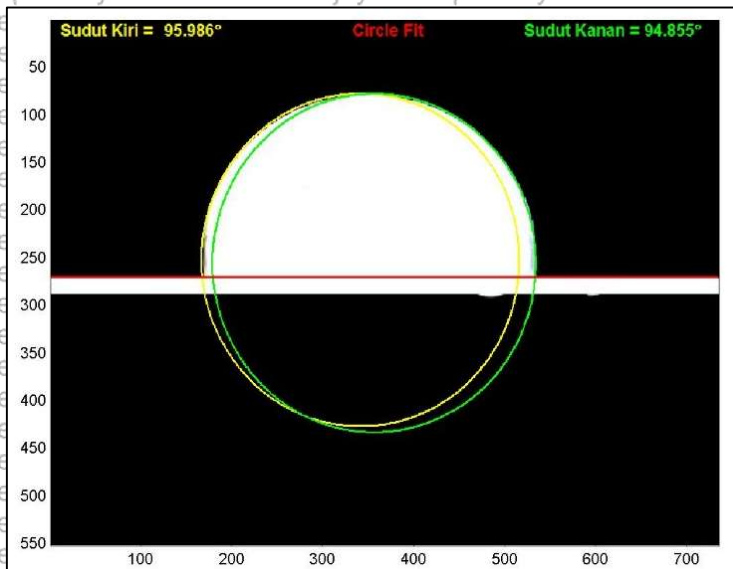
Tabel 4 2 Nilai kekasaran permukaan polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Lapisan	Pelarut	Nilai kekasaran Sa (nm)		
		Tanpa Perlakuan Plasma	Dengan Perlakuan plasma	Selisih
Polistirena	Kloroform	668,96	559,83	109,13
	THF	637,22	535,25	101,97
	Toluena	577,24	468,86	108,38
	Xylene	562,09	418,13	143,23

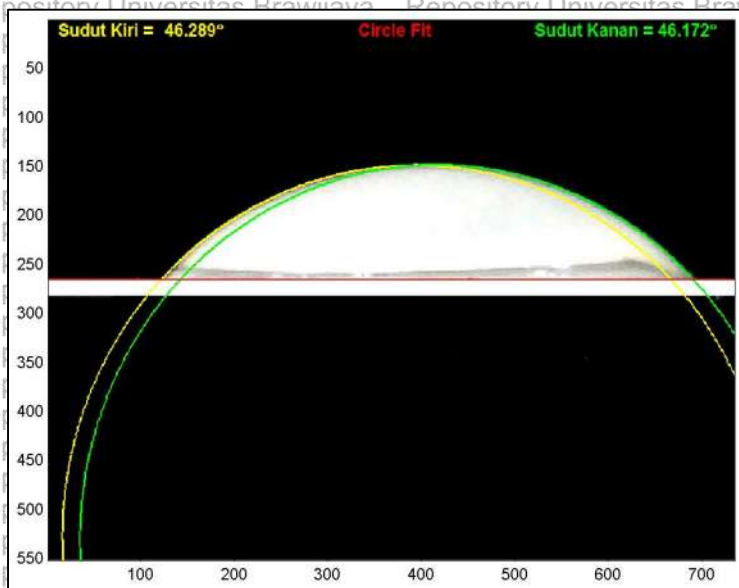
4.2.2 Tingkat Kebasahan Permukaan Polistirena

Selain morfologi permukaan, tingkat kebasahan (*wettability*) yaitu sifat air ketika kontak dengan permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut juga mengalami perubahan menjadi hidrofilik karena dilakukan perlakuan plasma yang ditandai dengan menurunnya nilai sudut kontak menjadi kurang dari 90°. Adapun parameter yang digunakan diantaranya volume air aquades yang digunakan dan banyaknya perulangan saat pengukuran sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut sama dengan parameter pengukuran sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena sebelum dilakukan perlakuan plasma.

Berikut ini merupakan salah satu hasil pengukuran sudut kontak sampel C1 (Ps-kloroform) sebelum dan sesudah perlakuan plasma yang telah dilakukan perhitungan menggunakan software *contact angle measurement.exe* untuk menghitung sudut kontak hasil tangkapan gambar dari alat pengukur sudut kontak.

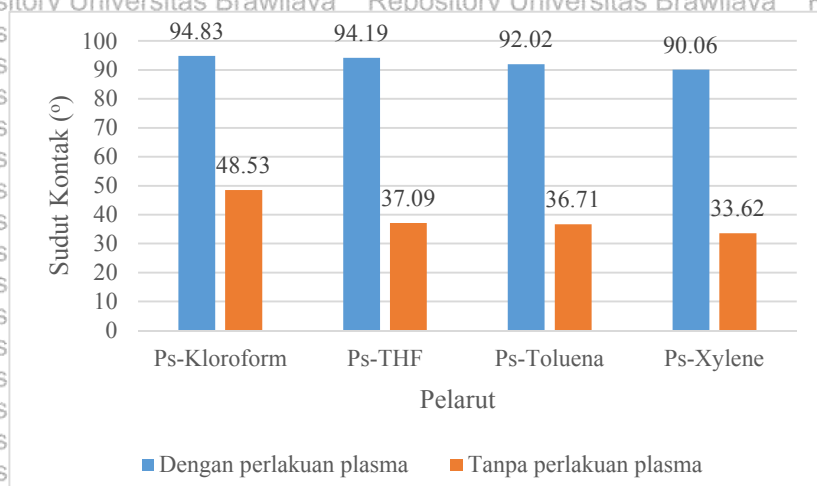


Gambar 4.12 Hasil pengukuran sudut kontak sebelum perlakuan plasma



Gambar 4.13 Hasil pengukuran sudut kontak sebelum perlakuan plasma

Penurunan nilai sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma terjadi pada semua permukaan sampel lapisan tipis polistirena dengan nilai penurunan sudut kontak yang berbeda-beda. **Gambar 4.15** menunjukkan perbedaan nilai sudut kontak permukaan semua sampel lapisan tipis polistirena sebelum dan setelah dilakukan perlakuan plasma, dimana sudut kontak semua sampel lapisan tipis polistirena mengalami penurunan dengan nilai sudut kontak bervariasi tiap pelarut yang berkisar antara 33° sampai dengan 48° dari nilai sudut kontak sebelum dilakukan perlakuan plasma yang lebih dari 90° yang berarti sifat *wettability* atau kebasahan permukaan lapisan tipis polistirena menjadi lebih hidrofilik.



Gambar 4.15 Nilai sudut kontak lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Dari tabel 4.3 dapat diketahui selisih penurunan nilai sudut kontak dari tiap lapisan tipis polistirena yang mana penurunan nilai sudut kontak yang lebih tinggi terjadi pada permukaan lapisan tipis polistirena dengan pelarut tetrahidrofuran, toluena dan xylene yaitu antara 58% sampai dengan 61%, sedangkan lapisan tipis polistirena dengan pelarut kloroform mengalami penurunan nilai sudut kontak sebesar 48% dari nilai sudut kontak awal sebelum perlakuan plasma.

Tabel 4.3 perbedaan sudut kontak permukaan polistirena masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Lapisan	Pelarut	Sudut Kontak (°)		
		Tanpa Perlakuan Plasma	Dengan Perlakuan plasma	Selisih
Polistirena	Kloroform	94,83	48,53	46,30
	THF	94,17	37,09	57,10
	Toluena	92,83	36,71	55,31
	Xylene	90,06	33,62	56,44

Perubahan morfologi pada permukaan lapisan polistirena setelah dilakukan perlakuan plasma nitrogen membuat permukaan menjadi tidak seragam. Dari **gambar 4.16** dapat dilihat grafik hubungan antara kekasaran dan sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena masing-masing pelarut setelah dilakukan perlakuan plasma, terlihat bahwa nilai R^2 yang lebih kecil jika dibandingkan dengan sebelum perlakuan plasma mengindikasikan bahwa adanya pengaruh lain yang mempengaruhi sifat permukaan bahan selain kekasaran permukaan. Salah satunya adalah terjadinya fungsionalisasi permukaan polistirena. Dimana terjadi perubahan gugus-gugus fungsi dari polistirena yang digantikan oleh atom yang berbeda atau gugus fungsi dari gas yang digunakan pada proses plasma yaitu nitrogen.

Terjadinya tumbukan elektron, ion nitrogen, radikal bebas nitrogen yang terbentuk di dalam plasma terhadap permukaan lapisan tipis dapat memutuskan ikatan hidrogen polistirena dan membentuk radikal bebas yang reaktif pada permukaan polistirena. Radikal bebas ini akan bereaksi dengan radikal bebas lain dalam hal ini radikal bebas nitrogen yang dibentuk didalam plasma akibat adanya proses disosiasi. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Kauling et al., 2009) tentang perlakuan plasma nitrogen pada permukaan polipropilena yang mana dari hasil karakterisasi menggunakan XPS (*X-Ray Photoelectron Spectroscopy*) teridentifikasi adanya formasi gugus fungsi baru diantaranya ikatan C-O, C-N dan C=O sepanjang ikatan C-C dari rantai utama polistirena.

[illegible]



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbedaan Pelarut pada Polistirena mempengaruhi morfologi, kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan polistirena, dimana polistirena dengan pelarut kloroform memiliki nilai kekasaran dan nilai sudut kontak paling tinggi, kemudian berturut-turut pelarut Tetrahidrofur, Toluena, dan Xylene.
2. Perlakuan plasma pada masing-masing permukaan lapisan tipis polistirena mengakibatkan menurunnya nilai kekasaran dan semakin hidrofilik yang ditandai dengan menurunnya nilai sudut kontak permukaan lapisan tipis polistirena.

5.3 Saran

Sebaiknya dilakukan karakterisasi lebih lanjut menggunakan SEM EDX untuk mengetahui adanya komposisi atom N yang muncul di dalam struktur atom polistirena dan dilakukan pengukuran frekuensi QCM yang permukaannya telah dilakukan perlakuan plasma terhadap respon biomolekul.

[illegible]



DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, a W., & Gast, a P. (1997). Physical Chemistry of Surfaces Sixth Edition. *Substance*, 124, 192C.
- Aguilar, R. G., & López, J. O. (2011). Low cost instrumentation for spin-coating deposition of thin films in an undergraduate laboratory. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 368–373.
- Deleanu, L., Georgescu, C., & Suci, C. (2012). a Comparison Between 2D and 3D Surface Parameters for Evaluating the Quality of Surfaces. *Proceedings of the International Conference on Diagnosis & Predi*, 5–12.
- Dong, W. P., Sullivan, P. J., & Stout, K. J. (1994). Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography. *Wear*, 178(1–2), 29–43.
- Finson, E. S. L. K. and L. W. (1995). Plasma Treatment of Nonwovens and Films for Improved. *Published in the Society of Vacuum Coaters, 38th Annual Technical Conference Proceedings ISSN 0737-5921*.
- Foerch, R., & Hunter, D. H. (1992). Remote nitrogen plasma treatment of polymers: Polyethylene, nylon 6,6, poly(ethylene vinyl alcohol), and poly(ethylene terephthalate). *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 30(2), 279–286.
- Garcia, M. T., Gracia, I., Duque, G., Lucas, A. de, & Rodriguez, J. F. (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Management*, 29(6), 1814–1818.
- Huang, C. K., Lou, W. M., Tsai, C. J., Wu, T. C., & Lin, H. Y. (2007). Mechanical properties of polymer thin film measured by the bulge test. *Thin Solid Films*, 515(18), 7222–7226.
- Irawati, F., Sakti, S. P., & Unggul, P. J. (2013). Immobilisasi BSA pada Sensor QCM dengan Modifikasi Sifat Hidrofobik-Hidrofilik Permukaan Polistiren Menggunakan Radiasi Ultraviolet (UV). *Natural B*, 2(2), 117–121.
- Selim, Kamruzzaman K. M., Xing, Z., Bae, H., & Kang, I. (2007). Immobilization of Biomolecules on Polymeric Surfaces using Plasma Glow Discharge for the Improvement of



- Biocompatibility. *Biomaterials Research*, 11(4), 139–150.
- Kauling, A. P., Soares, G. V., Figueroa, C. A., de Oliveira, R. V. B., Baumvol, I. J. R., Giacomelli, C., & Miotti, L. (2009). Polypropylene surface modification by active screen plasma nitriding. *Materials Science and Engineering C*, 29(2), 363–366.
- King, W. H. (1964). Piezoelectric Sorption Detector. *Analytical Chemistry*, 36(9), 1735–1739.
- Koehen, D. M., & Smolders, C. A. (1975). The determination of solubility parameters of solvents and polymers by means of correlations with other physical quantities. *Journal of Applied Polymer Science*, 19(4), 1163–1179.
- Marmur, A. (2006). Soft contact: measurement and interpretation of contact angles. *Soft Matter*, 2(1), 12–17.
- Marx, K. A. (2003). Quartz crystal microbalance: A useful tool for studying thin polymer films and complex biomolecular systems at the solution-surface interface. *Biomacromolecules*, 4(5), 1099–1120.
- Masrurroh, Djoko, D. J. D. H., Didik, L. A., Rahmawati, E., Pagaga, M., Abdurrouf, & Sakti, S. P. (2014). Solvent effect on morphology of polystyrene coating and their role to improvement for biomolecule immobilization in application of QCM based biosensor. *Applied Mechanics and Materials*, 530–531(3), 54–57.
- Nur, M. (2011). *Fisika Plasma*. *Fisika Plasma*. Universitas Diponegoro.
- Recek, N., Jaganjac, M., Kolar, M., Milkovic, L., Mozetič, M., Stana-Kleinschek, K., & Vesel, A. (2013). Protein adsorption on various plasma-treated polyethylene terephthalate substrates. *Molecules*, 18(10), 12460.
- Reiney, M. J., Tryon, M., & Achhammer, B. G. (1953). Study of degradation of polystyrene, using ultraviolet spectrophotometry. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 51(3), 155.
- Sakti, S. P., Hauptmann, P., Zimmermann, B., Bühling, F., & Ansoorge, S. (2001). Disposable HSA QCM-immunosensor for practical measurement in liquid. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 78(1–3), 257–262.
- Sakti, S. P., & Santjojo, D. J. D. H. (2012). Improvement of



Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness. *Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 3(3), 3–7.

Walsh, C. B., & Franes, E. I. (2003). Ultrathin PMMA films spin-coated from toluene solutions. *Thin Solid Films*, 429(1–2), 71–76.

Wang, X. & S. Uchiyama. (2013). Polymers for Biosensors Construction, State of the Art in Biosensors - General Aspects, Dr. Toonika Rinken (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/54428

Wenzel, R. N. (1936). Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry (Washington, D. C.)*, 28, 988–994.

Wolf, R. (2010). Role of Plasma Surface Treatments on Wetting and Adhesion. *Engineering*, 2(6), 397–402.

Wusch, J. R. (2000). *POLYSTYRENE, Synthesis, Production, and Application*. UK: RAPRA technology Ltd

Yuan, Y., & Lee, T. R. (2013). Contact Angle and Wetting Properties. In *Surface Science Techniques*, 51(1), 3–5.

[illegible]



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data kekasaran permukaan polistirena sebelum perlakuan plasma

Pengambilan data kekasaran masing-masing polistirena dilakukan 5 titik pengambilan sesuai dengan luasan pada **gambar 3.1**. Hal yang sama dilakukan untuk data kekasaran setelah perlakuan plasma

Sampel Luasan	Ps- Kloroform (C1)	Ps-THF (C2)	Ps- Toluene (C3)	Ps- Xylene (C4)
L1	629,62	571,70	618,95	541,47
L2	780,59	591,58	536,69	547,98
L3	690,12	660,91	609,81	575,45
L4	660,15	649,47	542,41	559,27
L5	668,96	712,45	578,34	586,30
Rata-rata	668,96	637,22	577,24	562,09

Lampiran 2 Data kekasaran permukaan polistirena setelah perlakuan plasma

Sampel Luasan	Ps- Kloroform (D1)	Ps-THF (D2)	Ps- Toluene (D3)	Ps- Xylene (D4)
L1	563,16	544,75	490,93	426,25
L2	647,30	525,43	471,03	411,59
L3	622,02	594,18	272,42	406,18
L4	436,99	494,44	661,01	406,18
L5	529,66	517,45	448,91	443,96
Rata-rata	559,83	535,25	468,86	418,83



Lampiran 3 Data sudut kontak masing-masing polistirena

sampel Perulangan	(C1) Ps-Kloroform	
	KIRI	KANAN
1	95,98589268	94,85452868
2	95,83687769	94,83693673
3	96,34149855	95,27690354
4	94,5821631	93,15047865
5	94,39502073	93,03115741

sebelum perlakuan plasma

Sampel Pengulangan	C2 (Ps-THF)	
	KIRI	KANAN
1	94,00532682	92,432524
2	95,057632	94,34586556
3	95,24323601	94,10347044
4	95,30352426	94,01921784
5	94,06543281	93,10674622



Sampel Pengulangan	C3 (Ps-Toluena)	
	KIRI	KANAN
1	92,24494001	91,3989774
2	91,74252681	90,70734397
3	92,72780628	91,67362371
4	92,86831108	91,78148543
5	93,20057973	91,85087314

Sampel Pengulangan	C4 (Ps- Xylene)	
	KIRI	KANAN
1	90,61296912	88,7036723
2	91,18051522	89,56449911
3	91,29946444	89,50537445
4	90,39613065	88,94869107
5	90,81408425	89,63169193



Lampiran 4 Data sudut kontak masing-masing sampel setelah dilakukan perlakuan plasma

Sampel Pengulangan	D1 (Ps-Kloroform)	
	KIRI	KANAN
1	46,33396	46,31057
2	50,06508	48,64192
3	48,40992	50,36012
4	51,69182	51,90783
5	45,95566	45,6277

Sampel Pengulangan	D2 (Ps-THF)	
	KIRI	KANAN
1	37,07799	36,46332
2	37,69732	37,09468
3	37,70826	37,08111
4	36,86903	36,96758
5	37,41802	36,51611



Sampel Pengulangan	D3 (Ps-Toluena)	
	KIRI	KANAN
1	33,75397	39,03846
2	33,75397	39,03846
3	35,26622	39,72517
4	35,26622	39,72517
5	34,30587	37,27806

Sampel Pengulangan	D4 (Ps-Xylene)	
	KIRI	KANAN
1	32,31277	29,93331
2	33,42802	38,03846
3	33,2983	40,37926
4	33,50034	31,26133
5	32,98883	31,07054

Lampiran 5 Bahan Penelitian



Polistirena



QCM



Pelarut

Lampiran 6 Peralatan penelitian



Spin Coating



Ultrasound Cleaner



Mikropipet



Oven



Pengukur Sudut Kontak



Mikroskop Optik BX51



Topography Measurement System (TMS-1200) polytech



Sistem Plasma Nitrogen



Perlakuan Plasma Nitrogen