

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN PADA
PERMUKAAN *INTERLAYER* POLISTIREN TERHADAP
FUNGSIONALITAS LAPISAN *STEARIC ACID* YANG
DIDEPOSISIKAN DI ATAS *QUARTZ CRYSTAL*
MICROBALANCE (QCM)**

Oleh :
AGNESYA AYU FEBRIYANI
135090300111008

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

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Masruroh., S.Si., M.Si
NIP. 197512312002122002

Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil., Ph.D
NIP. 196601311990021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA UB

Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda
NIP. 19640910199021001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : AGNESYA AYU FEBRIYANI
NIM : 135090300111008
Jurusan : FISIKA
Penulisan Skripsi berjudul :

**PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN PADA
PERMUKAAN *INTERLAYER* POLISTIREN TERHADAP
FUNGSIONALITAS LAPISAN *STEARIC ACID* YANG
DIDEPOSISIKAN DI ATAS *QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM)***

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya-karya dari nama-nama yang terkandung dalam isi dan tercantum dalam Daftar Pustaka, digunakan semata-mata hanya sebagai referensi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko.

Demikia pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang,
Yang menyatakan,**

**AGNESYA AYU FEBRIYANI
NIM. 135090300111008**

**PENGARUH PERLAKUAN PLASMA NITROGEN PADA
PERMUKAAN *INTERLAYER* POLISTIREN TERHADAP
FUNGSIONALITAS LAPISAN *STEARIC ACID* YANG
DIDEPOSISIKAN DI ATAS *QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE* (QCM)**

ABSTRAK

Telah dilakukan perlakuan plasma nitrogen terhadap permukaan polistiren dengan variasi pelarut yaitu kloroform, THF, toluen dan xylene yang kemudian dideposisi dengan lapisan tipis *stearic acid* (SA). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh plasma nitrogen pada fungsionalitas lapisan *stearic acid* yang dideposisi di atas QCM terhadap nilai kekasaran, tingkat kebasahan serta kemampuannya dalam immobilisasi protein *Bovine Serum Albumin* (BSA). Lapisan tipis polistiren dideposisi dengan menggunakan metode *spin coating* kemudian dilakukan perlakuan plasma nitrogen selama 2 menit, daya 40 Watt, laju alir gas 20mL/min dan tekanan 0,3 Torr. Kemudian dideposisi dengan lapisan tipis *stearic acid* (SA) dengan metode evaporasi vakum selama 60 sekon dan massa 0,01 gram. Sampel dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik, TMS-1200 Polytech, sudut kontak dan seperangkat alat immobilisasi. Hasil karakterisasi menunjukkan perbedaan morfologi sampel yang diberi perlakuan plasma. Terjadi peningkatan nilai kekasaran dan sudut kontak permukaan *stearic acid* pada sampel dengan perlakuan plasma nitrogen. Peningkatan nilai kekasaran paling besar terjadi pada variasi pelarut xylene, dan pada nilai sudut kontak yang terukur sebesar 102⁰. Dan hasil immobilisasi terbaik dimiliki oleh sampel dengan nilai kekasaran permukaan yang rendah.

Kata kunci: polistiren, *stearic acid*, evaporasi, plasma, kekasaran, tingkat kebasahan, immobilisasi, *Bovine Serum Albumin*

THE EFFECT OF NITROGEN PLASMA TREATMENT ON INTERLAYER SURFACE OF POLYSTYRENE ABOUT THE FUNCTIONALITY OF *STEARIC ACID* (SA) SURFACE DEPOSITION ON QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE (QCM)

ABSTRACT

Nitrogen plasma treatment on polystyrene surface with different types of solvent namely chloroform, THF, toluene and xylene that deposition with a thin film of *stearic acid* (SA). The purpose of this research is to know the effect of nitrogen plasma treatment on the functionality of *stearic acid* surface deposition on QCM about the roughness, the wettability and the ability in the immobilization of *Bovine Serum Albumin* (BSA) protein. A thin film of polystyrene deposition using spin coating then nitrogen plasma treatment had done for 2 minutes, power 40 Watt, gas flow rate 20 ml/min and pressure 0.3 Torr. Then deposition of *stearic acid* (SA) thin film with vacuum evaporation method for 60 seconds of deposition and a mass of 0.01 gram. The samples are characterized using an optical microscope, TMS-1200 Polytech, contact angle and an immobilization tool. The result of the characterization show the difference between the morphology of the sample who were given nitrogen plasma treatment. An increase in the value of roughness and the contact angle surface of *stearic acid* on nitrogen plasma treatment samples. The increase in the value of most of roughness variation solvent xylene, and on the value of the contact angle is measured of 102°. Best immobilization owned by the sampel with low surface roughness value.

Key words: polystyrene, *stearic acid*, evaporation, plasma, roughness, wettability, immobilization, *Bovine Serum Albumin*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi tugas akhir yang dilaksanakan di Laboratorium Biofisika, Laboratorium Fisika Material dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang. Serta Sholawat dan salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabat beliau.

Penelitian ini didanai oleh hibah desentralisasi PUPH tahun anggaran 2016/2017 melalui LPPM UB. Dimana kegiatan Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 19 Desember 2016 sampai selesai.

Selama pembuatan skripsi ini, penulis mendapatkan dukungan dari berbagai pihak. Tanpa bantuan dari siapapun, Skripsi ini tidak akan terlaksana dengan baik dan tepat waktu, maka dari itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Mama, Ayah dan Yangti tercinta (Wiwik Suhartini, Ridwan dan Tutik), adik-adik tersayang (Ade Ayu Laraswati dan Widya Ayu Trinita) serta semua keluarga yang telah memberikan semangat dan doanya selama ini.
2. Bapak Prof. Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan izin serta kesempatan kepada penulis untuk melakukan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Eng. Masruroh., S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi pengarahan dan bimbingan dalam penulisan ini.
4. Bapak Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi pengarahan dan bimbingan dalam penulisan ini.
5. Ibu Firdy Yuana., S.Si., M.Si atas segala bimbingan yang telah diberikan selama ini.
6. Seluruh bapak dan ibu dosen atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
7. Seluruh laboran beserta jajaran staf Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

8. Ryan Nalendra Prakasa atas bantuan, doa dan dukungannya kepada penulis.
9. Sahabat-sahabat satu tim penelitian (Tyas Nurul dan Sri Ageng) untuk terus berjuang bersama menyelesaikan penelitian ini.
10. Sahabat-sahabat (Fahimatul Khoiroh, Anik Fatkhu R, Abdul Haris, Daniel D. Kamasi dan Johan Prasetyo) yang selalu memberikan semangat, dukungan dan motivasi.
11. Sahabat-sahabat (Versita D, Yuniar P, Anindia L, Fatah A, Anggi P dan Fitriatur R) yang telah memberikan semangat, motivasi dan doa agar penelitian ini cepat terselesaikan.
12. Rekan-rekan penelitian ASMAT (Mbak Nur, Mas Ridha, Mbak Sukma, Mbak Nike, Mas Imron, Somad, Rudi, Mbak Lela, Bintang M, Bintang D dan Fahmi) yang bersama-sama berjuang untuk kemajuan penelitian ASMAT.
13. Teman-teman Fisika angkatan 2013 atas dukungan serta pertemanan kita selama ini.
14. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi tugas akhir ini.

Penulis menyadari Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penulis agar lebih baik lagi selanjutnya.

Malang, 18 Juli 2017

Penulis

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xvi
Daftar Lampiran	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Quartz Crystal Microbalance</i> (QCM) sebagai Biosensor	5
2.2 Deposisi Polistiren pada Permukaan QCM	7
2.3 Plasma Nitrogen	10
2.4 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Lapisan Tipis Polistiren	12
2.5 Hubungan Kekasaran dan Kebasahan	13
2.6 Kekasaran dan TMS (<i>Topography Measurement System</i>)	15
2.7 <i>Stearic Acid</i>	18
2.7.1 Deposisi Lapisan <i>Stearic Acid</i> dengan Metode Evaporasi ..	19

2.7.2 Immobilisasi Protein BSA diatas Lapisan Tipis SA	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Prosedur Penelitian	21
3.3.1 Persiapan Bahan	22
3.3.2 Metode Penelitian	23
3.3.2.1 Persiapan Sensor.....	23
3.3.2.2 Proses Plasma Nitrogen	24
3.3.2.3 Immobilisasi Permukaan <i>Stearic Acid</i> dengan Protein BSA	26
3.4 Metode Analisa.....	29
BAB IV PEMBAHASAN	31
4.1 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Morfologi dan Sifat Permukaan Polistiren.....	31
4.2 Pengaruh Plasma Nitrogen pada Morfologi Lapisan <i>Stearic Acid</i>	37
4.3 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Sifat Viskoelastis Biosensor	44
4.4 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Kemampuan Immobilisasi Protein BSA pada Lapisan <i>Stearic Acid</i>	48
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	58

Daftar Gambar

Gambar 2. 1	Ilustrasi bentuk QCM dengan sudut potong AT-cut	6
Gambar 2. 2	Prinsip QCM	6
Gambar 2. 3	Struktur kimia Polistiren	7
Gambar 2. 4	Lapisan polistiren yang dideposisi pada permukaan QCM	8
Gambar 2. 5	Proses spin coating secara sederhana	9
Gambar 2. 6	Cacat yang terjadi ketika proses spin coating, a) garis-garis akibat partikel pada substrat, b) ekspansi cairan yang tidak seragam selama berputar, karena ketidak sempurnaan substrat pembasah, c) terdapat bagian yang tidak terlapsi karena volume cairan awal yang terlalu kecil (Hellstrom, 2007)	9
Gambar 2. 7	Ion-ion yang berperan pada proses plasma nitriding (Friedrich, 2012)	10
Gambar 2. 8	Sistem <i>Capacitively Coupled Plasma</i> (CCP) (D'Agostino et al, 2008)	11
Gambar 2. 9	Ilustrasi sudut kontak pada permukaan dengan tingkat kekasaran tinggi dan rendah	14
Gambar 2. 10	Permodelan sudut kontak dengan persamaan Young	14
Gambar 2. 11	Penampakan hasil sudut kontak permukaan dengan tingkat kekasaran yang berbeda (hidrofobik dan hidrofilik)	15
Gambar 2. 12	Skema parameter SA	17
Gambar 2. 13	Struktur kimia <i>stearic acid</i>	18
Gambar 3. 1	Diagram Alir Prosedur Penelitian	22
Gambar 3. 2	Diagram Alir Persiapan Sensor	24
Gambar 3. 3	Diagram Alir Proses Plasma Nitrogen	26
Gambar 3. 4	Diagram Alir Proses Deposisi <i>stearic acid</i>	28
Gambar 3. 5	Diagram Alir Proses Immobilisasi Protein BSA	29
Gambar 4. 1	Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut kloroform sebelum dan sesudah perlakuan plasma	31
Gambar 4. 2	Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut THF sebelum dan sesudah perlakuan plasma	32

Gambar 4. 3	Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut toluen sebelum dan sesudah perlakuan plasma	32
Gambar 4. 4	Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut xylene sebelum dan sesudah perlakuan plasma	33
Gambar 4. 5	Grafik nilai kekasaran permukaan lapisan tipis polistiren sebelum dan sesudah perlakuan plasma	35
Gambar 4. 6	Perbedaan morfologi permukaan <i>stearic acid</i> sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut kloroform	37
Gambar 4. 7	Perbedaan morfologi permukaan <i>stearic acid</i> sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut tetrahidrofur	38
Gambar 4. 8	Perbedaan morfologi permukaan <i>stearic acid</i> sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut toluen	38
Gambar 4. 9	Perbedaan morfologi permukaan <i>stearic acid</i> sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut xylene	39
Gambar 4. 10	Perbedaan nilai kekasaran permukaan lapisan tipis <i>stearic acid</i> diatas lapisan tipis polistiren yang diberi perlakuan plasma dan tanpa perlakuan plasma dengan variasi pelarut	40
Gambar 4. 11	Grafik hubungan kekasaran dan sudut kontak permukaan <i>stearic acid</i> pada lapisan polistiren dengan perlakuan plasma nitrogen	43
Gambar 4. 12	Grafik hubungan kekasaran dan sudut kontak permukaan <i>stearic acid</i> pada lapisan polistiren tanpa perlakuan plasma nitrogen	43
Gambar 4. 13	Grafik nilai impedansi sensor QCM yang telah dideposisi <i>stearic acid</i> dengan perlakuan tanpa/dengan plasma pada lapisan tipis polistirennya	47
Gambar 4. 14	Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan <i>stearic acid</i> dengan pelarut kloroform	48
Gambar 4. 15	Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan <i>stearic acid</i> dengan pelarut THF	49

Gambar 4. 16	Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan <i>stearic acid</i> dengan pelarut toluen	50
Gambar 4. 17	Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan <i>stearic acid</i> dengan pelarut xylene.....	51

Daftar Tabel

Tabel 4. 1	Perbedaan nilai sudut kontak permukaan polistiren masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma ...	36
Tabel 4. 2	Nilai kekasaran masing-masing lapisan pada sensor QCM dengan variasi pelarut dan variasi plasma/tanpa plasma...	41
Tabel 4. 3	Nilai sudut kontak masing-masing lapisan pada sensor QCM dengan variasi pelarut dan variasi plasma/tanpa plasma	42
Tabel 4. 4	Data hubungan perubahan frekuensi dengan perubahan massa <i>stearic acid</i> yang terdeposisi pada permukaan QCM/Polistiren	44
Tabel 4. 5	Perbedaan nilai impedansi SA dengan dan tanpa perlakuan plasma pada lapisan tipis polistiren.....	46
Tabel 4. 6	Korelasi antara nilai sudut kontak dan kekasaran permukaan <i>stearic acid</i> dengan nilai immobilisasi lapisan tipis <i>stearic acid</i> pada sampel plasma dan tanpa plasma ..	52

Daftar Lampiran

Lampiran 1 Data kekasaran permukaan	59
Lampiran 2 Data sudut kontak permukaan.....	60
Lampiran 3 Grafik hasil immobilisasi protein di atas permukaan <i>stearic acid</i>	62
Lampiran 4 Gambar alat yang digunakan pada penelitian ini	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biosensor adalah suatu perangkat sensor gabungan dari senyawa biologi transduser fisis. Sensor jenis ini berfungsi sebagai sensor yang dapat mendeteksi molekul biologis. Transduser sendiri adalah alat yang dapat mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain. Hal ini lah yang dimanfaatkan pada sensor dengan mengubah interaksi antara molekul dengan senyawa menjadi suatu sinyal yang dapat terbaca (Garipcan et al., 2006). Material yang cocok digunakan sebagai transduser adalah yang memiliki prinsip kerja piezoelektrik yakni menghasilkan tegangan listrik ketika diberi perlakuan mekanik (Spetz, 2006).

Salah satu material yang bersifat piezoelektrik adalah *Quartz Crystal Microbalance*, QCM. QCM sendiri adalah suatu sensor yang dapat mengukur massa per unit area dengan cara mengukur perubahan frekuensi yang terdapat pada resonator kristal kuarsa. Prinsip piezoelektrik yang ada dalam QCM berfungsi untuk mengukur massa yang terperangkap pada lapisan senyawa biologis. Perubahan massa ini akan mempengaruhi dari perubahan frekuensi resonansi pada QCM (Lalu et al, 2015).

Sensor QCM diaplikasikan untuk bio-sensor yakni sebagai pendeteksi penyakit melalui aktivitas immobilisasinya. Oleh karena itu sifat adsorpsi pada lapisan sangat dibutuhkan dan sifat ini dipengaruhi oleh modifikasi kekasaran lapisan yang akan dilapiskan diatas permukaan QCM. Peningkatan kekasaran diharapkan dapat meningkatkan sifat hidrofobisitas pada lapisan permukaan QCM. Akibat dari kekasaran yang dimiliki oleh permukaan akan menyebabkan sifat immobilisasi terhadap objek protein yang terperangkap pada lapisan permukaan akan semakin besar. Terperangkapnya protein di atas permukaan akan menyebabkan frekuensi resonansi dari QCM bergeser turun karena adanya perubahan massa (Sakti et al., 1999).

Permukaan QCM juga perlu dilapisi kembali oleh suatu lapisan tipis yang fungsinya untuk mencegah oksidasi pada permukaan elektroda, mengurangi kekasaran elektroda dan mengubah sifat kontak antara molekul dan sensor untuk meningkatkan immobilisasi. Akan tetapi, walaupun QCM dilapisi kembali dengan suatu lapisan tipis, pelapisan ini tidak boleh menimbulkan efek viskoelastis pada sensor yang bersifat meredam, sehingga sensor tidak dapat digunakan secara maksimal. Sehingga pelapisan pada permukaan QCM haruslah memberikan efek rigid (kaku) setelahnya (Sakti et al., 1999). Oleh karena itu, digunakan polistiren sebagai lapisan tipis pada permukaan QCM karena polistiren bersifat transparan, keras, mudah diproses, murah dan berinteraksi baik dengan biomolekul. Dengan memanfaatkan sifat polistiren yang mempunyai karakteristik *adsorpsi* fisik terhadap biomolekul, maka polistiren dianggap baik sebagai pelapis permukaan sensor QCM (Samsudin et al., 2006). Ketebalan dari lapisan polistiren akan mempengaruhi sensitifitas serta kestabilan sensor QCM tersebut. Sebelum di lapiskan ke QCM, polistiren yang akan dilapiskan tentunya perlu di larutkan pada suatu larutan yang membantu proses pelapisan. Setiap pelarut ini mempunyai pengaruh terhadap kekasaran lapisan polistiren yang dihasilkan pada pelapisan QCM ini. Jenis-jenis pelarut yang sering digunakan pada proses pelapisan Ps/QCM antara lain adalah toluen, kloroform, THF (*THF*) dan xylene (Masrurroh et al., 2014).

Modifikasi permukaan sangat dibutuhkan guna peningkatan kemampuan immobilisasi dari sensor QCM ini khususnya pada kekasaran permukaan yang dapat meningkatkan daya *trapping* pada biosensor (Sakti et al., 1999). Sehingga digunakan metode lain untuk memodifikasi lapisan permukaan QCM/Ps salah satunya dengan metode plasma nitrogen. Dengan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Choirul Anwar (2016) permukaan QCM yang telah dilapisi oleh polistiren setelah perlakuan plasma nitrogen menghasilkan suatu lapisan permukaan yang lebih halus dan bersifat hidrofilik. Dengan sifat permukaan yang hidrofilik ini maka modifikasi permukaan selanjutnya dapat dilakukan dengan mendeposisi lapisan *stearic acid* (SA) di atas permukaan QCM/Ps yang telah di plasma sebelumnya.

Penambahan lapisan *stearic acid* (SA) pada permukaan lapisan QCM/Ps yang telah di plasma diharapkan dapat meningkatkan kemampuan immobilisasi dari sensor QCM. Karena *stearic acid* (SA) terdiri dari rantai hidrokarbon dengan gugus karboksil di ujung struktur molekulnya. Rantai hidrokarbon ini terdiri dari unsur hidrogen dan karbon yang bersifat hidrofobik atau nonpolar dimana gugus ini tidak mengikat air. Sedangkan gugus karboksil pada ujung rantai memiliki sifat hidrofilik atau polar dimana gugus ini dapat mengikat air dengan kuat. Sehingga, diharapkan dengan penambahan *stearic acid* pada lapisan permukaan QCM/Ps yang telah diplasma dan bersifat hidrofilik maka akan mengikat ekor hidrofilik pada gugus *stearic acid* dan menyebabkan permukaan terluarnya bersifat hidrofobik.

Pada penelitian ini, lapisan *stearic acid* (SA) dideposisi di atas permukaan QCM/Ps yang telah di beri perlakuan Plasma Nitrogen dengan menggunakan metode evaporasi. Morfologi lapisan polistiren yang bervariasi setelah proses plasma nitrogen akan berpengaruh terhadap morfologi lapisan *stearic acid*. Morfologi tersebut akan berpengaruh terhadap kemampuan immobilisasi protein BSA (*Bovine Serum Albumin*). BSA merupakan suatu protein yang digunakan sebagai objek molekul yang terimmobilisasi. Sehingga diharapkan dengan penambahan perlakuan Plasma Nitrogen akan meningkatkan kemampuan pengikatan BSA yang semakin banyak.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat diperoleh rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian. Rumusan masalah tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh plasma nitrogen terhadap nilai kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan *stearic acid* (SA)?
2. Bagaimana pengaruh plasma nitrogen terhadap kemampuan immobilisasi protein BSA pada lapisan *stearic acid* (SA)?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan waktu yang cukup singkat sehingga perlu dilakukan pembatasan masalah. Selain itu pembatasan masalah dilakukan untuk mengurangi adanya perluasan masalah yang timbul dalam pembahasan. Adapun beberapa batasan masalah yang dibatasi pada penelitian kali ini yakni:

1. Konsentrasi polistiren sebesar 3% dan menggunakan *spin coating* untuk metode pelapisannya.
2. Jenis pelarut yang digunakan sebagai pelarut polistiren adalah kloroform, THF, toluen dan xylene.
3. Parameter plasma nitrogen yang digunakan yakni, tekanan 0,3 torr, daya 40 Watt dan waktu 2 menit.
4. Berat *stearic acid* yang digunakan sebanyak 0,01 gram
5. Deposisi lapisan SA menggunakan metode evaporasi vakum dengan waktu evaporasi 1 menit, waktu vakum 60 menit dan tegangan 0,1 volt.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan plasma nitrogen terhadap kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan *stearic acid* (SA).
2. Mengetahui pengaruh perlakuan plasma nitrogen terhadap kemampuan immobilisasi protein BSA pada lapisan *stearic acid* (SA).

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini diantaranya mengetahui pengaruh plasma nitrogen pada immobilisasi protein BSA diatas lapisan tipis *stearic acid* dengan berbagai macam pelarut polistiren sehingga diharapkan dapat mempermudah penelitian berikutnya atau digunakan secara umum sebagai dasar pemanfaatan QCM sebagai biosensor.

BAB II

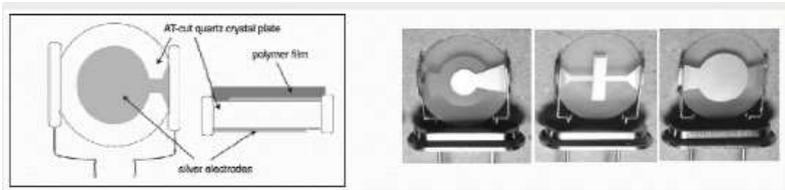
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM) sebagai Biosensor

Quartz Crystal Microbalance (QCM) adalah salah satu jenis sensor yang dapat mengukur massa per unit area dengan cara mengukur perubahan frekuensi pada resonator kristal kuarsa. Sensor ini merupakan salah satu alternative yang ekonomis, praktis dan menarik untuk diaplikasikan sebagai biosensor yang dapat mendeteksi konsentrasi biomolekuler dengan ambang batas pengukuran tertentu, salah satunya yakni immunosensor (Lalu et al, 2015). QCM merupakan salah satu biosensor yang memanfaatkan permukaan polistiren yang memiliki karakteristik adsorpsi fisik terhadap biomolekul (Robiandi et al, 2013). Pemanfaatannya sebagai biosensor pada umumnya digunakan sebagai suatu komponen analisa yang digunakan sebagai perangkat pendeteksi target molekul biologi, makro molekul dan atom yang disebut dengan analit. Komponen utama pada biosensor yakni reseptor, transduser dan sistem output (Garipcan et al, 2006). Reseptor adalah bagian pada suatu sensor yang berfungsi untuk mengenali suatu molekul biologi melalui proses immobilisasi. Transduser adalah bagian inti dari suatu sensor dimana fungsi dari transduser adalah menerjemahkan interaksi biologi yang berlangsung ke dalam sinyal listrik. dan pada sistem output terdiri dari amplifier dan unit display yang berfungsi untuk memvisualkan sifat pada molekul spesifik pada sampel analit. Sehingga, prinsip kerja biosensor yakni reseptor mengenali objek biomolekul (analit) yang kemudian diproses oleh transduser menjadi suatu sinyal listrik yang dilanjutkan ditransfer pada amplifier dan direkam oleh sistem output (Pramanik et al, 2013).

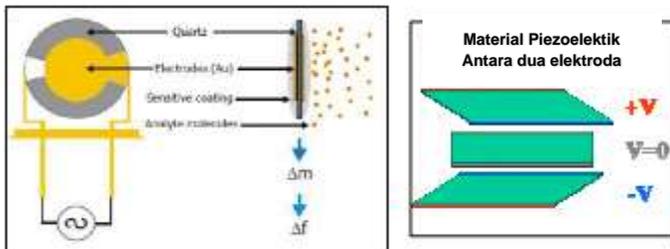
QCM memiliki kuarsa berbentuk disk yang sering disebut dengan AT-cut yang diapit oleh sepasang elektroda, pada sisi yang berlawanan. Pada bagian atas salah satu sisi dilapisi lapisan aktif yang biasanya terbuat dari polimer. Salah satu yang terkenal adalah polistiren. Pelapisan pada polimer ini dimaksudkan untuk melindungi elektroda pada bagian kristal kuarsa agar tidak teroksidasi. Bahan

elektroda yang biasanya digunakan adalah Au, Ag, Cu, Cr, Ni dan Pt (Sakti et al, 1998).



Gambar 2. 1 Ilustrasi bentuk QCM dengan sudut potong AT-cut

Sauerbrey, 1959, menunjukkan sebuah gambaran penelitian mengenai karakteristik kristal kuarsa. Sauerbrey menemukan bahwa kristal kuarsa sangat sensitif diketahui dengan pergeseran frekuensi dari kristal adalah proporsional untuk penambahan massa pada kristal kuarsa.



Gambar 2. 2 Prinsip QCM

Dari penemuannya, dihasilkan suatu persamaan Sauerbrey, yaitu persamaan yang berhubungan dengan perubahan massa perunit area pada elektroda QCM:

$$\Delta f = -\frac{2 f_0^2}{A\sqrt{\rho_q \mu_q}} \quad (2.1)$$

dimana,

Δf = perubahan frekuensi (Hz)

f_0 = resonan frekuensi dasar dari kristal (Hz)

A = daerah piezoelektrik kristal (m^2)

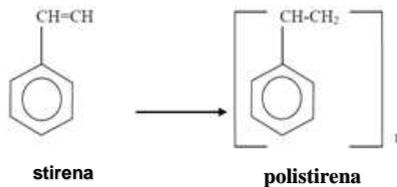
ρ_q = densitas dari kristal ($2,684 \text{ g/cm}^3$)

μ_q = modulus dari kuarsa ($2,947 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$)

Dari persamaan tersebut dapat kita ketahui bahwa perubahan frekuensi sebanding dengan kuadrat dari frekuensi dasar sensor, sehingga semakin besar frekuensi dasarnya maka sensor tersebut akan mempunyai nilai sensitifitas yang semakin tinggi (Lairan, 2010). Ketebalan dan keseragaman pelapisan akan mempengaruhi sensitifitas serta kestabilan dari sensor QCM tersebut. Sehingga, teknik pelapisan yang digunakan juga akan sangat berpengaruh dan dibuat suatu teknik yang dapat menghasilkan lapisan sesuai dengan keinginan. Salah satu tekniknya yakni teknik *spin coating* (Lalu et al, 2015).

2.2 Deposisi Polistiren pada Permukaan QCM

Pada elektroda QCM, polistirene berfungsi untuk menghindarkan terjadinya korosi dan mengurangi kekasaran pada permukaan QCM tersebut (Sakti et al, 1998). Kelebihan dari penggunaan lapisan polistiren adalah polistiren dapat membentuk matrik yang gunanya dapat mengikat biomolekuler (meningkatkan sifat immobilisasinya) dengan memodifikasi kekasaran lapisan tanpa merusak frekuensi osilasi dari kristal QCM (Sakti et al, 2012).

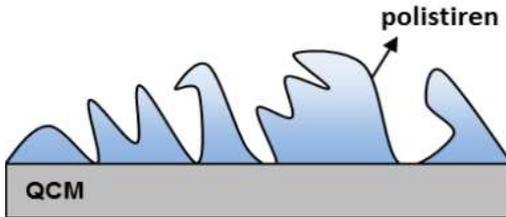


Gambar 2. 3 Struktur kimia Polistiren

Gambar diatas menunjukkan atom benzene yang terikat dengan atom karbon tersier yang mengikat atom hidrogen tunggal dan terikat pada cincin benzene (CH) dan metilen sebagai penghubung dimana

atom karbon sekundernya mengikat dua atom hidrogen (CH₂) (Achhammer et al, 1951).

Parameter suatu sensor dikatakan baik dan dapat digunakan apabila tingkat immobilisasinya tinggi, yakni keadaan dimana suatu biomolekul melekat dengan baik pada permukaan biosensor dan niosensor tersebut tetap aktif digunakan. Dengan pelapisan polistiren pada permukaan QCM haruslah tidak menimbulkan efek viskoelastis yang dapat menimbulkan sifat redaman pada sensor tersebut (Sakti, 1999).



Gambar 2. 4 Lapisan polistiren yang dideposisi pada permukaan QCM

Salah satu metode pelapisan yang digunakan untuk melapisi polistiren diatas objek QCM yakni dengan metode *spin coating*. *Spin coating* adalah salah satu teknik pelapisan menggunakan deposit cair dalam jumlah kecil dengan cara diputar pada kecepatan tinggi (sekitar 300 rpm) dalam bidang datar. Teknik ini merupakan proses fisika, karena tidak meninjau reaksi kimia yang terjadi didalam pelapisannya. Ketebalannya pun dapat kita ketahui dari persamaan:

$$h_f = kx_{1,0} \omega^{-\beta} \quad (2.2)$$

keterangan:

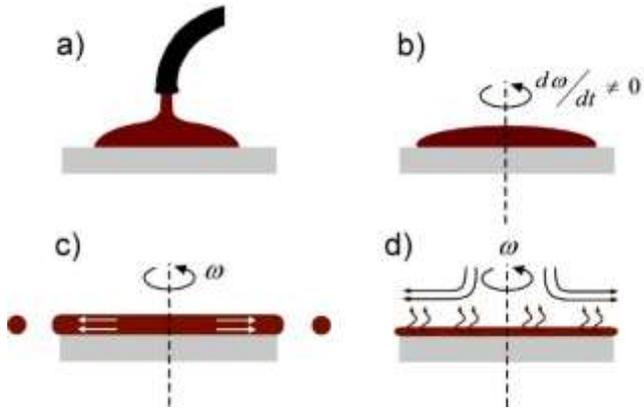
k = konstanta yang bergantung pada konsentrasi, viskositas larutan dan karakteristik yang lain dari polimer dan pelarut.

$x_{1,0}$ = fraksi berat polimer.

ω = kecepatan rotasi (Lalu et al, 2015).

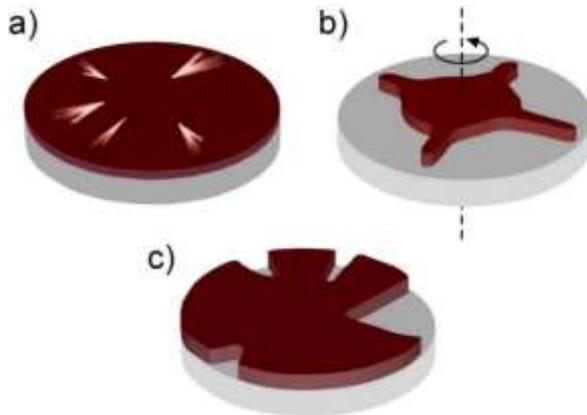
Kelebihan dari teknik pelapisan *spin coating* adalah dapat menghasilkan keseragaman tebal yang baik, kecepatan putaran akan sangat mempengaruhi ketebalan dari lapisan tersebut, sehingga dalam kasus sederhana dapat diprediksi ketebalan akhir lapisan berdasarkan

pada parameter proses dan sifat materialnya. Berikut merupakan simulasi proses *spin coating*.



Gambar 2. 5 Proses *spin coating* secara sederhana

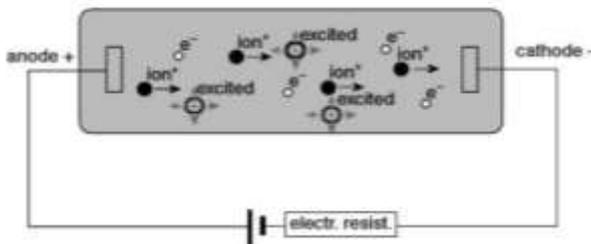
Akan tetapi kemungkinan cacat juga dapat terjadi, seperti:



Gambar 2. 6 Cacat yang terjadi ketika proses *spin coating*, a) garis-garis akibat partikel pada substrat, b) ekspansi cairan yang tidak seragam selama berputar, karena ketidak sempurnaan substrat pembasah, c) terdapat bagian yang tidak terlapisi karena volume cairan awal yang terlalu kecil (Hellstrom, 2007)

2.3 Plasma Nitrogen

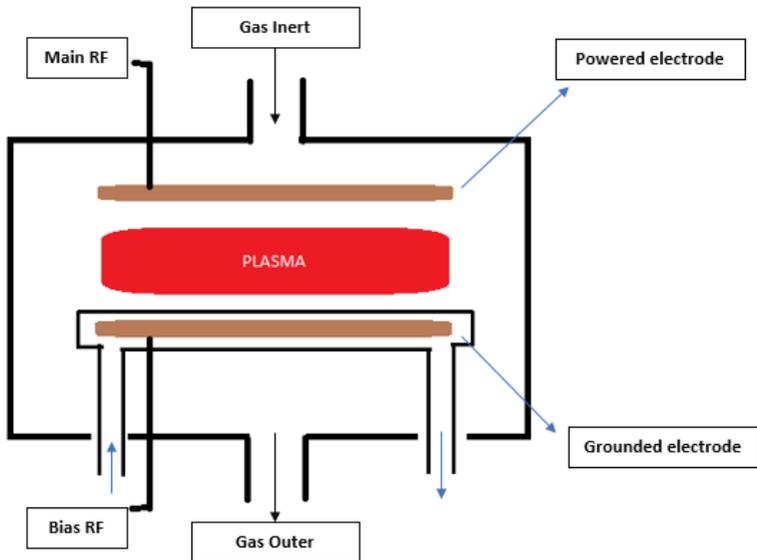
Plasma adalah fase gas yang terionisasi yang terdapat beberapa komponen didalamnya, yakni ion, atom atau molekul netral dan elektron. Pada atom-atom gas tersebut diberikan energi berupa panas atau listrik, atom-atom gas tersebut akan mengalami ionisasi dengan melepaskan elektron (Nur, 2011). Proses plasma nitriding merupakan gas-gas yang terionisasi. Pada saat proses plasma terjadi, tidak hanya elektron saja yang berinteraksi, melainkan molekul-molekul lain seperti ion positif, ion negatif, muatan yang tereksitasi, elektron, neutron dan sebagainya akan saling berinteraksi dengan cara saling bertumbukkan. Molekul-molekul yang terdapat pada *plasma chamber* atau ruang plasma dapat digambarkan sebagai berikut. Ruang plasma dibuat hampa agar tidak ada pengaruh udara (molekul yang tidak diinginkan) untuk ikut berinteraksi dengan ion-ion yang dihasilkan saat proses plasma nitriding terjadi.



Gambar 2. 7 Ion-ion yang berperan pada proses plasma nitriding (Friedrich, 2012)

Saat proses plasma nitriding berlangsung, hal ini terjadi akibat adanya beda potensial yang diberikan pada dua elektroda yaitu anoda dan katoda. Sehingga akan terjadi lucutan atom-atom gas sehingga terjadi lucutan pijaran dan terjadi plasma. Cahaya pijar (*glow discharge*) terjadi disebabkan oleh adanya emisi foton dari atom-atom nitrogen yang tereksitasi. Pada kondisi tersebut terjadi lucutan atom-atom nitrogen sehingga gerak antar ion makin padat hingga menghasilkan suhu ruangan plasma. Ion nitrogen akan bergerak ke katoda dan akan menumbuk bahan yang terdapat pada katoda akibat adanya beda potensial dan atom nitrogen akan berdifusi ke dalam bahan logam (Setiabudi,2010).

Reaktor plasma yang digunakan pada Laboratorium Material Maju dan Plasma Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, merupakan jenis reaktor *capacitively coupled plasma* (CCP), dimana komponen didalamnya berupa suatu *chamber* tertutup berfungsi sebagai ruang plasma. Dua elektroda yang berdatang di bagian atas dan bawah *chamber* berfungsi sebagai tempat pebentukan plasma, dimana medan listrik yang mengalir ditransmisikan ke bagian *central* pada daerah plasma. Selain itu, penyatuan komponen pendukung lain seperti alat pengalir gas, penyaluran gas ke dalam *chamber*, pemompa gas tekanan keluar *chamber* untuk mem-*vakum* daerah plasma dan komposisi gas juga harus diperhatikan (Quon, 2002).



Gambar 2. 8 Sistem *Capacitively Coupled Plasma* (CCP)
(D'Agostino et al, 2008)

Prinsip kerja dari CCP sederhana adalah dialirkannya tegangan RF ke dua plat elektroda sejajar yang akan menyebabkan timbulnya medan listrik diantaranya. Medan listrik inilah yang akan menyebabkan elektron bergerak dengan percepatan konstan yang kemudian memanaskan elektron tersebut dan mendapatkan cukup

energi sehingga menyebabkan ionisasi beruntut terjadi. Kemudian elektron yang terkumpul di daeran bawah elektroda atas akan mengalami penurunan potensial. Disaat yang sama akan mempercepat ion-ion untuk menumbuk ke permukaan objek plasma. CCP cukup efisien digunakan untuk keadaan tekanan tinggi dan densitas rendah (D'Agostino et al, 2008).

2.4 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Lapisan Tipis Polistiren

Modifikasi permukaan polimer dengan menggunakan metode plasma dianggap sebagai teknik modifikasi yang mudah, ramah lingkungan dan aman dilakukan. Pemilihan gas yang akan dialirkan pada permukaan polimer juga ditinjau dari efek apa yang akan diberikan. Untuk penggunaan gas oksigen dan nitrogen lebih ditujukan kepada modifikasi permukaan polimer secara fisik dengan meningkatkan energi permukaannya, sedangkan untuk modifikasi secara kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan gas fluor yang akan menurunkan energi permukaannya. Modifikasi yang dilakukan dengan menggunakan plasma tidak akan merubah sifat dari polimer tersebut (Jeremy, 2003).

Beberapa efek yang dapat ditimbulkan ketika plasma dipaparkan di atas permukaan lapisan tipis polistiren (Wolf, 2010) adalah

a. *Surface Activation* (aktifasi permukaan)

Proses aktifasi permukaan terjadi ketika atom-atom berbeda atau gas yang dignakan pada proses plasma menggantikan posisi gugus-gugus fungsi pada permukaan polimer. Proses aktifasi ini sangatlah menguntungkan karena efek yang ditimbulkan adalah dapat memodifikasi fungsi dan permukaan seperti memutus ikatan hidrogen pada polimer tanpa merubah properti dari sampel. Kemudian juga dihasilkan radikal bebas pada permukaan polimer yang cenderung bersifat tidak stabil dan cepat bereaksi dengan radikal bebas lain.

b. *Crosslinking* (ikatan silang)

Pada proses ikatan silang terjadi ikatan silang pada polimer yang dikenai oleh paparan plasma menggunakan gas-gas inert seperti Argon atau Helium sehingga menyebabkan pemecahan pada ikatan pada permukaan polimer. Akan tetapi, karena proses ini tidak

menghasilkan radikal bebas, maka dapat menghasilkan ikatan dengan radikal bebas yang terdapat pada rantai/*crosslink* lain.

c. Ablation (erosi)

Pada proses ablasi ini, *bombardment* pada lapisan permukaan polimer oleh radikal bebas, elektron, ion dan radiasi menghancurkan ikatan kovalen pada rantai polimer tersebut. Menghasilkan suatu ikatan polimer yang lebih pendek dan lemah. Karena komponen molekuler yang panjang menjadi lebih pendek, *oligomer volatil* dan produk samping monomer menguap (*ablate*) dan tersapu ke gas pembuangan (*gas outer*).

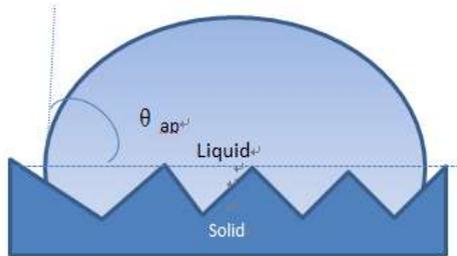
Pada penelitian yang telah di lakukan oleh Choirul Anwar (2016), dilakukan proses plasma nitrogen di atas permukaan polistiren dengan menggunakan variasi pelarut yang berbeda yakni kloroform, THF, toluen dan xylene. Didapatkan hasil lapisan permukaan polistiren tersebut mengalami penurunan pada nilai kekasaran serta sudut kontak sebagai analisa morfologi lapisan polistiren. Permukaan polistiren yang awalnya bersifat non-polar (hidrofobik) kemudian setelah diberi perlakuan plasma nitrogen menyebabkan permukaannya bersifat polar (hidrofilik). Pembentukan gugus-gugus C-N dan C-O pada molekul lapisan tipis polistiren lah yang menyebabkan perubahan tersebut terjadi.

2.5 Hubungan Kekasaran dan Kebasahan

Kekasaran erat kaitannya dengan keadaan suatu permukaan yang dianggap tidak rata. Keadaan suatu permukaan yang kasar ini dapat diketahui melalui banyak cara, salah satunya adalah uji sudut kontak (Marmur, 2006). Dimana suatu permukaan yang memiliki nilai kekasaran tinggi akan cenderung memiliki sifat hidrofobik yakni keadaan dimana suatu permukaan bersifat non-polar dan menyebabkan permukaannya susah atau tidak terikat dengan air, sedangkan jika suatu permukaan cenderung memiliki nilai kekasaran yang rendah akan menyebabkan lapisan tersebut bersifat polar dan menyebabkan permukaannya mampu mengikat air dengan kuat.

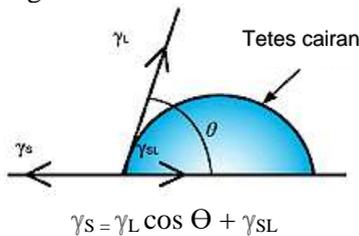
QCM yang baik adalah QCM yang permukaannya bersifat hidrofobik yakni dapat mengikat banyak protein. Ikatan yang terbentuk antara lapisan permukaan QCM dengan air merupakan

bentuk adsorpsi fisika dimana terjadi gaya Van der Walls antara materi yang berinteraksi.



Gambar 2. 9 Ilustrasi sudut kontak pada permukaan dengan tingkat kekasaran tinggi dan rendah

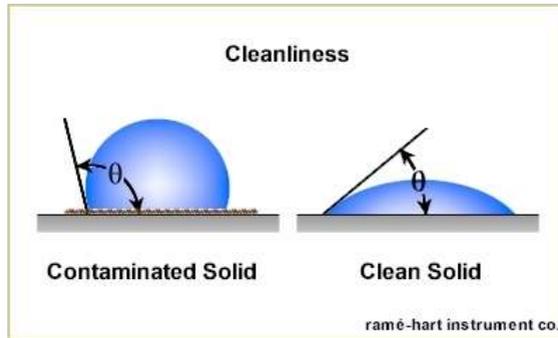
Pada gambar 2.9 diatas dijelaskan bahwa ketika sudut yang dihasilkan besar atau lebih dari 90^0 , maka permukaan tersebut bersifat hidrofobik. Sedangkan jika hasil sudut kontak yang dihasilkan memiliki nilai kurang dari 90^0 , maka sifat dari permukaan tersebut adalah hidrofilik. Perhitungan mengenai nilai sudut tersebut didefinisikan dengan persamaan Young (Adamson and Gast, 1997) dimana γ_S adalah tegangan permukaan padat, γ_L adalah tegangan permukaan cair dan γ_{SL} adalah tegangan permukaan padat dan cair. Dengan rumusan sebagai berikut:



Gambar 2. 10 Permodelan sudut kontak dengan persamaan Young

Akan tetapi hasil yang diutarakan oleh Young tentang rata permukaan tidak sesuai dengan gambaran nyata atau topografi dari permukaan uji yang sebenarnya. Kemudian dilakukan penelitian oleh (Wenzel, 1936) melakukan pengukuran sudut kontak dan didapati hasil yang berbeda dengan apa yang telah dilakukan oleh Young

dengan hasil kontak sudut yang sebenarnya. Dimana ketika permukaan tersebut meningkat tingkat kekasarannya, maka permukaan tersebut juga akan semakin bersifat hidrofobik. Begitu pula sebaliknya, semakin halus permukaan tersebut maka akan bersifat semakin hidrofilik. Hal ini didasarkan pada sifat asli dari permukaan.



Gambar 2. 11 Ilustrasi sudut kontak permukaan dengan tingkat kekasaran yang berbeda (hidrofobik dan hidrofilik)

Penelitian yang telah dilakukan oleh Wenzel ini dapat dinyatakan kedalam suatu bentuk persamaan berikut:

$$\cos\Theta = \frac{d A_{LA}}{d A_F} = \frac{A_{SL} d A_{LA}}{A_F d A_{SL}} = R_f \cos \Theta_0 \quad (2.3)$$

Dimana A_{SL} dan A_{LA} adalah daerah kontak antara cairan, padatan dan udara. R_f adalah faktor kekasaran bidang dan A_f adalah proyeksi daerah pada bidang datar. Persamaan inilah yang dikenal dengan persamaan Wenzel (Rosales Leal, 2009).

2.6 Kekasaran dan TMS (*Topography Measurement System*)

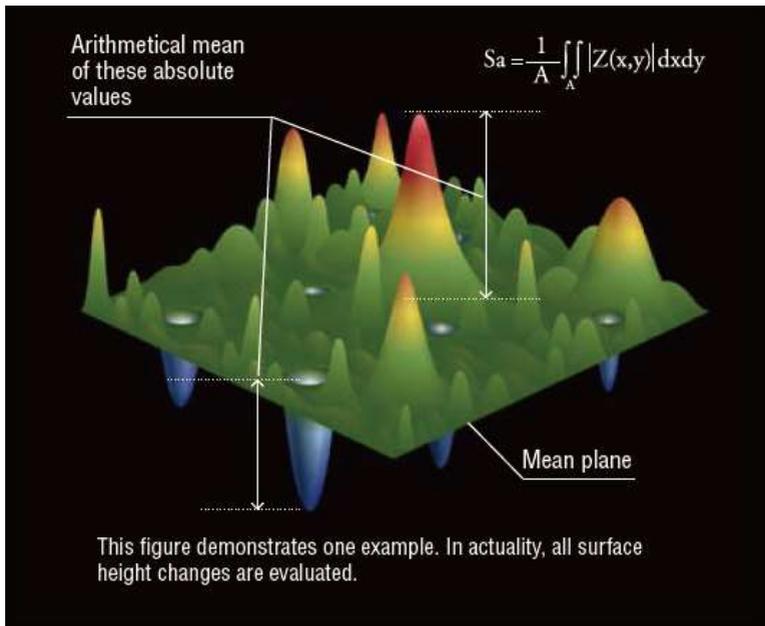
Karakterisasi kekasaran merupakan salah satu karakterisasi pada suatu bahan yang menunjukkan citra dari suatu permukaan, baik secara mikro maupun nano. Dalam pengembangan biosensor, kekasaran merupakan salah satu hal penting yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan dari suatu biosensor karena semakin kasar suatu permukaan maka akan semakin luar daerah yang dapat

terimmobilisasi (Sakti et al, 2012). Pada suatu pengukuran kekasaran terdapat tiga parameter yang digunakan yakni parameter amplitudo, hybrid dan spasi. Parameter amplitudo digunakan untuk mengukur penyimpangan secara vertical. Kemudian parameter spasi digunakan untuk mengukur secara horizontal dan parameter *hybrid* digunakan untuk mengukur secara horizontal dan vertical.

Pada karakterisasi kekasaran, parameter amplitudo sangatlah berperan penting. *Average roughness* (Ra) adalah salah satu cakupan yang dimiliki oleh parameter amplitudo. Parameter Ra dapat digunakan sebagai kontrol kualitas, yakni untuk mendeteksi variasi-variasi ketinggian dari permukaan secara keseluruhan dan sering digunakan untuk pengukuran secara 2D. Rumusan dari parameter Ra yakni:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i - z| \quad (2.4)$$

Dimana n adalah jumlah titik pada profil, z adalah titik-titik data pada profil dan z adalah rata-rata dari z (Menezes et al, 2013). Sedangkan untuk mengukur parameter secara 3D digunakan parameter *arithmetical mean height* (Sa) yang merupakan perluasan dari Ra. Nilai Sa dapat dicari dengan membandingkan perbedaan ketinggian pada tiap titik dengan rata-rata aritmatika permukaannya.



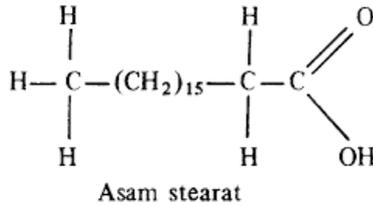
Gambar 2. 12 Skema parameter SA (www.keyence.com , 2016)

Karakterisasi kekasaran permukaan menggunakan sistem interferometer Michaelson sebagai dasar pengukurannya. Prinsip kerja dari interferometer yakni, cahaya yang berasal dari sumber dibagi mejadi dua daerah edar, yakni satu masuk ke dalam objek permukaan dan yang lain masuk ke dalam permukaan referensi. Kemudian cahaya yang awalnya terpisah tadi disatukan kembali dan dibawa menuju kamera yang akan mengukur intensitas cahaya yang terpantul di setiap titik pada keseluruhan permukaan yang diamati. Sehingga dihasilkan gambaran dari objek permukaan yang diukur dalam skala nano. Kualitas kamera dan lensa yang digunakan juga akan mempengaruhi nilai piksel dari citra permukaannya (Leach, 2011).

Salah satu alat yang dapat digunakan dalam pengukuran kekasaran suatu permukaan objek adalah TMS (*Topography Measurement Systems*). TMS ini memiliki keuntungan yakni tidak merusak spesimen yang diamati dan memiliki resolusi yang tinggi secara vertikal (Stout and Blunt, 2000)

2.7 Stearic Acid

Stearic acid atau bisa disebut juga dengan asam stearat adalah asam lemak jenuh dengan rumus molekul $C_{18}H_{36}O_2$ dengan titik leleh $70,1^{\circ}C$ dan titik didih $184^{\circ}C$ dan berat molekul 284. *Stearic acid* memiliki struktur kimia sebagai berikut:



Gambar 2. 13 Struktur kimia *stearic acid*

Stearic acid terdiri dari rantai hidrokarbon dengan gugus karboksil diujung struktur molekulnya. Seperti terlihat pada gambar gugus hidrokarbon yang merupakan ikatan dari hidrogen dan karbon memiliki sifat hidrofobik (non-polar) atau tidak terikat dengan air, sedangkan gugus karboksil yang merupakan gugus dengan ikatan antara karbon, oksigen dan hidrogen memiliki sifat hidrofilik (polar) atau mampu mengikat air dengan kuat (Gunstone and Norris, 1983).

2.7.1 Deposisi Lapisan *Stearic Acid* dengan Metode Evaporasi

Metode evaporasi merupakan suatu metode deposisi lapisan tipis yang sederhana dimana material kental atau bubuk menguap pada temperatur tinggi dan menghasilkan uap air pada fase mengembun dalam kondisi tertentu (temperatur, tekanan, substrat, dll) ke bentuk yang diinginkan. Parameter yang berpengaruh pada proses evaporasi yakni, temperatur yang disesuaikan dengan jenis material yang digunakan dalam penelitian, tekanan yang bergantung pada laju penguapan material yang digunakan, temperatur yang diterima substrat bergantung jarak material dari sumber temperaturnya dan waktu evaporasi yang akan mempengaruhi jumlah, ukuran serta morfologi produk yang dihasilkan.

Metode yang digunakan untuk deposisi lapisan *stearic acid* adalah metode evaporator vakum, fungsi ruang vakum adalah agar atom atau molekul dari target tidak bertumbukan dengan partikel udara bebas. Partikel udara dapat menghambat transpor uap dari target menuju substrat sehingga mengurangi homogenitas lapisan yang terbentuk. Nilai kevakuman yang dibutuhkan pada proses deposisi ini yakni sebesar 10^{-4} torr.

Suhu evaporasi yang digunakan pada proses evaporasi juga berpengaruh terhadap morfologi lapisan. Suhu evaporasi adalah suhu yang diberikan pada material target agar dapat menguap atau terdeposisi ke substrat. Semakin tinggi suhu maka akan semakin cepat bahan menguap dan laju molekul uap akan meningkat sehingga momentum partikel uap akan semakin tinggi. Momentum sendiri akan mempengaruhi tumbukan dan struktur maupun morfologi lapisannya.

2.7.2 Immobilisasi Protein BSA diatas Lapisan Tipis SA

Lapisan *stearic acid* (SA) pada permukaan sensor QCM/Ps memiliki gugus fungsi karboksil yang efisien untuk mengikat suatu biomolekul. Protein *Bovine Serum Albumin* (BSA) adalah protein yang digunakan pada penelitian kali ini. BSA adalah fraksi V dari serum albumin. BSA berguna untuk melarutkan substansi dari sirkulasi darah melalui jaringan organ hati seperti *digitoksin*, *tiroksin*, *bilirubin*, *hemepeptida* dan lain sebagainya. Proses immobilisasi protein dapat dilakukan dengan beberapa metode, yakni:

1. Adsorpsi adalah salah satu teknik sederhana untuk melakukan proses immobilisasi protein. Terjadi dua jenis adsorpsi yang berlangsung pada metode ini yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika adalah proses yang menggunakan dasar hukum Van der Waals dalam aplikasinya, yakni dengan melihat respon atau reaksi dari biomolekul yang diadsorpsi dengan permukaan materi yang dituju. Adsorpsi kimia adalah proses yang terjadi pada permukaan lapisan melalui ikatan kovalen dan lebih kuat jika dibandingkan dengan adsorpsi fisika. Metode adsorpsi ini sangat peka terhadap perubahan suhu, PH, kekuatan ion dan substrat yang digunakan. Dengan menggunakan metode adsorpsi ini proses immobilisasi akan berlangsung secara cepat.
2. Penyerapan (*Entrapment*) adalah teknik pencampuran antara biomaterial yang digunakan dengan larutan monomer yang kemudian dipolimerisasi pada gel untuk menjebak biomaterial.
3. Enkapsulasi adalah teknik meletakkan biomaterial di belakang membran untuk membantu perekatan transduser dengan material. Metode ini memiliki keunggulan seperti mudah beradaptasi dan spesifik untuk beberapa jenis material.
4. Ikatan Silang (*Crosslinking*) adalah metode yang didasarkan pada ikatan kimia yang terjadi diantara molekul dan bahan pendukungnya. Akan tetapi karena proses difusi yang dibatasi akan mengakibatkan kerusakan biomaterial dan melemahkan kekuatan mekaniknya, tetapi berguna untuk menstabilkan biomaterial yang diserap.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2016 sampai dengan Juni 2017 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Material Maju dan Plasma dan Laboratorium Teknologi Sensor Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

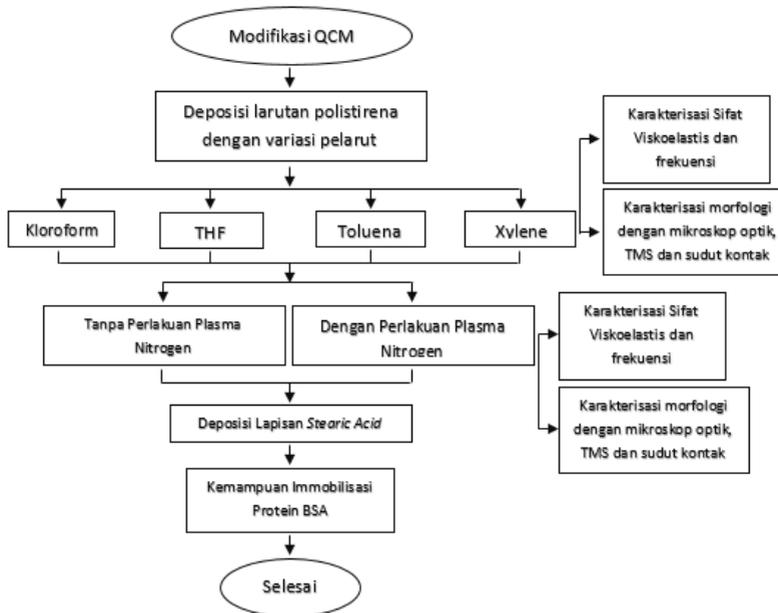
3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *ultrasound cleaner*, *furnace* (oven), *spin coating*, satu set sistem plasma nitrogen, satu set sistem evaporator vakum, mikroskop optic, TMS-1200 TopMap, *frequency counter*, pengukur sudut kontak, pengukur impedansi (*Impedance Analyzer*), satu set alat immobilisasi timbangan digital, pinset, mikropipet, gelas kimia, cawan petri, gelas ukur, aluminium foil, mikrotube.

Sedangkan bahan yang digunakan adalah QCM, polistiren, kloroform, THF, toluen, xylene, etanol, aquades, *stearic acid*, protein *Bovine Serum Albumin* (BSA) dan PBS.

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut yang dijabarkan dalam bentuk diagram alir:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan

Pembuatan larutan untuk melarutkan polistiren dengan pelarut kloroform, THF, toluen dan xylene menggunakan *ultrasound cleaner*. Konsentrasi yang digunakan untuk masing-masing pelarut yakni sebesar 3% berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan persamaan:

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

Dimana, gram terlarut adalah berat polistiren dan ml pelarut adalah volume larutan pelarut (kloroform, THF, toluen dan xylene). Polistiren ditimbang menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan nilai massa yang sesuai yakni sebanyak 0,03 gram. Kemudian pelarut kloroform, THF, toluen dan xylene diambil menggunakan gelas ukur sebanyak 1 ml untuk masing-masing pelarut.

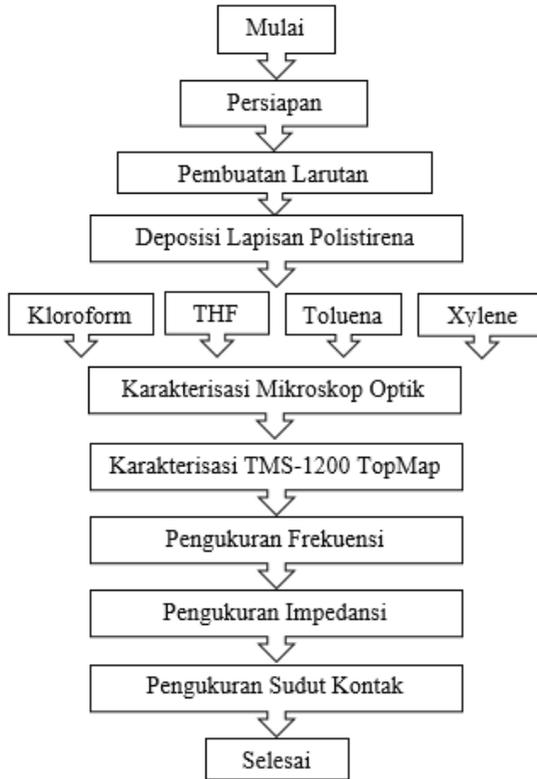
Polistiren dan pelarut yang telah di masukan ke dalam botol kecil kemudian dilarutkan dengan menggunakan *ultrasound cleaner* untuk mempercepat proses penghomogenan larutan polistiren. Sehingga dihasilkan larutan polistiren dengan pelarut kloroform, THF, toluen dan xylene.

3.3.2 Metode Penelitian

3.3.2.1 Persiapan Sensor

QCM dibersihkan menggunakan larutan etanol dengan alat *ultrasound cleaner* selama 2 menit, kemudian dipanaskan dengan oven selama 20 menit pada suhu 100°C guna menguapkan larutan etanol yang masih terdapat pada QCM. Jika dirasa QCM belum bersih tahap pencucian dengan *ultrasound cleaner* dapat ditambah durasinya.

Larutan polistiren dengan masing-masing jenis pelarut yang sebelumnya telah dibuat, yakni polistiren dengan pelarut kloroform, THF, toluen dan xylene dengan konsentrasi 3% kemudian dideposisikan di atas permukaan QCM dengan menggunakan *spin coating* dengan menggunakan kecepatan putaran awal 500 rpm selama 5 detik kemudian secara otomatis berpindah ke kecepatan kedua 3.000 rpm selama 60 detik. Penetasan larutan polistiren dilakukan tepat ketika kecepatan spin beralih dari 500 rpm ke 3.000 rpm. Volume larutan polistiren yang dideposisikan yakni sebanyak 50 µl dengan menggunakan pipet. QCM yang sudah dilapisi dengan polistiren kemudian di *furnace* (oven) selama 60 menit pada suhu 100°C agar lapisan yang telah terdeposisi melekat dengan sempurna dan menghilangkan sisa lapisan yg tidak melekat pada permukaan QCM. Perlakuan ini dilakukan untuk semua jenis pelarut, yakni pelarut kloroform, THF, toluen dan xylene.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Persiapan Sensor

3.3.2.2 Proses Plasma Nitrogen

Sebelum dimulainya proses plasma pada sampel, terlebih dahulu dilakukan pengaturan pada sistem plasma diantaranya yaitu, memasang sensor tekanan dan menghubungkan kabel generator dengan ektroda yang terdapat didalam reaktor plasma. Kemudian sampel yang telah tersedia di beri pemberat terlebih dahulu di bagian kaki dan kaki di tekukkan sedikit agar bagian elektroda pada QCM tepat berada di tengah ruang antara dua elektroda dalam reaktor plasma. Reaktor ditutup rapat dan kemudian

dilanjutkan dengan proses pemvakuman reaktor plasma dengan menghidupkan *rotary pump* hingga sensor tekanan menunjukkan angka 4.00 Volt atau sekitar 0,023 Torr.

Kemudian gas nitrogen dialirkan ke dalam reaktor dengan memutar *knob* pada tabung nitrogen dan kemudian memutar *knob* yang terdapat pada flowmeter perlahan hingga menunjuk angka 20 mL/menit. Penambahan gas nitrogen pada reaktor menyebabkan kenaikan tekanan pada reaktor hingga 5.07 Volt atau sekitar 0,279 torr.

Setelah gas teralirkan kedalam reaktor plasma, generator mulai dinyalakan dengan menggunakan daya 40 Watt. Pemilihan daya ini didasarkan pada penelitian yang sebelumnya telah dilakukan.

Setelah proses plasma terjadi selama 2 menit generator dimatikan dan aliran gas dihentikan ke dalam reaktor. Secara perlahan tutup reaktor dibuka untuk mengambil sampel yang ada di dalamnya dan sampel dipindahkan keluar reaktor. Perlakuan ini dilakukan untuk semua sampel yang ada.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses Plasma Nitrogen

3.3.2.3 Immobilisasi Permukaan *Stearic Acid* dengan Protein BSA

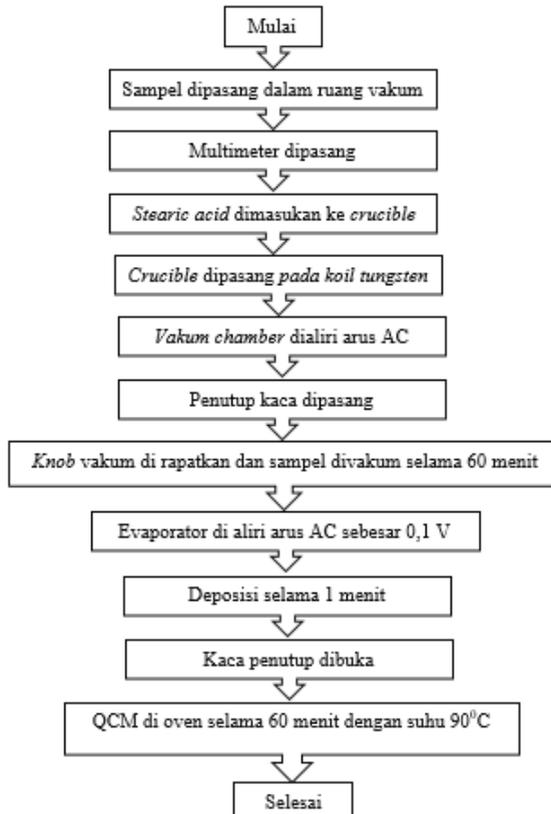
Pada tahap ini, sampel untuk masing-masing jenis pelarut yang telah di plasma akan dilakukan proses deposisi dengan menggunakan *stearic acid* pada bagian elektrodanya menggunakan satu set alat evaporator vakum. Dikareakan hanya bagian elektrodanya saja yang ingin dilapisi dengan

stearic acid maka bagian QCM lain bisa di tutupi dengan menempelkan stiker pada permukaannya.

Sampel yang telah dilakukan perlakuan plasma diletakkan di dalam ruang vakum yang sebelumnya telah dibersihkan dengan etanol. Multimeter dipasang guna mengukur tegangan yang mengalir pada evaporator. Kemudian *stearic acid* yang akan dideposisi dimasukkan ke dalam cawan keramik (*crucible*) yang kemudian dipasang pada filamen pemanas berupa *koil tungsten* yang terdapat pada *vakum chamber*. Lalu *vakum chamber* dialiri listrik AC agar dapat memanaskan *crucible* dan menguapkan *stearic acid* di dalamnya.

Setelah QCM dan cawan keramik terpasang kemudian atur tutup objek. Kemudian atur arus dengan ampermeter dan multimeter. Lalu pasang penutup kaca dan *knob* vakum di rapatkan kemudian disambungkan antara pompa vakum dan evaporator. Langkah berikutnya dilakukan pemvakuman dengan menghisap udara dalam ruangan tersebut menggunakan pompa sehingga tekanan udara di dalam ruang menjadi lebih kecil dibandingkan tekanan udara di lingkungannya. Proses vakum dilakukan selama 1 jam.

Setelah proses vakum selama satu jam, arus AC dengan tegangan 0,1 V mulai dialirkan dan menyebabkan koil tungsten memanaskan dan *stearic acid* yang ada di dalamnya mencair dan mulai meleleh. Ketika *stearic acid* mulai menguap dan terlihat pada kaca preparat yang berada diantara QCM dan *koil tungsten* kaca preparat mulai dibuka agar deposisi *stearic acid* dapat berlangsung. Proses ini dilakukan selama 1 menit. Setelah proses deposisi selesai kaca penutup dapat dibuka dan sampel bisa diambil. Proses selanjutnya adalah melakukan *furnace* terhadap QCM dengan suhu 60⁰C selama 60 menit.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Proses Deposisi *Stearic Acid*

QCM yang telah siap dimasukkan ke dalam konstruksi sel, konstruksi sel sendiri berfungsi untuk mengurangi *noise* ketika pengukuran frekuensi dilakukan. Penetesan protein (immobilisasi protein) dapat dilakukan ketika frekuensi yang terbaca mulai stabil. Sebelum dilakukan penetesan protein BSA, terlebih dahulu QCM ditetesi PBS yang berfungsi menjaga kestabilan PH protein BSA. PBS ditetaskan diatas QCM sebanyak 70 μl . Karena penambahan PBS ini akan menyebabkan penurunan nilai frekuensi pada QCM yang kemudian akan stabil kembali setelah beberapa waktu Setelah nilai frekuensi kembali stabil, protein BSA ditetaskan sebanyak 30 μl ke

dalam konstruksi sel yang telah terisi PBS. Penambahan protein BSA ini juga menyebabkan penurunan frekuensi dan akan kembali stabil setelah beberapa saat. Perubahan frekuensi inilah yang nantinya menjadi tolak ukur dari kemampuan immobilisasi sensor QCM. Dapat digambarkan pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Diagram Alir Proses Immobilisasi Protein BSA

3.4 Metode Analisa

Karakterisasi dan pengukuran pada sampel lapisan tipis polistiren yang telah dideposisikan diatas permukaan QCM yakni mikroskop optik, TMS-1200 TopMap, pengukuran frekuensi, pengukuran impedansi dan pengukuran sudut kontak untuk mengetahui morfologi permukaan, kekasaran, penghitungan nilai frekuensi resonansi, analisa impedansi dan sifat hidrofobik serta hidrofilik untuk masing-masing pelarut sebelum dilakukan perlakuan plasma.

Adapun mikroskop optic yang digunakan untuk karakterisasi morfologi permukaan yakni merk Olympus BX51 yang dapat menangkap hasil perbesaran sebesar 100x pada layer monitor. Hal ini

dilakukan agar lapisan polistiren yang telah dilapiskan dengan pelarut yang berbeda dapat diamati perbedaan morfologinya.

Kemudian karakterisasi kekasaran permukaan lapisan tipis polistiren dengan menggunakan TMS-1200 TopMap pada masing-masing sampel. Digunakan parameter Ra untuk diambil sampel kekasarannya pada 5 titik di permukaan elektroda QCM yang telah terlapisi dengan polistiren, hal ini dimaksudkan agar diketahui nilai kekasaran untuk permukaan sampel sebelum dilakukan plasma.

Pada pengukuran frekuensi dengan menggunakan *frequency counter* untuk masing-masing pelarut agar diketahui nilai frekuensi resonansi dari QCM yang telah terdposisi dengan lapisan tipis polistiren yang belum dilakukan perlakuan plasma. Waktu yang digunakan dalam pengambilan data nilai frekuensi yakni selama 10 menit.

Pengukuran nilai impedansi atau hambatan dalam pada QCM yang telah terlapisi dilakukan dengan menggunakan satu set alat *impedance analyzer* pada masing-masing sampel sebelum dilakukan perlakuan plasma agar kemudian dapat teramati perbedaannya.

Setelah itu dilakukan pengukuran sifat hidrofobik dan hidrofilik menggunakan satu set alat pengukur sudut kontak. Volume aquades yang ditetaskan pada permukaan polistiren sebanyak 15 μl . Kemudian diambil gambar setelah aquades tertetesi di atas permukaan polistirea. Dengan menggunakan software *contact angle measurement exe* sudut kontak dihitung. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing sampel.

Analisa yang berikutnya adalah immobilisasi protein BSA yang dilakukan dengan menggunakan konstruksi sel sebagai pengurang noise dan seperangkat alat *frequency counter*. Sensor QCM yang akan diimmobilisasi diukur frekuensinya hingga stabil, kemudian setelah stabil permukaan sensor ditetesi dengan PBS sebanyak 70 μl dan ketika frekuensi sudah stabil ditetesi lagi dengan protein BSA sebanyak 30 μl . Konsentrasi BSA yang digunakan yakni sebesar 1.000 ppm. Nilai perubahan frekuensi di ambil sebagai tolak ukur kemampuan immobilisasi protein BSA diatas sensor QCM.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Morfologi dan Sifat Permukaan Polistiren

Pada penelitian ini lapisan polistiren adalah lapisan tipis yang akan dimodifikasi permukaannya dengan perlakuan plasma nitrogen. Variasi pelarut pada polistiren yang digunakan juga berpengaruh terhadap morfologi permukaan lapisan polistiren. Analisa morfologi permukaan polistiren masing-masing pelarut dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Dimana hasil dari pengamatan tersebut dapat dilihat perbedaan citra morfologi permukaan yakni permukaan polistiren (A) pelarut kloroform, (B) pelarut THF (THF), (C) pelarut toluen dan (D) pelarut xylene.



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 1 Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut kloroform sebelum dan sesudah perlakuan plasma



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 2 Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut THF sebelum dan sesudah perlakuan plasma



(Tanpa Perlakuan Plasma)

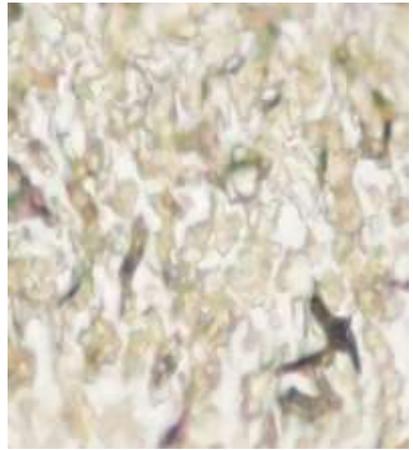


(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 3 Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut toluen sebelum dan sesudah perlakuan plasma



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 4 Perbedaan morfologi permukaan polistiren pelarut xylene sebelum dan sesudah perlakuan plasma

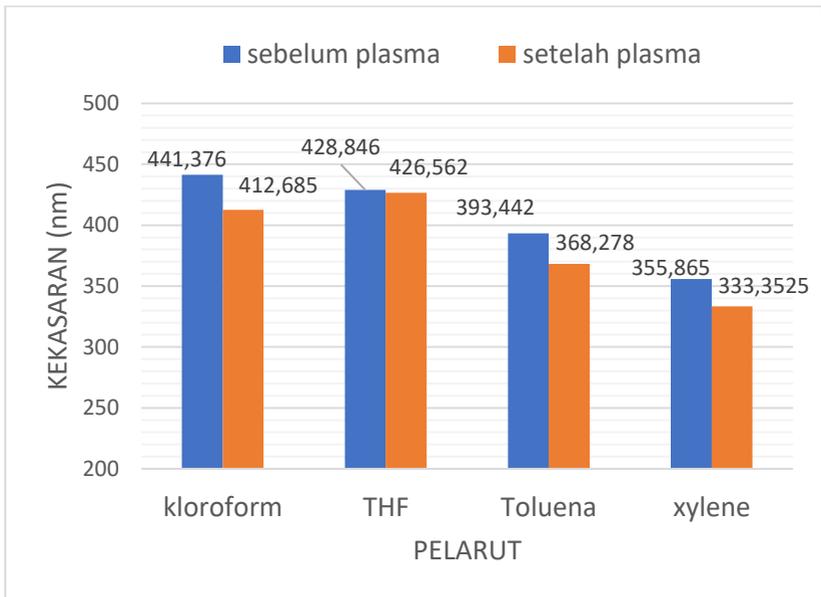
Hasil karakterisasi morfologi permukaan polistiren diatas QCM pada **gambar 4.1** hingga **gambar 4.4** menunjukkan perbedaan perlakuan yakni dengan dan tanpa perlakuan plasma. Kontras perbedaan warna hanya menunjukkan beda intensitas cahaya yang disebabkan oleh pengaruh cahaya dari luar. Pola hitam yang terlihat pada karakterisasi permukaan lapisan tipis polistiren disebabkan karena polistiren memiliki nilai modulus young yang tinggi. Modulus young adalah ukuran kekakuan suatu bahan terhadap suatu tegangan – regangan. Semakin besar nilai modulus young maka akan semakin kaku bahan tersebut. Nilai modulus young yang besar menyebabkan permukaan lapisan tipis polistiren memiliki pola ketinggian yang berbeda-beda karena pada proses pelapisan menggunakan metode *spin coating*, gaya sentrifugal yang terjadi akibat putaran pada *spin coating* memaksa lapisan tipis polistiren yang telah mengeras karena pelarut yang menguap untuk menyebar ke seluruh permukaan QCM sehingga terjadi tegangan – regangan pada permukaannya (Sakti, 2012).

Perlakuan plasma yang dipaparkan pada lapisan tipis polistiren menyebabkan perubahan morfologi. Perubahan ini diakibatkan karena terjadinya proses kimia dan fisika yang terjadi akibat adanya *ion bombardment* dimana partikel bermuatan yang

dihasilkan oleh proses ionisasi pada plasma menumbuk lapisan tipis polistiren. Tumbukan ini berasal dari penyearah partikel bermuatan oleh medan listrik antara dua plat sejajar.

Perubahan morfologi pada permukaan lapisan tipis polistiren yang telah diberi perlakuan plasma nitrogen memperlihatkan perbedaan pada profil pola hitam dan putih pada hasil mikroskop optiknya. Terlihat bahwa pola hitam pada permukaan lapisan tipis polistiren yang terpapar plasma nitogen terlihat lebih banyak dan tersebar merata. Adanya pola hitam ini menunjukkan daerah pada permukaan yang tidak terlapsi atau terlapsi secara tipis oleh lapisan polistiren. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel yang diberi perlakuan plasma mengalami ablasi pada permukaanya akibat adanya proses *ion bombardment*. Dari hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik tersebut dapat dilihat permukaan lapisan tipis polistiren dengan menggunakan pelarut xylene dan toluen menunjukkan perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan lapisan tipis dengan pelarut THF dan kloroform. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan ketebalan lapisan tipis yang telah dideposisi sebelum perlakuan plasma dilakukan. Karena nilai energi uap yang dimiliki oleh pelarut kloroform dan THF tinggi sehingga lapisan tipis yang dihasilkan akan lebih tebal jika dibandingkan dengan lapisan yang dihasilkan oleh pelarut toluen dan xylene (Eka, 2013). Lapisan tipis yang lebih tebal memiliki gaya yang cukup untuk menahan adanya gaya luar yang berinteraksi dengan lapisannya sedangkan pada lapisan tipis yang lebih tipis sebaliknya. Nilai modulus young yang dimiliki oleh permukaan lapisan inilah yang mempengaruhi properti mekanik dan kekerasan dari lapisan polimer tersebut (Huang, 2007).

Perubahan morfologi lapisan tipis polistiren setelah dilakukan perlakuan plasma mengakibatkan nilai kekasaran dari hasil karakterisasi dengan menggunakan TMS-1200 Polytech juga mengalami perubahan. Hasil perubahan pada kekasaran lapisan polistiren setelah diberi perlakuan plasma menunjukkan hasil penurunan pada nilai kekasarannya jika dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan plasma pada lapisan polistirennya. Namun dengan tingkat penurunan yang berbeda-beda. Pengukuran kekasaran dilakukan dengan perlakuan yang sama seperti sebelum perlakuan plasma nitrogen.



Gambar 4.5 Grafik nilai kekasaran permukaan lapisan tipis polistiren sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Dari **gambar 4.5** dapat terlihat bahwa adanya penurunan nilai kekasaran lapisan tipis dari masing-masing jenis pelarut setelah dilakukan perlakuan plasma. Morfologi kekasaran juga sangat berkaitan dengan tingkat kebasahan dari lapisan tersebut. Penurunan kekasaran ini juga berpengaruh dengan tingkat kebasahan dari permukaannya. Tingkat kebasahan (*wettability*) yang didapatkan dari nilai sudut kontak antara aquades dengan permukaan sensor untuk masing-masing pelarut juga menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Setelah mendapatkan perlakuan plasma masing-masing pelarut mengalami penurunan nilai sudut kontak dari yang awalnya hidrofobik menjadi hidrofilik. Penurunan ini ditandai dengan nilai sudut kontak yang didapatkan setelah perlakuan plasma menurun secara drastis. Berikut adalah salah satu hasil pengukuran sudut kontak sebelum dan sesudah perlakuan plasma yang telah dilakukan perhitungan dengan menggunakan software *contact angle measurement.exe* untuk menghitung hasil sudut kontak hasil tangkapan gambar dari alat pengukur sudut kontak.

Tabel 4. 1 Perbedaan nilai sudut kontak permukaan polistiren masing-masing pelarut sebelum dan sesudah perlakuan plasma

Lapisan	Pelarut	Sudut Kontak ($^{\circ}$)	
		Tanpa Plasma	Dengan Perlakuan Plasma
Polistiren	kloroform	88,4619	45,754
	THF	86,2272	37,414
	Toluen	83,3457	37,27
	xylene	80,5599	33,665

Penurunan nilai sudut kontak permukaan lapisan tipis polistiren setelah perlakuan plasma terjadi pada semua permukaan sampel lapisan tipis polistiren dengan nilai penurunan sudut kontak yang berbeda-beda. Dari **tabel 4.1** menunjukkan bahwa nilai sudut kontak lapisan tipis polistiren nya mengalami penurunan yang beragam berkisar antara 48 - 58% dari sudut kontak jika tidak di beri perlakuan plasma. Sehingga dapat dilihat bahwa lapisan polistiren yang telah diplasma bersifat hidrofilik karena mengalami penurunan nilai sudut kontak. Perbedaan nilai sudut kontak ini dimungkinkan Karena adanya fungsionalisasi lapisan tipis polistiren yang digantikan oleh atom yang berbeda atau gugus fungsi dari gas yang digunakan pada proses plasma nitrogen. Pada penelitian yng dilakukan oleh (Crespi, 2009) tentang perlakuan plasma nitrogen pada permukaan lapisan polistiren yang mana menggunakan XPS (*X-Ray Photoelektron Spectroscopy*) menunjukkan adanya gugus fungsi baru diantaranya C-O, C-N dan C=O sepanjang ikatan C-C dari rantai utama pada polistiren. Pembentukan gugus-gugus C-N dan C-O pada molekul lapisan tipis polistiren yang sebelumnya bersifat nonpolar menjad polar. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan nilai keelektronegatifitas yang cukup tinggi antara atom C dan N. perbedaan yang tinggi inilah yang menyebabkan permukaan polistiren menjadi bersifat polar sehingga molekul-molekul air yang juga bersifat polar akan tertarik dan menyebar merata diatas permukaan

polistiren dan membentuk sudut kontak yang sangat kecil dari 90° atau hidrofilik.

4.2 Pengaruh Plasma Nitrogen pada Morfologi Lapisan *Stearic Acid*

Deposisi lapisan tipis *stearic acid* dilakukan diatas permukaan polistiren dengan perlakuan plasma nitrogen dan tanpa perlakuan plasma nitrogen menunjukkan hasil karakterisasi morfologi dengan menggunakan TMS-1200 Polytech terdapat perbedaan. Dimana hasil tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 6 Perbedaan morfologi permukaan *stearic acid* sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut kloroform



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 7 Perbedaan morfologi permukaan *stearic acid* sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut *tetrahidrofur*



(Tanpa Perlakuan Plasma)



(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 8 Perbedaan morfologi permukaan *stearic acid* sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut toluen



(Tanpa Perlakuan Plasma)



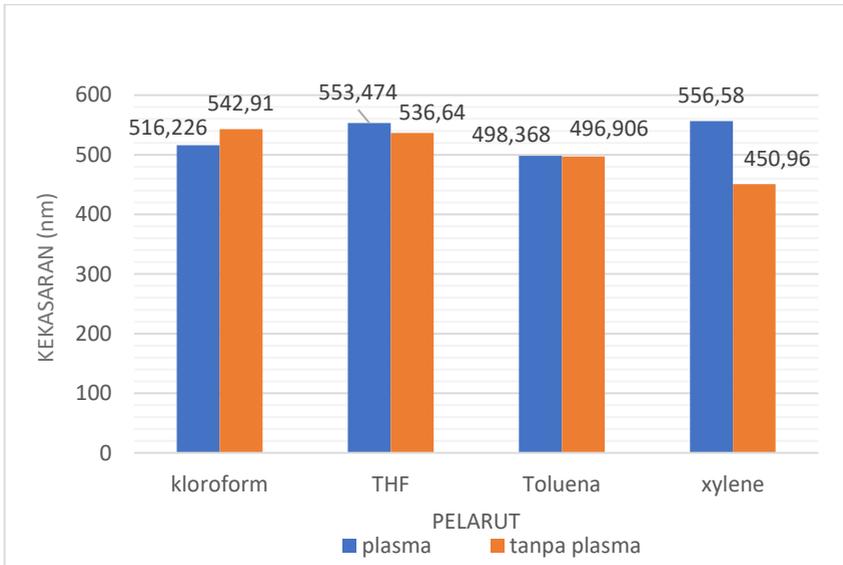
(Dengan Perlakuan Plasma)

Gambar 4. 9 Perbedaan morfologi permukaan *stearic acid* sebelum dan sesudah perlakuan plasma pada polistiren dengan pelarut xylene

Perbedaan morfologi lapisan tipis *stearic acid* diatas permukaan lapisan tipis polistiren yang diberi variasi dengan dan tanpa perlakuan plasma nitrogen menampakkan hasil yang berbeda. Pada gambar hasil karakterisasi dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x pola hitam yang terlihat lebih banyak pada sampel tanpa perlakuan plasma, sedangkan pada sampel dengan perlakuan plasma nitrogen memperlihatkan pola hitam yang lebih sedikit. Pengurangan pola hitam pada permukaan dimungkinkan karena *stearic acid* yang dideposisikan diatas permukaan polistiren yang telah di plasma terdeposisi masuk ke rongga-rongga kosong pada permukaan polistiren. Hal ini dimungkinkan akibat sifat permukaan polistiren yang telah di plasma bersifat polar sehingga menarik *stearic acid* untuk berikatan dengan permukaannya. Pola hitam tetap terlihat karena lapisan *stearic acid* yang terdeposisi tidak terlalu banyak dan relatif terlihat transparan.

Perbedaan morfologi lapisan *stearic acid* pada sampel dengan maupun tanpa plasma mengakibatkan nilai yang berbeda pula pada hasil karakterisasi kekasaran menggunakan TMS-1200 Polytech.

Perbedaan ini terjadi akibat pemberian perlakuan plasma pada sampel yang mengakibatkan adanya penurunan tingkat kekasaran.



Gambar 4. 10 Perbedaan nilai kekasaran permukaan lapisan tipis *stearic acid* diatas lapisan tipis polistiren yang diberi perlakuan plasma dan tanpa perlakuan plasma dengan variasi pelarut

Dari **gambar 4.10** dapat dilihat bahwa adanya perbedaan nilai kekasaran lapisan tipis *stearic acid* yang dideposisikan diatas lapisan tipis polistiren yang diberi perlakuan dengan dan tanpa plasma nitrogen. Hasil perbandingan nilai kekasaran permukaan lapisan tipis *stearic acid* yang dideposisikan diatas lapisan tipis polistiren menunjukkan hasil yang saling bertolak belakang. Jika pada lapisan tipis polistiren tanpa perlakuan plasma nitrogen menghasilkan nilai kekasaran permukaan *stearic acid* yang dideposisikan diatasnya dengan hasil pelarut kloroform lebih tinggi, sedangkan pada lapisan tipis polistiren yang diberi perlakuan plasma nitrogen menghasilkan nilai kekasaran permukaan lapisan tipis *stearic acid* dengan hasil pelarut xylene menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan plasma pada polistiren nya. Perubahan nilai kekasaran yang diperlihatkan pada **tabel 4.2** dapat dihitung dari selisih antara

kekasaran deposisi masing-masing lapisan tipis pada sampel yang diberi variasi plasma nitrogen pada lapisan polistiren dan variasi pelarut nya. Lapisan tipis *stearic acid* diatas lapisan tipis polistiren yang telah diberi perlakuan plasma nitrogen memiliki nilai selisih yang tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekasaran lapisan tipis *stearic acid* diatas lapisan tipis polistiren yang tidak diberi perlakuan plasma nitrogen yaitu bernilai 105,62 nm. Sedangkan pada ketiga pelarut yang lain nilai selisih antara sampel dengan perlakuan lapisan polistiren plasma dan tanpa plasma hanya memiliki selisih antara 1,462 - 26,684 nm.

Tabel 4. 2 Nilai kekasaran masing-masing lapisan pada sensor QCM dengan variasi pelarut dan variasi plasma/tanpa plasma

Sampel	Pelarut	Nilai Kekasaran Ra (nm)		
		QCM/Ps	QCM/Ps-Plasma	QCM/Ps/SA
Plasma	kloroform	441,376	412,685	516,226
	THF	428,846	426,562	553,474
	Toluen	393,442	368,278	498,368
	xylene	355,865	333,3525	556,58
Tanpa Plasma	kloroform	473,9425		542,91
	THF	459,036		536,64
	toluen	435,1925		496,906
	xylene	387,8033333		450,96

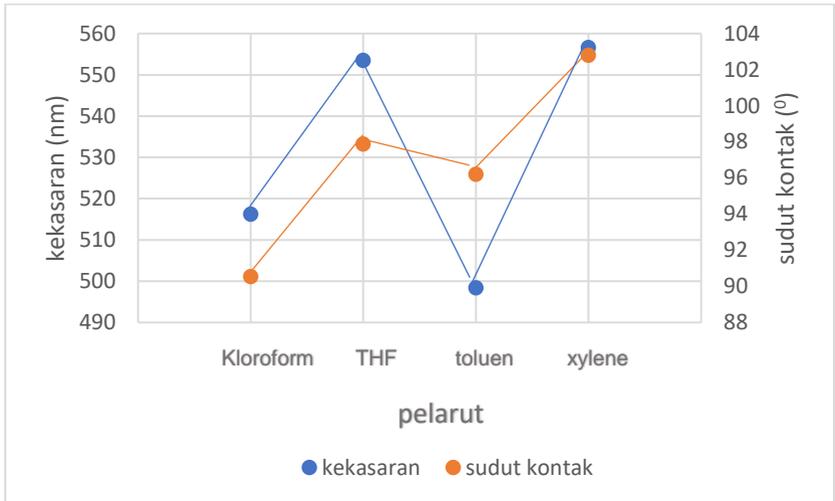
Perbedaan nilai kekasaran ini juga akan mempengaruhi nilai kebasahan (*wettability*) dari permukaan *stearic acid* terhadap *aquades* yang ditetaskan untuk pengukuran nilai sudut kontak. Perbedaan sudut paling signifikan ada pada pelarut xylene, Karena pada saat perlakuan plasma pelarut xylene lah yang mengalami perubahan paling drastis.

Pada sampel yang diberi perlakuan plasma nitrogen didapatkan urutan nilai sudut kontak permukaan lapisan *stearic acid* secara berurutan dari tinggi ke rendah yaitu xylene, THF, toluen dan kloroform. Sedangkan pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma nitrogen urutan nilai sudut kontak permukaan lapisan *stearic acid* secara berurutan dari tinggi ke rendah yaitu kloroform, THF, toluen dan xylene dengan nilai yang tertera pada **tabel 4.3**.

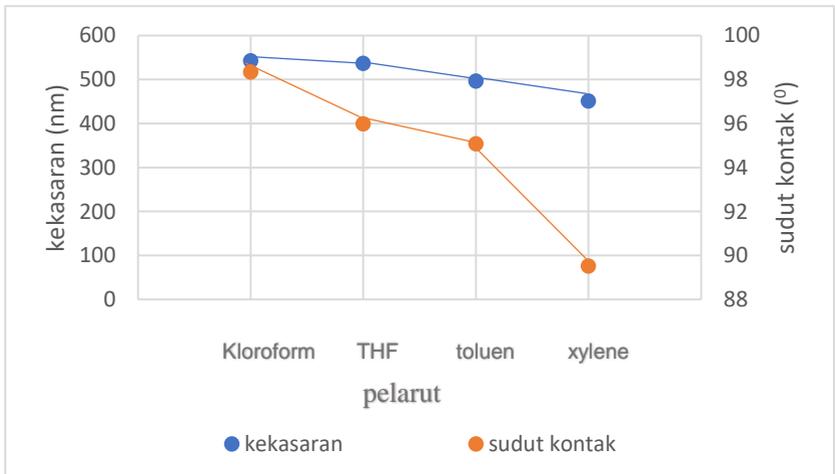
Tabel 4. 3 Nilai sudut kontak masing-masing lapisan pada sensor QCM dengan variasi pelarut dan variasi plasma/tanpa plasma

Sampel	Pelarut	Sudut Kontak (⁰)		
		QCM/Ps	QCM/Ps-Plasma	QCM/Ps/SA
Plasma	kloroform	88,4619	45,754	90,531
	THF	86,2272	37,414	97,873
	Toluen	83,3457	37,27	96,198
	xylene	80,5599	33,665	102,8
Tanpa Plasma	kloroform	88,4619		98,336
	THF	86,2272		95,99
	toluen	83,3457		95,084
	xylene	80,5599		89,516

Dari **tabel 4.3** dapat kita ketahui bahwa nilai sudut kontak permukaan *stearic acid* pada sampel yang diberi perlakuan plasma pada lapisan polistiren urutannya berbanding terbalik dengan nilai sudut kontak pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma. Dihasilkan nilai sudut kontak pada sampel yang diberi perlakuan plasma tertinggi adalah pada sampel pelarut xylene yakni 102,8⁰ sedangkan jika tanpa perlakuan plasma nilai sudut kontak permukaan *stearic acid* nya hanya bernilia 89,516⁰, sedangkan pada sampel tanpa perlakuan plasma nilai sudut kontak tertinggi adalah pada sampel dengan pelarut kloroform yakni bernilai 98,336⁰ yang jika dibandingkan dengan perlakuan plasma yakni bernilai 90,531⁰. Perbedaan nilai sudut kontak ini juga dipengaruhi oleh morfologi dari permukaan *stearic acid* yang dideposisikan diatas lapisan tipis polistiren baik pada sampel yang diberi perlakuan plasma maupun yang tidak diberi perlakuan plasma.



Gambar 4. 11 Grafik hubungan kekasaran dan sudut kontak permukaan *stearic acid* pada lapisan polistiren dengan perlakuan plasma nitrogen



Gambar 4. 12 Grafik hubungan kekasaran dan sudut kontak permukaan *stearic acid* pada lapisan polistiren tanpa perlakuan plasma nitrogen

Dari gambar 4.11 dan gambar 4.12 memperlihatkan hubungan antara nilai kekasaran permukaan *stearic acid* dengan nilai sudut kontak yang terukur. Pada sampel yang lapisan polistiren nya diberi perlakuan plasma nilai kekasaran dan sudut kontak terbesar adalah pada sampel dengan pelarut xylene, sedangkan pada sampel yang lapisan polistiren nya tidak diberi perlakuan plasma nilai kekasaran dan sudut kontak terbesar adalah pada sampel dengan pelarut kloroform. sehingga dapat disimpulkan keterkaitan antara kekasaran dengan sudut kontak atau tingkat kebasahan permukaan lapisan *stearic acid* akan berbanding terbalik dengan pemberian perlakuan plasma pada *interlayer* polistirennya.

4.3 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Sifat Viskoelastis Biosensor

QCM adalah jenis sensor yang sensitif terhadap perubahan massa yang menempel pada permukaannya. Besarnya perubahan massa ini berdasarkan pada persamaan sauerbrey pada persamaan 2.1) yang menjelaskan bahwa perubahan frekuensi berbanding lurus dengan perubahan massa yang terdeposisi. Sehingga jika perubahan frekuensi semakin besar maka massa yang terdeposisi juga akan semakin besar juga dan begitu juga sebaliknya. Hubungan ini dapat ditunjukkan dengan tabel data berikut:

Tabel 4. 4 Data hubungan perubahan frekuensi dengan perubahan massa *stearic acid* yang terdeposisi pada permukaan QCM/Polistiren

Sampel	Pelarut	Δf (Hz)		Perubahan massa Δm (gram)	
		Ps-plasma	Ps-SA	Ps-Plasma	Ps-SA
Plasma	kloroform	22	2482	9,74845E-09	1,06244E-06
	THF	41	2335	1,82093E-08	1,00181E-06
	toluen	-22	2527	-9,7491E-09	1,08177E-06
	xylene	-622	3034	-2,7534E-07	1,29743E-06
Tanpa plasma	kloroform	0	2198	0	9,40758E-06
	THF	0	1036	0	4,44518E-06
	toluen	0	4063	0	1,73952E-06
	xylene	0	2658	0	1,13676E-06

Perubahan frekuensi pada saat perlakuan plasma terdapat nilai yang negatif, nilai ini menunjukkan bahwa permukaan lapisan ada yang mengalami pengikisan atau ablasi akibat adanya *ion bombardment* pada saat proses plasma berlangsung. Data diatas menunjukkan jumlah massa *stearic acid* yang terdeposisi pada permukaan QCM/Polistiren yang divariasi dengan perlakuan plasma nitrogen pada permukaan polistirenya. Beberapa parameter seperti tegangan, massa *stearic acid*, waktu vakum, jarak antara QCM dengan substrat dan waktu deposisi (evaporasi) merupakan faktor yang mempengaruhi pada deposisi dengan menggunakan teknik deposisi evaporasi. Variasi yang digunakan pada penelitian kali ini adalah variasi pelarut dan variasi perlakuan plasma pada lapisan polistirenya. Seperti yang telah ditunjukkan pada **table 4.4** terlihat perbedaan massa yang terdeposisi pada QCM/Ps.

Parameter yang digunakan pada percobaan kali ini yakni, waktu deposisi yang digunakan adalah selama 1 menit, karena ketika digunakan waktu deposisi 3 menit *stearic acid* yang terdeposisi diatas polistiren terlalu tebal dan mengakibatkan sensor sudah tidak dapat terbaca lagi frekuensinya sehingga QCM tidak dapat beresonansi. Sedangkan untuk waktu evaporasi 2 menit, beberapa sampel masih terdeposisi terlalu tebal pada permukaannya dan sebagian lagi sudah dapat dibaca frekuensinya. Sehingga digunakan waktu 1 menit agar hasil deposisi lebih baik dan frekuensi tetap terbaca pada *frequency counter*. Kemudian tegangan yang digunakan yakni sebesar 0,1 V, waktu vakum 1 jam, jarak antar QCM dengan substrat 3,0 cm dan massa *stearic acid* yang digunakan 0,01 gram. Karena dianggap parameter ini adalah parameter terbaik yang menghasilkan korelasi antara perubahan frekuensi dengan jumlah massa *stearic acid* yang terdeposisi.

Hasil nilai perubahan massa *stearic acid* yang terdeposisi pada permukaan polistiren yang divariasi dengan perlakuan plasma nitrogen menghasilkan nilai penambahan massa antara $1,00181 \times 10^{-6}$ hingga $1,29743 \times 10^{-6}$ gram. Sedangkan pada sampel dengan polistiren yang tidak diberi perlakuan plasma nitrogen menghasilkan penambahan massa *stearic acid* sebanyak $1,13676 \times 10^{-6}$ hingga $9,40758 \times 10^{-6}$ gram. Dengan demikian massa *stearic acid* yang terdeposisi pada sampel tanpa perlakuan plasma jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan sampel dengan perlakuan plasma pada lapisan

polistiren. Penambahan massa terbesar pada sampel dengan perlakuan plasma adalah pada pelarut xylene, sedangkan pada sampel tanpa plasma massa *stearic acid* terbesar yang terdeposisi adalah pada pelarut kloroform. Hal ini dimungkinkan karena keadaan morfologi permukaan lapisan polistiren yang menyebabkan massa *stearic acid* yang terdeposisi juga berpengaruh.

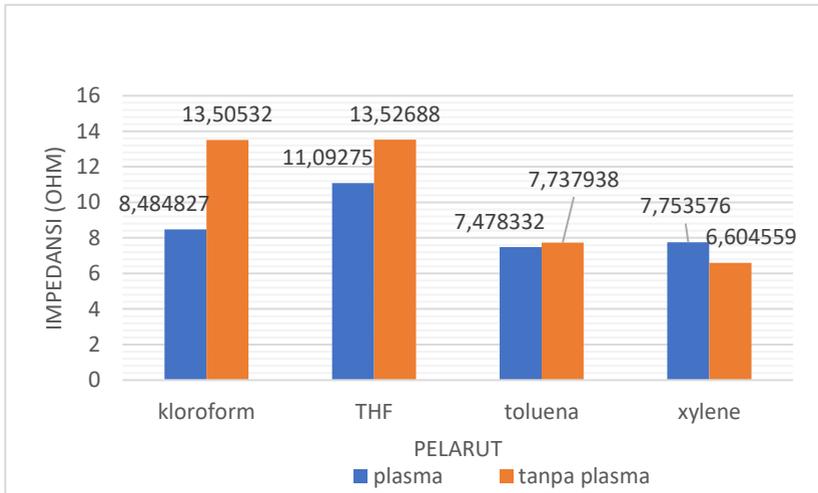
Pada sampel yang telah dilapisi dengan *stearic acid* dilakukan uji dengan menggunakan alat uji *impedance analyzer*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat viskoelastis QCM yang telah terdeposisi. Dapat dilihat pada **table 4.5** dan **gambar 4.13** tentang perbedaan nilai impedansi dari sampel yang diberi perlakuan plasma dan tidak pada lapisan tipis polistiren nya dan hubungan penambahan massa *stearic acid* dengan nilai impedansi sensor.

Tabel 4. 5 Perbedaan nilai impedansi SA dengan dan tanpa perlakuan plasma pada lapisan tipis polistiren

Sampel	Pelarut	Perubahan massa SA Δm (gram)	Nilai impedansi SA (Ω)
Plasma	kloroform	1,06244E-06	8,484827
	THF	1,00181E-06	11,09275
	toluen	1,08177E-06	7,478332
	xylene	1,29743E-06	7,753576
Tanpa plasma	kloroform	9,40758E-06	13,50532
	THF	4,44518E-06	13,52688
	toluen	1,73952E-06	7,737938
	xylene	1,13676E-06	6,604559

Pada nilai penambahan massa *stearic acid* yang besar berkisar antara $4,4 \times 10^{-6}$ hingga $9,9 \times 10^{-6}$ gram nilai impedansi yang dihasilkan cukup tinggi yakni berkisar di nilai 13Ω sedangkan pada penambahan massa yang rendah yakni sekitar 1×10^{-6} gram nilai impedansi yang dihasilkan berkisar antara $6-10 \Omega$. Dari hasil analisis dan nilai pengukuran yang didapatkan, nilai impedansi QCM yang dideposisikan *stearic acid* dengan variasi pelarut dan perlakuan plasma menunjukkan nilai impedansi yang relatif kecil. Nilai impedansi yang relatif kecil ini berkorelasi dengan sifat atau fase dari

polimer tersebut. Sesuai dengan permodelan yang dilakukan oleh (Behling, 1999) nilai impedansi yang kecil berkorelasi dengan sifat polimer yang rigid. Dimana pada fase rigid nilai modulus gesernya sekitar 10^9 Pa, ketika nilai modulus gesernya besar maka konstanta perambatan gelombangnya kecil. Nilai konstanta perambatan gelombang kecil maka akan berkontribusi pada nilai impedansi akustik yang kecil.



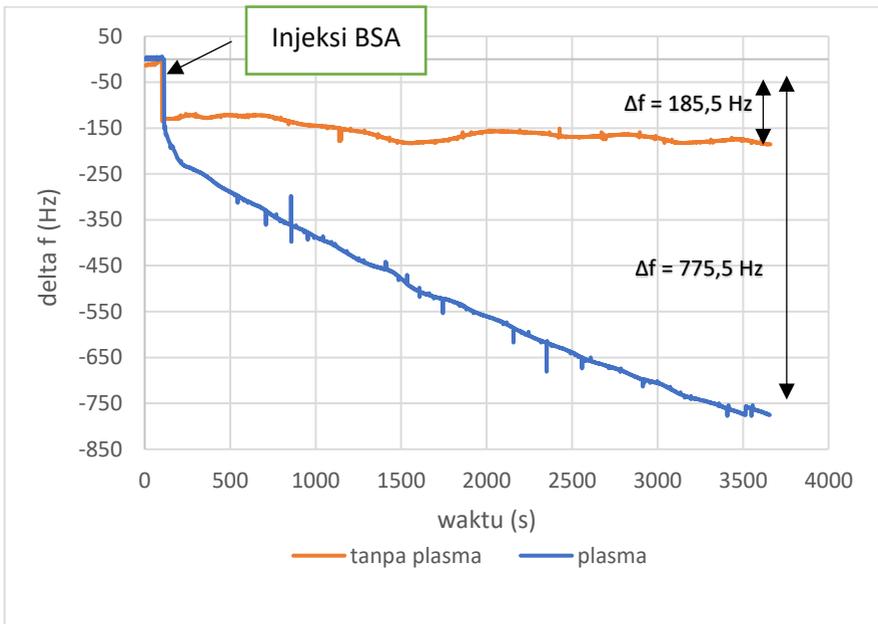
Gambar 4. 13 Grafik nilai impedansi sensor QCM yang telah dideposisi *stearic acid* dengan perlakuan tanpa/dengan plasma pada lapisan tipis polistirennya

Perubahan nilai impedansi tidak hanya bergantung pada massa *stearic acid* yang terdeposisi saja, melainkan keadaan lingkungan ketika sensor QCM diukur nilai impedansinya menggunakan alat *impedance analyzer*. Karena keadaan lingkungan yang tidak vakum maka mengakibatkan adanya kemungkinan permukaan sensor tertempel oleh partikel bebas yang ada di udara sehingga alat ukur dapat menganggap massa partikel bebas yang menempel sebagai beban yang ikut dihitung dan mempengaruhi pengukuran nilai impedansinya.

4.4 Pengaruh Plasma Nitrogen Terhadap Kemampuan Immobilisasi Protein BSA pada Lapisan *Stearic Acid*

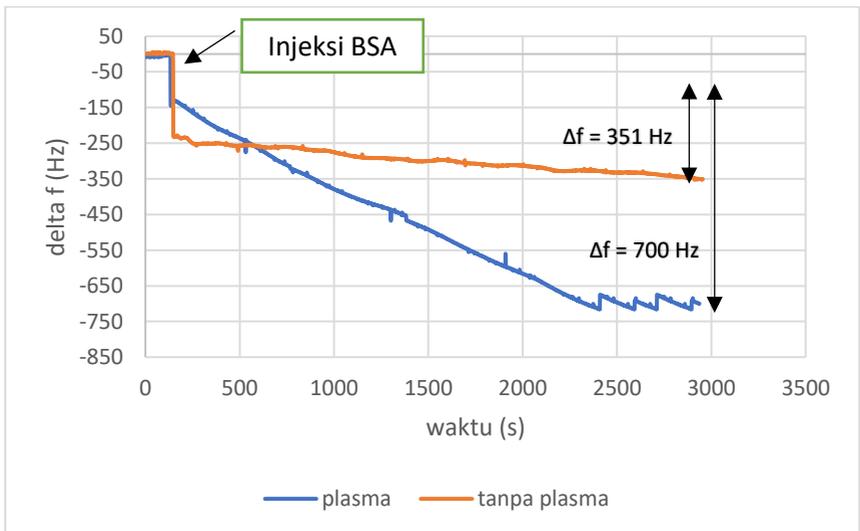
Pada immobilisasi BSA diatas lapisan *stearic acid* dilakukan dengan variasi pelarut dan perlakuan dengan atau tanpa plasma nitrogen, konsentrasi BSA yang digunakan yaitu sebesar 1000 ppm dengan jumlah larutan PBS sebanyak 70 μL dan larutan BSA sebanyak 30 μL . Perhitungan perubahan frekuensi dimulai ketika sensor yang telah ditetesi oleh PBS frekuensinya mulai stabil. Kemudian perubahan mulai dihitung hingga frekuensi menunjukkan grafik yang stabil dan pengukuran dihentikan untuk diambil datanya.

Hasil immobilisasi permukaan *stearic acid* terhadap protein BSA yang dilakukan pada variasi pelarut dan perlakuan plasma atau tanpa plasma pada permukaan polistiren menghasilkan grafik data sebagai berikut:



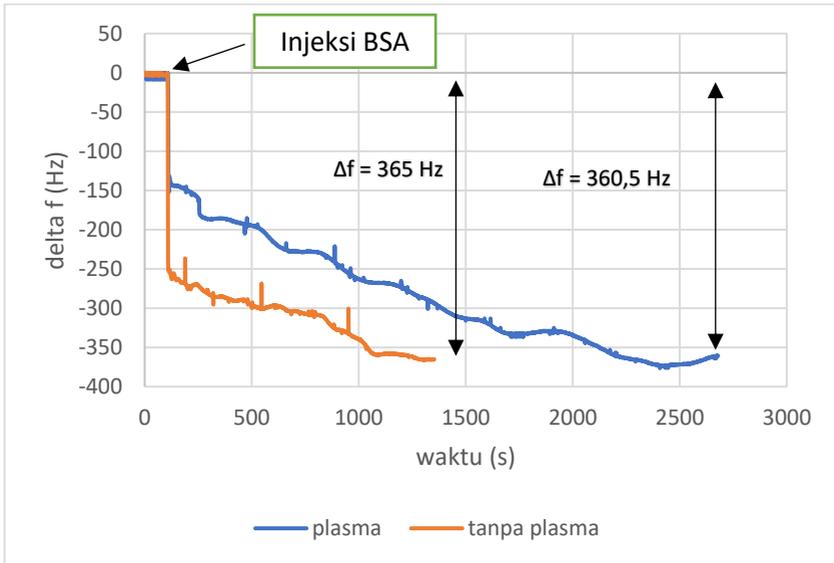
Gambar 4. 14 Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan *stearic acid* dengan pelarut kloroform

Dari gambar grafik yang telah ditunjukkan diatas, pada pelarut kloroform hasil perubahan frekuensi akibat dari uji immobilisasi dengan menggunakan protein BSA pada permukaan *stearic acid* menunjukkan nilai perubahan frekuensi yang paling besar yakni pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma. Perubahan frekuensi yang terhitung yakni sebesar sebesar 775,5 Hz pada sampel dengan perlakuan plasma, sedangkan pada sampel tanpa perlakuan plasma nilai immobilisasi yang dihasilkan adalah sebesar 185,5 Hz saja.



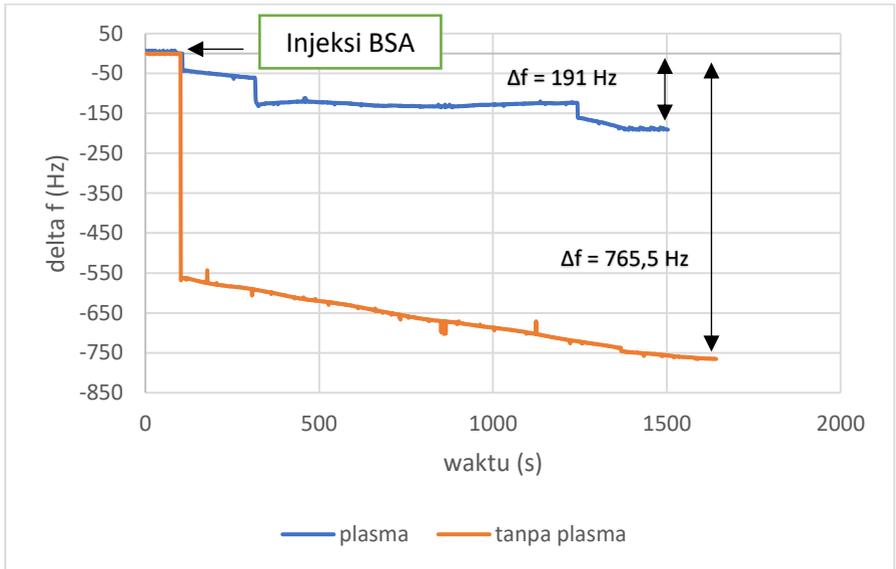
Gambar 4. 15 Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan *stearic acid* dengan pelarut THF

Pada pelarut THF hasil perubahan frekuensi akibat dari uji immobilisasi dengan menggunakan protein BSA pada permukaan *stearic acid* menunjukkan nilai perubahan frekuensi yang paling besar yakni pada sampel yang diberi perlakuan plasma. Perubahan frekuensi yang terhitung yakni sebesar sebesar 700 Hz pada sampel dengan perlakuan plasma, sedangkan pada sampel tanpa perlakuan plasma nilai immobilisasi yang dihasilkan adalah sebesar 351 Hz saja.



Gambar 4.16 Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan *stearic acid* dengan pelarut toluen

Pada pelarut toluen hasil perubahan frekuensi akibat dari uji immobilisasi dengan menggunakan protein BSA pada permukaan *stearic acid* menunjukkan nilai perubahan frekuensi yang paling besar yakni pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma. Perubahan frekuensi yang dihitung yakni sebesar 365,5 Hz pada sampel tanpa perlakuan plasma, sedangkan pada sampel tanpa perlakuan plasma nilai immobilisasi yang dihasilkan adalah sebesar 360,5 Hz saja.



Gambar 4. 17 Grafik perubahan frekuensi hasil immobilisasi BSA diatas permukaan lapisan *stearic acid* dengan pelarut xylene

Pada pelarut xylene hasil perubahan frekuensi akibat dari uji immobilisasi dengan menggunakan protein BSA pada permukaan *stearic acid* menunjukkan nilai perubahan frekuensi yang paling besar yakni pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma. Perubahan frekuensi yang terhitung yakni sebesar sebesar 765,5 Hz pada sampel tanpa perlakuan plasma, sedangkan pada sampel tanpa perlakuan plasma nilai immobilisasi yang dihasilkan adalah sebesar 191 Hz saja.

Dari keempat data yang ditampilkan dapat disimpulkan bahwa morfologi permukaan yang lebih halus akan memberikan kemampuan immobilisasi yang lebih besar daripada permukaan yang lebih kasar. Karena lapisan *stearic acid* sendiri memiliki sifat hidrofobik dan hidrofilik sehingga kemampuan immobilisasinya dapat terjadi secara fisika maupun secara kimia. Karena bagian hidrofilik pada lapisan *stearic acid* memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengikat biomolekul seperti protein BSA yang digunakan pada penelitian kali ini.

Tabel 4. 6 Korelasi antara nilai sudut kontak dan kekasaran permukaan *stearic acid* dengan nilai immobilisasi lapisan tipis *stearic acid* pada sampel plasma dan tanpa plasma

Sampel	Pelarut	Sudut kontak permukaan SA ($^{\circ}$)	Kekasaran permukaan SA (nm)	Nilai immobilisasi Δf (Hz)
Plasma	kloroform	90,531	516,226	775,5
	THF	97,873	553,474	700
	toluen	96,198	498,368	360,5
	xylene	102,8	556,58	191
Tanpa plasma	kloroform	98,336	542,91	185,5
	THF	95,99	536,64	351
	toluen	95,084	496,906	365
	xylene	89,516	450,96	765,5

Pada **tabel 4.6** dapat disimpulkan ketika permukaan lapisan *stearic acid* memiliki nilai kekasaran yang tinggi maka nilai kemampuan immobilisasi nya terhadap protein BSA malah cenderung lemah, sedangkan pada permukaan lapisan *stearic acid* memiliki nilai kekasaran yang rendah nilai kemampuan immobilisasi nya terhadap protein BSA bernilai tinggi. Adhesi yang terjadi pada lapisan yang bersifat hidrofilik akan lebih cepat dibandingkan dengan adhesi pada lapisan hidrofobik sehingga perubahan frekuensi yang terjadi lebih cepat menjadi stabil yang akan mempegaruhi penempelan protein BSA pada permukaan lapisan tipis *stearic acid*.

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sifat permukaan hidrofobitas mempengaruhi adsorpsi dari suatu protein (Gorbunov et al, 1986; Regnier, 1987). Pada eksperimen yang dilakukan oleh Jeyachandran et al (2009) tentang adsorpsi BSA yang terdeposisi pada permukaan hidrofilik dan hidrofobik menghasilkan 95% BSA terserap pada permukaan hidrofilik dan 50% BSA terserap pada permukaan hidrofobik. Dengan demikian permukaan hidrofilik memiliki kemampuan menyerap yang lebih baik dibandingkan dengan permukaan hidrofobik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlakuan plasma nitrogen pada polistiren mengakibatkan perubahan pada morfologi, kekasaran dan tingkat kebasahan permukaan *stearic acid*, dimana lapisan *stearic acid* dengan pelarut xylene memiliki nilai kekasaran dan sudut kontak yang paling tinggi, diikuti dengan pelarut THF, toluen dan xylene.
2. Perlakuan plasma pada permukaan polistiren dengan variasi pelarut menunjukkan nilai uji immobilisasi protein BSA diatas lapisan tipis *stearic acid* meningkat pada pelarut kloroform dan THF, sedangkan pada sampel yang tidak diberi perlakuan plasma sampel dengan pelarut toluen dan xylene yang mengikat protein BSA lebih baik.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut dan mendalam tentang uji immobilisasi pada permukaan *stearic acid* dengan menggunakan jenis protein atau bakteri lain.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Achhammer, B. G., dkk. 1951. Study of Degradation of Polystyrene using Infrared Spectroscopy. *Journal of Research of The National Bureau of Standards*, 47(2), 116-125.
- Adamson, a W., and Gast aP. 1997. Physical chemistry of Surface Sixth Ed. *Substance*, 124, 192C.
- Anwar, Choirul. 2016. Studi Pengaruh Perlakuan Plasma Nitrogen Terhadap Kekasaran dan Tingkat Kebasahan Permukaan Polistiren Dengan Variasi Pelarut. Jurusan Fisika FMIPA: UB.
- D'Agostino, R., Favia, P., Kawai, Y., Ikegami, H., Seto, N., and Arefi-Khonsari, F. 2008. *Advance Plasma Technology*. UK: Willey.
- Garipcan, B., dkk. 2006. *New Perspectives in Biosensors Technology and Applications: New generation Biosensors Based on Ellipsometry*. InTech, chapters published July 27, 2011.
- Gustone, FD and Norris, FA. 1983. *Lipids in Food, Chemistry, Biochemistry and Technology*. Oxford Pergamon Press.
- Gorbunov, dkk. 1986. Computer Simulation of Protein Adsorption and Chromatography. *Journal of Chromatography*, 365 (1986) 205-212.
- Hellstrom, S. L. 2007. *Basic Models of Spin Coating*. Stanford University.
- Huang, C. K., Lou, W. M., Tsai, C. J., Wu, T.C., & Lin, H. Y. 2007. Mechanical Properties of Polymer Thin Films Measured by The Bulge Test. *Thin Solid Films*, 515(18), 7222-7226.
- Jeremy, M. Grace. 2003. Plasma Treatment of Polymers. *Journal of Dispersion Science and Technology* vol 24, 2003, 305-341.
- Jeyachandran, dkk. 2009. Quantitative and Qualitative Evaluation of Adsorption/Desorption of Bovine Serum Albumin on

Hydrophilic and Hydrophobic Surface. *Langmuir Article*. American Chemical Society.

- Lairan Aldi. 2010. Perancangan Sistem Pengenalan Jenis Obat Menggunakan 20 Mhz Quartz Crystal Microbalance Dan Field Programmable Gate Array. Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI: ITS.
- Lalu, dkk. 2015. Rancang Bangun Mini System Spin Coating Untuk Pelapisan Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance) (journal). Malang: Universitas Brawijaya.
- Leach R. 2011. *Optical Measurement of Surface Topography*. UK: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Marmur A. 2016. Soft Contact: Measurement and Interpretation of Contact Angles. *Soft Matter*, 2(1), 12-17.
- Masruroh, dkk. 2014. Solvent Effect on Morphology of Polystyrene Coating and Their Role to Improvement for Biomolecule Immobilization in Application of QCM Based Biosensor. www.researchgate.net
- Menezes, P. L., Sudeep P, L., Nosonovsky, M., Kailas, S, V, and Editors, M. R. L. 2013. *Tribology for Scientists and Engineerings*. New York: Springer.
- Nur, M. 2011. *Fisika Plasma*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Pramanik, S., Bellinda, P. M and Noor Azuan, A.O. 2013. Developments of Immobilized Surface Modified Piezoelectric Crystal Biosensor for Advance Applications. *Int.J.Electrochem.Sci.*, 8 p.8863-8892.
- Quon, B. H. 2002. Capacitively Coupled Plasma Reaktor. Jepang. Retrieved from <https://www.google.com/patents/WO2002023588A2?el=en>.
- Rosales-leal, J. L, Rodriguez-valverde, M. A., Mazzaglia, G and Ramon-torregrosa, P.J. 2009. Effect of Roughness, Wettability and Morphology of Engineered Titanium Surface on Osteoblast

- Like Cell Adhesion. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspect*, 365(1-3), 222-229.
- Sakti, S.P, dkk. 1998. Thick Polystyrene-Coated Quartz Crystal Microbalance as A Basic of Cost Effective Immunosensor. www.sciencedirect.com
- Sakti S.P, dkk. 1999. Disposable HSA QCM Immunosensor for Practical Measurement in Liquid Sensor and Actuator B 78p. 257-262. *Elsevier*.
- Sakti, S.P, dkk. 2012. Improvement of Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness. www.omicsonline.org
- Samsudin, S. A., dkk. 2006. Chemical Resistance Evolution of Polystyrene/Polypropylene Blends: Effect of Blend Compositions and SEBS Content. I (I), 11-24.
- Setiabudi, A. 2010. Pengaruh Waktu dan Temperatur Nitridasi Terhadap Kekerasan Bantalan Bola yang Dinitridasi Menggunakan Plasma Nitriding (tugas akhir). STTN-BATAN, Yogyakarta.
- Spetz, A. L. 2006. Chemical Sensor Technologies. *Tutorial*, 1-18. Elsevier B.V.
- Stout, K. J., & Blunt, L. 2000. *Three Dimensional Surface Topography 2nd Ed*. UK: Penton Press.
- Wenzel, R. N. 1936. Resistance of Solid Surface to Wetting by Water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Washington, 28, 988-994.
- Wolf, R. 2010. Role of Plasma Surface Treatments on Wetting and Adhesion. *Engineering*, 2(6), 397-402.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data kekasaran permukaan

Dengan perlakuan plasma nitrogen pada lapisan Ps

Pelarut	Polistiren		Polistiren - Plasma		Stearic Acid	
Kloroform	456,73	441,376	437,26	412,685	524,17	516,226
	448,03		396,64		564,84	
	427,37		435,01		470,91	
	444,74		381,83		475,11	
	430,01		437,26		546,1	
THF	429,27	428,846	424,4	426,562	501,68	553,474
	403,54		427,9		531,33	
	430,14		414,96		642,74	
	446,3		423,15		454,57	
	423,56		453,82		637,05	
Toluen	374,21	393,442	351,87	368,278	567,02	498,368
	376,91		385,45		547,16	
	456,11		361,53		462,82	
	384,03		369,19		446,53	
	375,95		373,35		468,31	
Xylene	351,08	355,865	340,71	333,3525	789,43	556,58
	385,56		318,51		491,73	
	363,64		324,93		488,3	
	323,18		349,26		539,69	
	323,18		318,51		473,75	

Tanpa perlakuan plasma nitrogen

Pelarut	Polistiren		Stearic Acid	
Kloroform	484,38	473,9425	627,06	542,91
	453,34		493,01	
	485,31		478,84	
	472,74		486,6	
	472,74		629,04	

THF	428,75	459,036	521,75	536,64
	447,18		495,89	
	444,22		556,39	
	491,95		526,2	
	483,08		582,97	
Toluen	416,93	435,1925	463,2	496,906
	430,14		444,86	
	445,15		633,7	
	448,55		498,85	
	416,93		443,92	
Xylene	356,95	387,8033	477,99	450,96
	412,64		419,82	
	393,82		424,29	
	356,95		458,25	
	393,82		474,45	

Lampiran 2 Data sudut kontak permukaan

Dengan perlakuan plasma nitrogen pada lapisan Ps

Pelarut	Polistiren		Polistiren-plasma		Stearic acid	
Kloroform	88,148	88,462	46,435	46,754	91,257	90,5306
	86,403		46,9		90,187	
	87,212		46,923		90,018	
	88,934		46,922		90,755	
	91,614		46,592		90,437	
THF	86,685	86,227	37,017	37,414	98,041	97,873
	87,227		37,424		98,159	
	86,253		37,76		97,618	
	84,719		37,492		97,405	
	86,253		37,38		98,143	
Toluen	83,573	83,346	36,993	37,27	97,05	96,1984
	83,849		37,238		94,87	
	83,731		37,221		96,477	
	83,077		37,367		95,092	
	82,5		37,532		97,504	
Xylene	80,383	80,56	33,495	33,665	103,893	102,7973
	82,223		33,623		102,151	

	80,143		33,757		103,098	
	81,274		33,739		102,611	
	78,778		33,714		102,235	

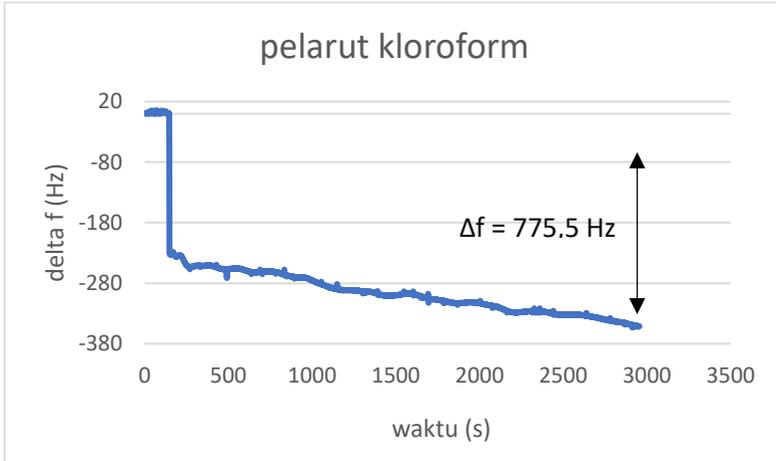
Tanpa perlakuan plasma nitrogen

Pelarut	Polistiren		Stearic acid	
Kloroform	88,1475	88,4619	97,806	98,3356
	86,403		97,911	
	87,212		99,5165	
	88,9335		97,853	
	91,6135		98,5915	
THF	86,6845	86,2272	95,4605	95,9904
	87,227		95,953	
	86,2525		96,583	
	84,7195		96,447	
	86,2525		95,5085	
Toluen	83,5725	83,3457	95,624	95,0839
	83,849		96,2635	
	83,7305		93,8785	
	83,0765		97,5135	
	82,5		92,14	
Xylene	80,383	80,5599	89,075	89,5164
	82,2225		88,9615	
	80,1425		90,0035	
	81,2735		88,5965	
	78,778		90,9455	

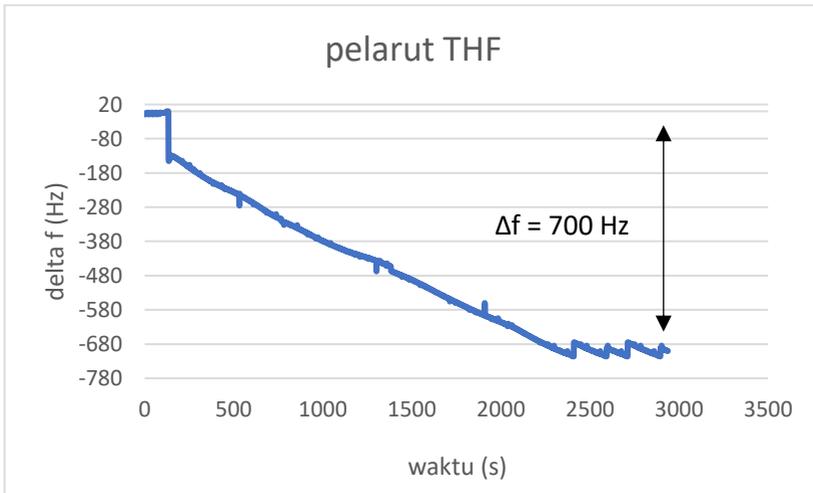
Lampiran 3 Grafik hasil immobilisasi protein di atas permukaan stearic acid

Dengan Perlakuan plasma nitrogen pada lapisan Ps

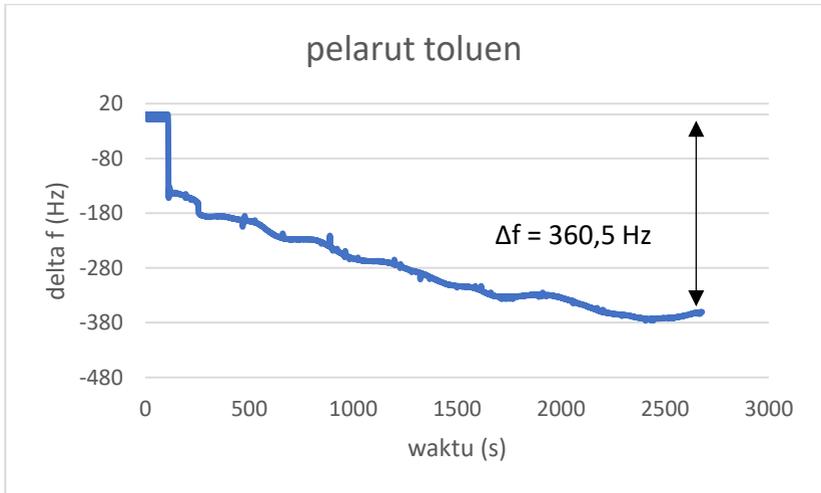
Pada Pelarut Kloroform



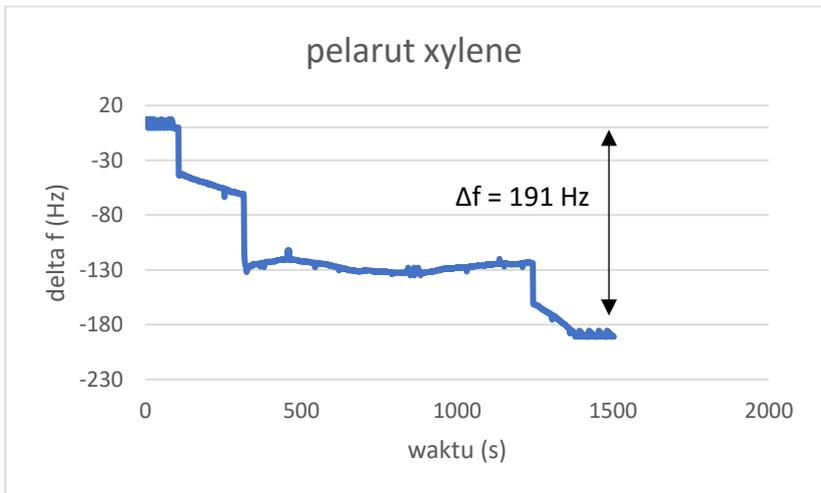
Pada Pelarut THF



Pada Pelarut Toluene

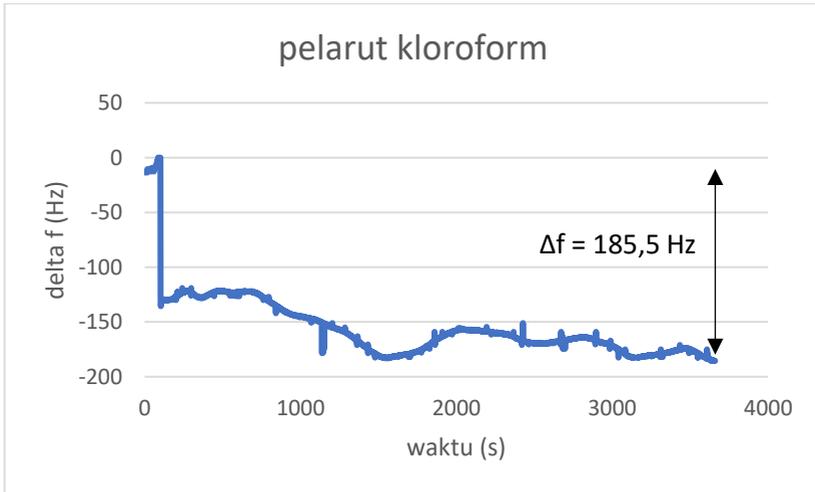


Pada Pelarut Xylene

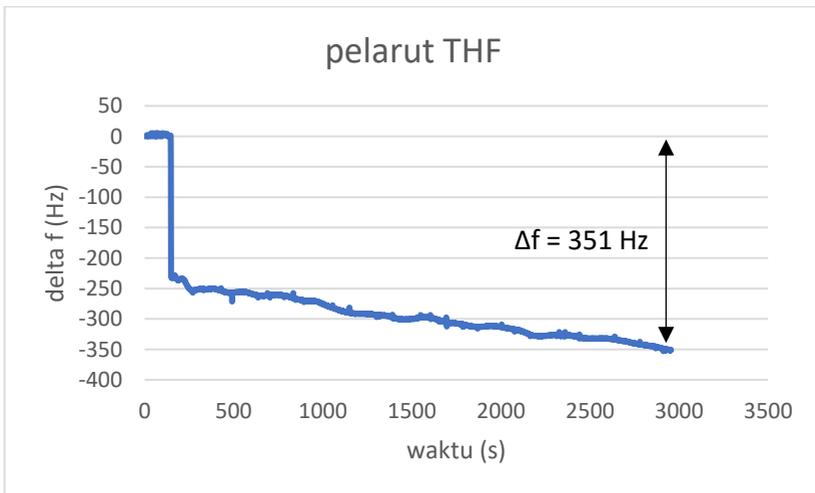


Tanpa Perlakuan plasma nitrogen pada lapisan Ps

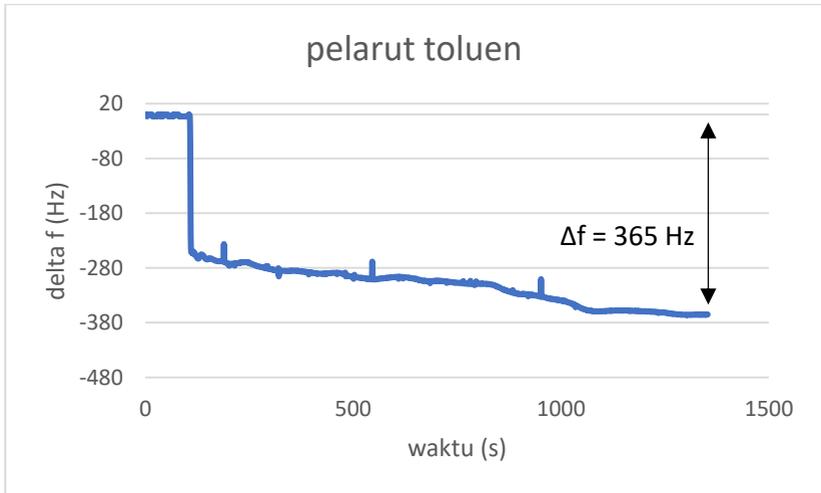
Pada Pelarut Kloroform



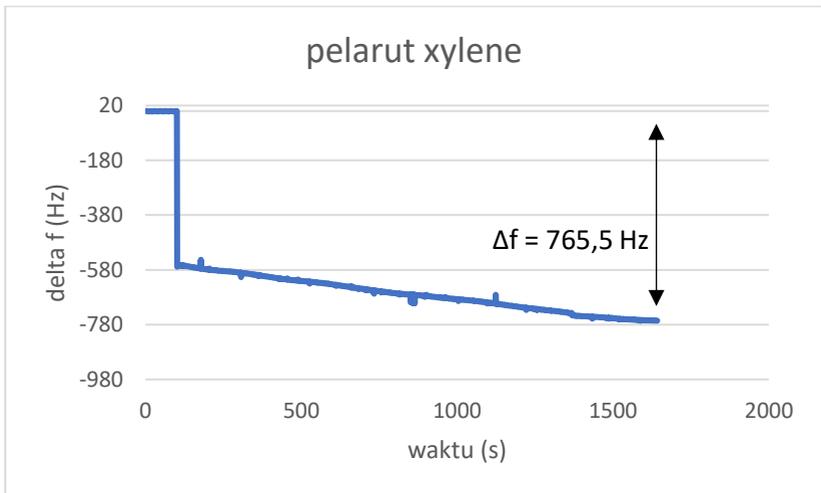
Pada Pelarut THF



Pada Pelarut Toluene



Pada Pelarut Xylene



Lampiran 4 Gambar Alat yang digunakan pada penelitian ini



Ultrasound cleaner



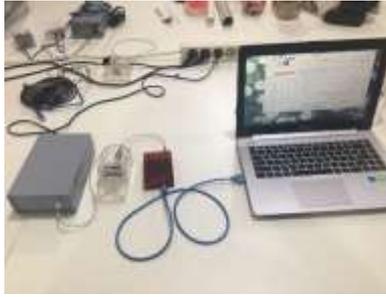
Spin coating



Satu set sistem plasma nitrogen



Seperangkat alat ukur sudut kontak



Seperangkat *frequency counter*



Seperangkat *impedance analyzer*



TMS-1200 TopMap Polytech



Mikroskop Optik



Seperangkat evaporator vakum