



**PENGARUH WAKTU DEPOSISI *STEARIC ACID* (SA) DI ATAS
PERMUKAAN *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM)
TERHADAP SIFAT VISKOELASTIS**

SKRIPSI

Oleh :

WANDA JULIANSYAH

165090300111015



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2020

PENGARUH WAKTU DEPOSISI *STEARIC ACID* (SA) DI ATAS PERMUKAAN *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) TERHADAP SIFAT VISKOELASTIS

SKRIPSI

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

Oleh :

WANDA JULIANSYAH

165090300111015



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2020

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH WAKTU DEPOSISI *STEARIC ACID* (SA) DI ATAS PERMUKAAN *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) TERHADAP SIFAT VISKOELASTIS

Oleh :

WANDA JULIANSYAH

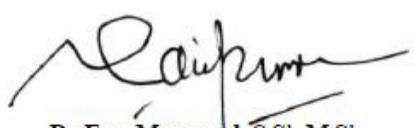
165090300111015

**Setelah dipertahankan didepan Majelis Penguji
Pada tanggal. **16 JULI 2020****

**Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjanan Sains dalam bidang fisika**

Pembimbing I

Pembimbing II



**Dr.Eng.Masrur Ph.S.Si..M.Si
NIP 197512312002122002**



**Ir.D.J.Djoko H. Santjojo..M.Phil..Ph.D
NIP 196601311990021001**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



**Prof.Dr.rer.nat.Muhammad Nurhuda
NIP 196409101990021001**



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wanda Juliansyah

NIM : 165090300111015

Jurusan : Fisika

Penulisan Skripsi Berjudul :

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI *STEARIC ACID* (SA) DI ATAS
PERMUKAAN *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM)
TERHADAP SIFAT VISKOELASTIS**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya tulis dan saya buat adalah benar-benar karya sendiri tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaksud di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila kemudian hari ternyata skripsi yang saya terbukti menjiplak, maka saya bersedia menanggung segala risiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 20 Mei 2020

Yang menyatakan

(Wanda Juliansyah)

NIM.165090300111015

PERANGKAT PENGARUH WAKTU DEPOSISI *STEARIC ACID* (SA) DI ATAS PERMUKAAN *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) TERHADAP SIFAT VISKOELASTIS

ABSTRAK

Sensor QCM dapat ditingkatkan sensitivitasnya dengan memodifikasikan permukaannya. Pada penelitian ini menggunakan *Stearic Acid* yang dideposisikan diatas permukaan QCM menggunakan metode evaporasi. Perubahan ketebalan lapisan diatas QCM berpengaruh terhadap nilai impedansi dan modulus geser dari sensor QCM. Hasil penelitian didapatkan semakin lama waktu deposisi menyebabkan lapisan yang terbentuk semakin tebal sehingga berpengaruh pada sifat viskoelastis. Nilai impedansi didapatkan dengan menggunakan *Impedance Analyzer* dan untuk nilai modulus geser didapatkan dengan mencari komponen listrik yang terdapat pada rangkaian BVD. Nilai impedansi QCM berbanding lurus terhadap besar modulus geser. Didapatkan lapisan yang baik pada waktu deposisi 1,5 menit dengan nilai impedansi yang kecil $\pm 21,6620$ Ohm dan juga nilai modulus geser $\pm 2,7342 \times 10^5$ Pa. Nilai modulus geser tersebut masih belum dikatakan sebagai rigid akan tetapi lapisan bisa digunakan dikarenakan nilai impedansi tidak hanya dipengaruhi oleh modulus geser akan tetapi dipengaruhi oleh massa jenis lapisan, dan massa lapisan yang terbentuk diatas QCM.

Kata kunci : QCM, *Stearic Acid*, Impedansi, Modulus Geser

INFLUENCE OF *STEARIC ACID* (SA) DEPOSITION TIME ON THE *QUARTZ CRYSTAL MICROBALLANCE* (QCM) SURFACE OF VISKOELASTIC PROPERTIES

ABSTRACT

The QCM sensor can be increased its sensitivity by modifying its surface. In this study using *Stearic Acid* (SA) which is deposited on the QCM surface using the evaporation method. Changes in layer thickness above QCM affect the value of the impedance and shear modulus of the QCM sensor. The results showed that the longer the deposition time thicker the layer formed so that it affected the viscoelastic properties. Impedance values are obtained by using an impedance analyzer and shear modulus values are obtained by searching for electrical components in the BVD circuit. QCM impedance value is directly proportional to the large shear modulus. A good layer was obtained at a deposition time of 1,5 minutes with a small impedance value $\pm 21,6620$ Ohm and also a shear modulus of $\pm 2,7342 \times 10^5$ Pa . The value of the shear modulus is still not said to be rigid but the layer can be used because the impedance value is not only influenced by the shear modulus but is influenced by the density of the layer and the mass of the layer formed above QCM

Keywords: QCM,Stearic Acid,Impedance,Shear Modulus



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN..... i

LEMBAR PERNYATAAN..... ii

ABSTRAK..... iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISL..... vii

DAFTAR GAMBAR..... ix

DAFTAR TABEL..... x

DAFTAR LAMPIRAN..... xi

BAB I..... 1

PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah..... 2

1.3 Batasan Masalah..... 2

1.4 Tujuan Penelitian..... 3

1.5 Manfaat Penelitian..... 3

BAB II..... 4

TINJAUAN PUSTAKA..... 4

2.1 Stearic Acid..... 4

2.2 Evaporator..... 6

2.3 Quartz Crystal Microballance (QCM)..... 7

2.4 Sifat Viskoelastis..... 9

2.5 Polistirena..... 13

BAB III..... 15

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan..... 15

3.2 Alat dan Bahan Penelitian	15
3.3 Prosedur Penelitian	15
3.3.1 Persiapan alat dan bahan	15
3.3.2 Pelapisan Polistiren	16
3.3.3 Pelapisan SA diatas QCM	16
3.3.4 Uji Impedansi	17
3.3.5 Metode Analisis	17
BAB IV	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Ketebalan Lapisan Stearic Acid yang terbentuk	19
4.2 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Perubahan Impedansi	20
4.3 Pengaruh Waktu Terhadap nilai Modulus Geser	23
BAB V	31
PENUTUP	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
Daftar Pustaka	32
LAMPIRAN	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Stearic Acid</i>	4
Gambar 2.2 Sistem Vakum Evaporator	6
Gambar 2.3 Prinsip Kerja QCM	8
Gambar 2.4 Model BVD pada QCM	10
Gambar 2.5 Hubungan antara ketebalan dan impedansi	10
Gambar 2.6 Model BVD pada QCM yang sudah diCoating	11
Gambar 2.7 Pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan	11
Gambar 2.8 Struktur Polistirena	14
Gambar 3.1 Alur proses pelapisan polistiren	16
Gambar 3.2 Alur pendeposisian SA pada permukaan QCM	17
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu deposisi terhadap ketebalan <i>Stearic Acid</i> yang terbentuk diatas QCM/Ps	20
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu deposisi terhadap impedansi	22
Gambar 4.3 Rangkaian BVD sebelum dan sesudah deposisi	24
Gambar 4.4 Modifikasi rangkaian BVD	25
Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu deposisi dengan modulus geser	29





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-jenis rumus molekuler Fatty Acid 5

Tabel 4.1 Pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan *Stearic Acid* .19

Tabel 4.2 Perubahan nilai impedansi terhadap ketebalan lapisan.....21

Tabel 4.3 Hasil perhitungan GRG non linear sebelum deposisi23

Tabel 4.4 Hasil perhitungan GRG non linear sesudah deposisi23

Tabel 4.5 Hasil perhitungan modulus geser28



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lapisan tipis dapat diartikan sebagai suatu lapisan yang sangat tipis yang terbuat dari bahan organik, inorganik, logam atau campuran metal organik dan memiliki sifat konduktor, isolator, maupun semikonduktor. Untuk pembuatan lapisan tipis suatu material direaksikan dengan cara dideposisikan diatas suatu bahan yang disebut substrat sehingga memiliki sifat material awalnya akan berbeda. Pada saat ini teknologi pembuatan lapisan tipis semakin maju dan banyak diaplikasikan pada bidang komunikasi, ilmu teknik dan teknologi lainnya termasuk aplikasi dalam fisika, yang digunakan dalam industri elektronika, mikroelektronika untuk perangkat bahan semikonduktor, dan Sensor. Pada lingkup di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya sedang dikembangkan suatu perangkat yang menggabungkan sebuah elemen penginderaan biologi elektronik yang disebut sebagai biosensor.

Sensor merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi adanya sinyal yang disebabkan oleh perubahan energi. Sejumlah penelitian dan pengembangan biosensor telah banyak dilakukan salah satunya adalah dengan memanfaatkan *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) sebagai biosensor. QCM merupakan sensor yang berbasis pada kuarsa dengan memanfaatkan sifat *Piezoelectric* yang dapat mengukur kepadatan massa dalam suatu daerah tertentu dengan tingkat sensitivitas mencapai satuan mg/cm^2 (Johannsmann, 2015). Sensor QCM dapat meningkatkan sensitivitasnya dengan cara meningkatkan kekasarannya. Salah satu cara untuk meningkatkan sensitivitas QCM dengan menggunakan pelarut kloroform. Efek pembebanan pada sensor QCM dapat dianalisa dengan menggunakan model BVD sehingga dapat ditentukan nilai dari resistor, kapasitor, dan inductor dari lapisan yang terbentuk diatas QCM (Sakti, 2014). Pelarut kloroform menyebabkan kekasaran lapisan semakin meningkat sehingga luas permukaan menjadi lebih tinggi (Nasih, 2017).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Gunstone dan noris,1983) *Stearic Acid* memiliki dua gugus yaitu gugus polar yang bersifat hidrofilik dan gugus non polar yang bersifat hidrofobik. Hal ini menyebabkan *Stearic Acid* dapat berikatan dengan polistirena karena memiliki ikatan hidrofobik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kamasi,2017) bahwa pada waktu deposisi 2,3 dan 4 didapatkan nilai ketebalan 1,306-2,378 μm . Nilai tersebut masih bersifat tidak valid hal ini dikarenakan terdapat nilai G' yang bernilai negatif. Hanya pada ketebalan 1,306 μm dengan waktu deposisi 2 menit didapatkan nilai G' yang tidak negatif yaitu sebesar $1,477 \times 10^5$. Suatu lapisan bisa dikatakan rigid jika nilai modulus gesernya disekitar 10^9 . Akan tetapi jika nilai modulus gesernya direntan 10^5 - 10^9 Pa maka QCM tersebut masih bisa digunakan.

Dalam penelitian ini lapisan yang akan digunakan adalah *Polistiren/Stearic Acid* dengan metode evaporasi dengan variasi waktu. Perbedaan waktu deposisi berpengaruh terhadap morfologi lapisan yang terbentuk di atas QCM. Morfologi lapisan yang akan berguna untuk menentukan ketebalan dan sifat viskoelastis sehingga dapat mengetahui lapisan tersebut rigid atau tidak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh waktu deposisi *Stearic Acid* terhadap sifat viskoelastis meliputi nilai impedansi dan modulus geser diatas lapisan QCM?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah.

1. Dalam pengujian tidak memperhitungkan temperature chamber
2. Jarak antara Crusible dan QCM sejauh 3 cm
3. Ketebalan lapisan *Stearic Acid* terhadap waktu didapatkan menggunakan persamaan Saubrey

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh waktu deposisi *Stearic Acid* terhadap sifat viskoelastis berdasarkan nilai impedansi dan modulus geser

1.5 Manfaat Penelitian

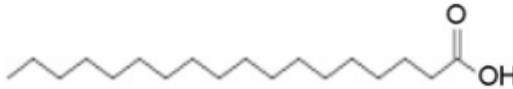
Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu deposisi *Stearic Acid* yang optimal terhadap sifat viskoelastisitas ditinjau dari nilai impedansi dan modulus geser pada *Quartz Crystal Microbalance*



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stearic Acid

Asam Stearat biasanya berbentuk seperti kristal putih, sedikit berbau, dan memiliki rasa seperti lemak. Asam stearat dibentuk menggunakan metode hidrolisis lemak atau yang biasa disebut dengan hidrogenasi asam lemak tak jenuh, yang dilanjutkan dengan metode isolasi (distilasi, fraksinasi ataupun kristalisasi). Asam stearat dapat dikatakan sebagai salah satu jenis asam lemak jenuh (Syukri, 2018).



Gambar 2.1 Struktur Stearic Acid (Bhardwaj, Jain, & Misra, 2011)

Asam lemak atau *fatty acid* merupakan asam lemak yang tidak larut didalam air (hidrofobik). Asam Stearat memiliki tekstur agak keras, berwarna putih atau agak kuning mengkilap. Sifat asam stearat mempunyai titik didih 383°C dan titik leleh 69-70°C. Asam stearat dapat larut didalam benzena, karbon tetraklorida, kloroform, eter, etanol (95%), dan tidak larut didalam air. Massa jenis asam stearat sendiri 0.980 g/cm³ (Rowe, 2009)

Asam lemak jenuh tersusun dari rantai hidrokarbon parafin yang pada umumnya memiliki reaktivitas yang sangat rendah. Memiliki rumus kimia umum R-COOH, dimana R adalah hidrokarbon rantai lurus dari rantai CH₃(CH₂)_x atau C_nH_{2n+1} (Chow, 2008)

Chemical Name	Formula	Abbreviation	Trivial Name
Methanoic	CHOOH	1:0	Formic
Ethanoic	CH ₃ -COOH	2:0	Acetic
Propanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁ -COOH	3:0	Propionic
Butanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂ -COOH	4:0	Butyric
Pentanoic	CH ₃ (CH ₂) ₃ -COOH	5:0	Valeric
Hexanoic	CH ₃ (CH ₂) ₄ -COOH	6:0	Caproic
Heptanoic	CH ₃ (CH ₂) ₅ -COOH	7:0	Enanthic
Octanoic	CH ₃ (CH ₂) ₆ -COOH	8:0	Caprylic
Nonanoic	CH ₃ (CH ₂) ₇ -COOH	9:0	Pelargonic
Decanoic	CH ₃ (CH ₂) ₈ -COOH	10:0	Capric
Undecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₉ -COOH	11:0	
Dodecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ -COOH	12:0	Lauric
Tridecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ -COOH	13:0	
Tetradecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ -COOH	14:0	Myristic
Pentadecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₃ -COOH	15:0	
Hexadecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ -COOH	16:0	Palmitic
Heptadecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₅ -COOH	17:0	Margaric or daturic
Octadecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ -COOH	18:0	Stearic
Nonadecanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₇ -COOH	19:0	
Eicosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ -COOH	20:0	Arachidic
Docosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ -COOH	22:0	Behenic
Tetracosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ -COOH	24:0	Lignoceric
Hexacosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂₄ -COOH	26:0	Cerotic
Octacosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂₆ -COOH	28:0	Montanic
Triacosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₂₈ -COOH	30:0	Melissic
Dotricosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₃₀ -COOH	32:0	Lacceroic or lacceric
Tritricosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₃₁ -COOH	33:0	Psyllic or ceromelissic
Tetratricosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₃₂ -COOH	34:0	Geddic or gheddic
Pentatricosanoic	CH ₃ (CH ₂) ₃₃ -COOH	35:0	Ceroplastic

Tabel 2.1 Jenis-jenis rumus molekul Fatty Acid (Chow,2008)

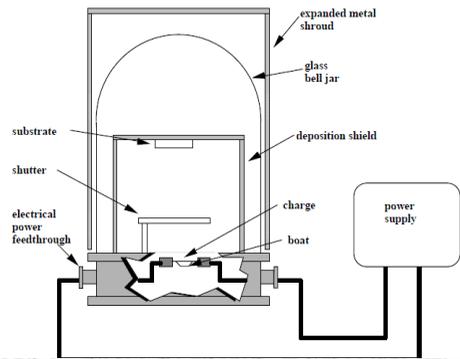
Salah satu metode untuk deposisi lapisan tunggal yang dilakukan dengan metode evaporasi dengan menggunakan *Stearic Acid*. Salah satu kelebihan dari metode ini yaitu selama deposisi sampel tidak terkena oleh cairan, selain itu metode ini lebih kompatibel digunakan untuk pendeposisian perangkat sirkuit elektronik, selain itu metode evaporasi cocok untuk menghasilkan lapisan tunggal (Rosen,1986).

Stearic Acid memiliki hidrokarbon alifatik rantai panjang dengan gugus pada ujungnya yaitu asam karboksilat. Hidrokarbon ini terdiri dari karbon dan hidrogen yang terdapat pada bagian ekor yang memiliki sifat hidrofobik dan pada bagian kepala yang memiliki sifat hidrofilik. Menurut uji morfologi menggunakan XRD struktur kristal *Stearic Acid* yang terbentuk diatas permukaan QCM-Ps memiliki orde yang tinggi

sehingga *Stearic Acid* dapat digunakan untuk bahan matrix immobilisasi (Nurramdaniyah dkk,2017)

2.2 Evaporator

Teknik evaporasi pada termal memiliki 3 tahapan utama dalam prosesnya untuk pembuatan lapisan tipis. Pertama pembentukan uap dari bahan utama, kedua perpindahan uap dari sumber menuju target, dan yang terakhir adalah proses kondensasi uap ke bahan target untuk membentuk lapisan tipis. Pada dasarnya evaporasi termal digunakan dibawah suhu yang sangat tinggi pada kondisi vakum. Filament yang biasanya digunakan dalam proses evaporasi termal adalah tungsten, tantalun dan jenis alloy lainnya, Spesifikasi material yang dapat digunakan antara lain titik leleh yang tinggi, filamen harus memiliki kelarutan yang rendah, dan juga filamen harus tahan terhadap guncangann termal. Sumber termal yang digunakan dalam system ini terdiri dari berbagai macam, yaitu *electric resistance heting, induction heating* dan *electron beam heating*. System dari evaporasi termal terdiri dari *crucibles, shitter, power supplt*, dudukan substrat, pompa vakum dan gelas penutup ruang vakum. Proses evaporasi termal biasanya dilakukan didalam kondisi vakum yang tinggi. (Biltoft, 2004)



Gambar 2.2 Sistem vakum evaporator (Biltoft , 2002)

Terdapat parameter-parameter yang berpengaruh pada proses evaporasi antara lain suhu,tekanan,jenis substrat, dan waktu deposisi. Selain itu ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam evaporasi

antara lain pemilihan temperature yang sesuai dengan jenis material yang digunakan, tekanan tergantung dengan laju penguapan, jarak material dari sumber temperaturnya dan waktu deposisi yang berpengaruh terhadap jumlah dan morfologi yang dihasilkan (Zu, Dai, Pan, & Wang, 2003)

Pada sistem evaporator sangat penting untuk memperkirakan suhu dari tempat bahan yang dipanaskan. Dengan menghubungkan antara daya listrik (P) yang mengalir pada tempat bahan (tungku) yang akan dipanaskan. Dengan (P) dapat ditulis menggunakan persamaan i^2R dimana i adalah arus dan R adalah hambatan sehingga dapat ditulis sebagai berikut

$$P=i^2R = i^2R(0) \left[\frac{T}{T(0)} \right]^2 \dots (2.1)$$

Dengan mengasumsikan hambatan listrik, $R(T)$ dari logam dapat diperkirakan pada suhu tinggi

$$R(T) = R(0) \left[\frac{T}{T(0)} \right]^n \dots (2.2)$$

Dimana $R(0)$ adalah hambatan pada suhu $T(0)$ yaitu pada suhu ruangan dan n adalah konstanta yang mendekati 1. Dapat diperkirakan dengan asumsi bahwa daya listrik diubah menjadi termal dan kemudian disebar rata pada tungku. Dalam hal ini hukum Stefan-Boltzman menghasilkan persamaan yang dapat menentukan untuk energi (P_r) yang dipancarkan sebagai berikut :

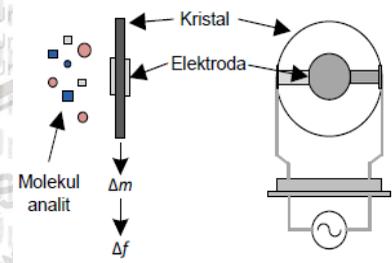
$$P_r = \varepsilon \sigma A_s (T^4 - T(0)^4) \dots (2.3)$$

Dengan ε adalah emisivitas, σ adalah konstanta Stefan boltzman, A_s adalah luas permukaan tungku (Rahimi,2014)

2.3 Quartz Crystal Microballance (QCM)

QCM atau *Quartz Crystal Microballance* adalah sebuah perangkat sensor yang prinsip kerjanya yaitu pada perubahan frekuensi osilasi yang dipengaruhi oleh adsorpsi atau penyerapan molekul dari fase gas (Suroglu,dkk,2009). Penggunaan kristal yang bahan dasarnya karsa sebagai sensor khususnya sensor QCM pertama kala dilakukan oleh

Saurbrey pada tahun 1959 yang memperlihatkan bahwa pergeseran frekuensi pada sebuah resonator kristal kuarsa sebanding dengan penambahan massa pada permukaannya. Perubahan massa sekitar satu nanogram dapat menyebabkan perubahan frekuensi sekitar 1Hz. Maka demikian perubahan kecil dalam massa dapat diukur dengan menggunakan sesor CM dengan dilapisi oleh membrane pengenal jenis molekul (Patel,dkk,2011).



Gambar 2.3 Prinsip Kerja QCM (Rouhillah,dkk,2015)

Menurut Zhang(2015) perubahan dari frekuensi yang disebabkan oleh perubahan massa pada QCM dapat dihitung menggunakan persamaan Saurbrey (2.1) sebagai berikut

$$\Delta f = - \frac{2f_0^2}{A\sqrt{\mu q \rho q}} \Delta m \dots(2.4)$$

Dimana Δf adalah perubahan frekuensi QCM (Hz), f_0 adalah frekuensi dasar dari QCM (MHz), A merupakan luas permukaan elektroda aktif (cm^2), ρq adalah massa jenis kuarsa (2.649 g/cm^3), μq adalah modulus geser kuarsa ($2.947 \times 10^{11} \text{ g/cm}^2$) dan Δm merupakan perubahan massa permukaan elektroda aktif. Dari persamaan 2.1 disubstitusikan Δm dengan $\rho \cdot \Delta V$ dan besarnya ΔV adalah $A \cdot \Delta h$, maka persamaan diatas dapat digunakan untuk mencari ketebalan lapisan yang disebut (Δh). Sehingga ketebalan lapisan yang terdeposisi di atas kristal QCM dapat dihitung secara teori menggunakan modifikasi persamaan Saurebrey :

$$\Delta V \Delta f = - \frac{2f_0^2}{A\sqrt{\mu q \rho q}} \rho \cdot \Delta V \dots(2.5)$$

$$\Delta V \Delta f = - \frac{2f_0^2}{A\sqrt{\mu q \rho q}} \rho \cdot A \cdot \Delta h \quad \dots(2.6)$$

$$\Delta f = - \frac{2f_0^2}{\sqrt{\mu q \rho q}} \rho \cdot \Delta h \quad \dots(2.7)$$

Dimana,

Δh : Perubahan ketebalan (m)

ρ : densitas bahan terdeposisi

$\rho(Ps)$: densitas polistiren (1,05 g/cm³)

$\rho(SA)$: densitas SA (0,98 g/cm³)

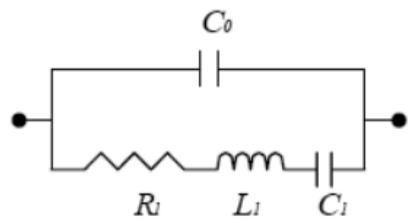
2.4 Sifat Viskoelastis

Viskoelastik yaitu efektivitas lapisan yang terbentuk diatas QCM, semakin tinggi viskoelastik memungkinkan kristal QCM tidak dapat bergetar karena adanya sifat redaman pada osilasi QCM (Masruroh,2014). Viskoelastis juga dapat dikaitkan dengan sifat bahan yang elastis dan visko saat mengalami deformasi (Hayot dkk,2012). Bahan Viskoelastisitas merupakan bahan yang tidak memiliki kriteria sebagai bahan visko dan elastis. Beberapa energi yang tersimpan di bahan viskoelastis akan hilang ketika beban dihilangkan dan sebagian akan hilang berubah bentuk menjadi panas (Vincent,2012).

Viskoelastik lapisan pada QCM dapat dianalisa dengan menghitung impedansi mekanik yang terkonversi dalam impedansi listrik pada rangkaian *Butterworth-Van Dyke* (BVD) (Granstaff,1993). Lapisan yang memiliki sifat yang rigid memiliki gelombang osilasi yang sefase dengan osilasi Kristal QCM, sehingga QCM tidak dipengaruhi penamabahan lapisan, pada lapisan rigid tersebut rumus Sauerbrey dapat digunakan untuk menganalisa perilaku QCM.

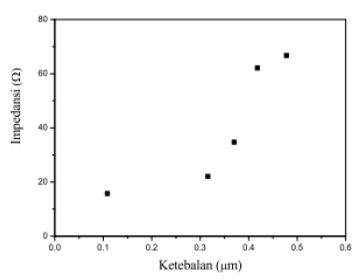
Butterworth Van Dyke terdiri dari resistor, induktor, dan kapasitor yang berasal dari sensor itu sendiri atau lapisan pelapisnya. Ketika sinyal listrik bolak balik dialirkan pada resonator akan menimbulkan sifat piezoelektrik. (Setyawan P Sakti, 2014). Terdapat 4 elemen yang terdapat pada rangkaian BVD yaitu Co atau kapasitansi paralel menunjukkan

jumlah kapasitansi elektrode. Inductor L menunjukkan komponen dari inersia osilasi yang memiliki hubungan antara perubahan massa saat bervibrasi. Kapasitor C_i menunjukkan energi yang disimpan. Resistor R menunjukkan disipasi energi osilasi (Hea & Lha, 2000)



Gambar 2.4 Model BVD pada QCM (Setyawan P Sakti, 2014)

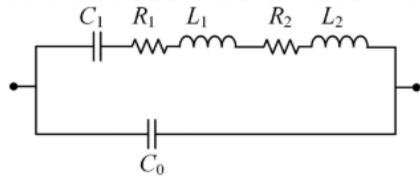
Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Fitriani,dkk,2017) nilai impedansi pada permukaan QCM dapat dipengaruhi oleh empat parameter antara lain kerapatan lapisan,ketebalan lapisan,modulus geser yang terdiri dari *modulus storage* G' dan *modulus loss* G'' .



Gambar 2.5 Hubungan antara ketebalan dan impedansi (Fitriani,2017)

Penambahan lapisan diatas permukaan QCM akan menyebabkan bertambahnya komponen induktor L dan resistor R pada rangkaian BVD. Komponen induktor L menunjukkan komponen dari inersia osilasi yang

memiliki hubungan antara perubahan massa selama vibrasi sedangkan komponen resistor R menunjukkan bagian dari disipasi energi osilasi dari struktur QCM serta karena adanya kontak medium dengan kristal.



Gambar 2.6 Model BVD pada QCM yang sudah di coating (Setyawan P Sakti, 2014)

Menurut (Calvo,dkk, 1997) pembagian dari tegangan *input* (V_i) dan tegangan *output* (V_o) pada kristal kuarsa adalah

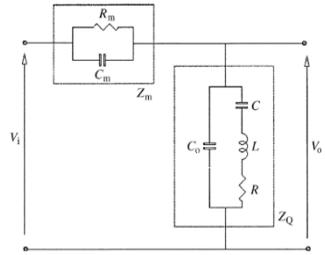
$$\frac{V_i}{V_o} = 1 + \frac{Z_m}{Z_Q} \quad (2.8)$$

Dimana Z_m merupakan impedansi mekanik sedangkan Z_Q merupakan impedansi elektroakustik kristal kuarsa yang telah dilapisi oleh lapisan viskoelastis. Maka Z_Q dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Z_Q = \frac{L}{R + j\omega L - j\left(\frac{1}{\omega C} + \frac{1}{\omega C_0}\right)} \quad (2.9)$$

Sedangkan Z_m dapat ditulis dengan persamaan

$$Z_m = -j/\omega C_m \quad (2.10)$$



Gambar 2.7 Rangkaian BVD antara Impedansi mekanik dan impedansi elektroakustik (Calvo,dkk,1997)



Nilai dari impedansi Z_Q yang merupakan impedansi elektroakustik dan Z_m yang merupakan impedansi mekanik dari kristal kuarsa 10Mhz dapat ditentukan dengan mensubstitusi persamaan (2.8) dengan persamaan (2.9) dan (2.10) sehingga didapatkan persamaan

$$\left| \frac{V_i}{V_o} \right| = \frac{\left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 + R^2 \right]}{\left[\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} + \frac{\omega L C_o}{C_m} - \frac{C_o}{\omega C C_m} - \frac{1}{\omega C m} \right)^2 + \left(R + \frac{R C_o}{C_m} \right)^2 \right]} \dots (2.11)$$

Impedansi listrik Z_e dari rangkaian untuk kristal kuarsa dapat dinyatakan dalam impedansi mekanik Z_m

$$Z_e = \frac{2\omega L_Q}{\pi \sqrt{\mu q \rho q}} Z_m = R + jX_L \dots (2.12)$$

Dimana

$$L_Q = \frac{h_Q^3 \rho q}{8A e_{26}^2} \dots (2.13)$$

$\mu q = 2.957 \times 10^{10} \text{ N m}^{-2}$ merupakan konstanta elastis dari kuarsa, ρq merupakan massa jenis kuarsa 2650 kg m^{-3} , h_Q adalah ketebalan yang terbentuk. A merupakan luas elektroda QCM dan e_{26}^2 merupakan konstanta *Stress* kuarsa $9.652 \times 10^{-2} \text{ C m}^{-2}$

Lapisan Viskoelastis dapat digambarkan dengan menggunakan modulus geser kompleks dengan cara menggabungkan komponen elastis dan komponen visko. Nilai absolut dari modulus geser diantara $10^5 - 10^9 \text{ Pa}$. Semakin rendah modulus geser, maka akan menyebabkan semakin tinggi pergeseran fase akustik. Jika pergeseran fase akustik yang kecil dapat dicapai lapisan yang tipis dan *Rigid*. (Behring, dkk. 1998)

Untuk lapisan viskoelastis maka nilai modulus gesernya menjadi bilangan Geser dan dapat dirumuskan menjadi

$$G = G' + jG'' \dots (2.14)$$

G' merupakan nilai dari *Modulus Storage* yang menyatakan bagian elastis, sedangkan G'' merupakan *Modulus Loss* yang menyatakan sifat Visko (Behring, dkk 1998). Menurut (Granstaff dan Martin, 1994)



menurunkan impedansi mekanik untuk menganalisis satu dimensi *Piezoelektrik* dengan beberapa lapisan yang bukan *Piezoelektrik* pada masing masing ketebalan d_i , dan massa jenis p_i , dan konstanta rambat gelombang k_i dan konstanta rambat gelombang $k_i = j\omega\sqrt{pi/Gi}$ maka rumus pada setiap lapisan

$$Z_m = \sqrt{(\rho G)\tanh(Kd)} \dots (2.15)$$

Z_m merupakan impedansi sesudah QCM dilapisi. Impedansi total dapat ditulis

$$Z_m = Z_{q,m} + Z_e \dots (2.16)$$

$Z_{q,m}$ merupakan impedansi QCM sebelum dilapisi, dan Z_e merupakan impedansi listrik (Granstaff dan Martin,1994).

$$Z_m = Z_{q,m} + \frac{AZ_s}{4\phi^2} \dots (2.17)$$

Z_s Merupakan impedansi akustik

$$Z_e = \sqrt{(\rho G)\tanh(kd)} \dots (2.18)$$

$$Z_e = \sqrt{(\rho G)\tan(\omega\sqrt{pi/Gi}d)} \dots (2.19)$$

maka persamaan Z_s (2.14) disubstitusi dengan persamaan (2.16) akan didapatkan.

$$Z_m = Z_{q,m} + \frac{A}{4\phi^2} \sqrt{(\rho G)\tan(\omega\sqrt{pi/Gi}d)} \dots (2.20)$$

2.5 Polistirena

Polistirena merupakan polimer hidrokarbon paraffin yang terbentuk dengan cara reaksi polimerisasi. Polistirena adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, dimana polistirena terbentuk dari monomer-monomer stirena yang berbau harum. Polistirena juga memiliki bentuk padaan murni yang tidak berwarna, bersifat ringan, keras dan tahan terhadap panas (Rianung,2007). Polistirena memiliki sifat hidrofobik

BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai bulan Mei 2020, bertempat di Laboratorium Material Maju dan Plasma dan Laboratorium Fisika Material, dan Laboratorium Sensor dan pengukuran Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Brawijaya

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan yaitu QCM, Stearic Acid (SA), aquades, alkohol, kloroform dan Polystyrena. Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan petri, pinset, alumunium foil, oven, seperangkat vakum evaporator, tisu, oven, mikropipet, QCM, *Impedance Analyzer*, Dan *Ultrasoundbath Bronson 2510*

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Persiapan alat dan bahan

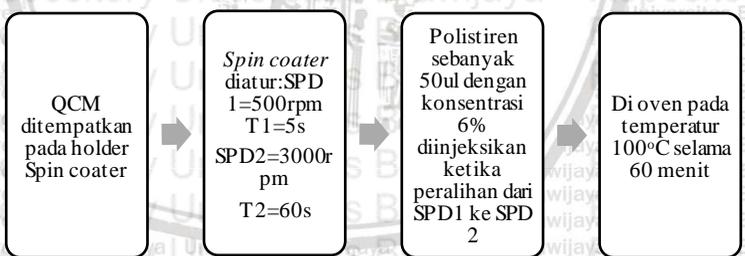
Peralatan yang digunakan memiliki fungsi masing-masing. Vakum evaporator yang berfungsi sebagai alat untuk mendeposisikan *Stearic Acid* pada permukaan QCM, sebelum digunakan tungsten dan *Crusible* harus diganti terlebih dahulu dan diatur jarak antara *Crusible* dengan holder sejauh 3 cm. Kemudian dipersiapkan pula larutan Ps dengan cara melarutkan butiran Ps ke dalam pelarut chloroform, dengan ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi} = \frac{\text{Massa Tertalar (gram)}}{\text{Volume Pelarut (ml)}} \dots (3.1)$$

Sehingga dapat dikatakan untuk pembuatan 6% larutan Ps. Selanjutnya dipersiapkan SA ditimbang dengan timbangan sebesar 0,005 gram. selain itu evaporator serta penutup evaporator harus dibersihkan dengan menggunakan tisu dan alkohol. Setelah semua dibersihkan lalu dilapisi setiap komponen dengan alumunium foil. Oven digunakan untuk memanaskan QCM yang sudah dilapisi oleh SA.

3.3.2 Pelapisan Polistiren

Pada pelapisan polistirena digunakan vacuum *Spin coater*. Pertama dengan bantuan pinset QCM dipasang pada vacuum *Spin coater*, selanjutnya *Spin coater* ditutup kembali, kemudian ditekan tombol “FNC” pada *Spin coater* dengan ketentuan SPD1=500,T1=5,SPD2=3000, dan T2=60s. kemudian *Spin coater* divacumkan beberapa menit lalu *Spin coater* dijalankan dengan menekan tombol “RUN”, setelah 5 sekon, *Spin coater* akan menunjukkan nilai rpm sebesar 3000, tepat pada waktu peralihan kecepatan putar tersebut larutan polystirena sebanyak 50ul diteteskan tepat diatas QCM menggunakan mikropipet pada saat *Spin coater* berputar dengan kecepatan 3000 rpm. Perlakuan tersebut dilakukan pada kedua sisi permukaan QCM. Substrat QCM yang sudah dilapisi oleh polistirena selanjutnya di panaskan didalam oven (Annealing) selama 60 menit dengan suhu 100°C. Annealing dilakukan agar lapisan polistiren yang dideposisi rata dan juga untuk menghilangkan uap air dan zat pelarut. Selain itu tujuan utama pelapisan polistirena pada permukaan QCM untuk mencegah terjadinya oksidasi ketika QCM kontak dengan udara dan juga sebagai matrik untuk mengimmobilisasi dengan molekul bahan.

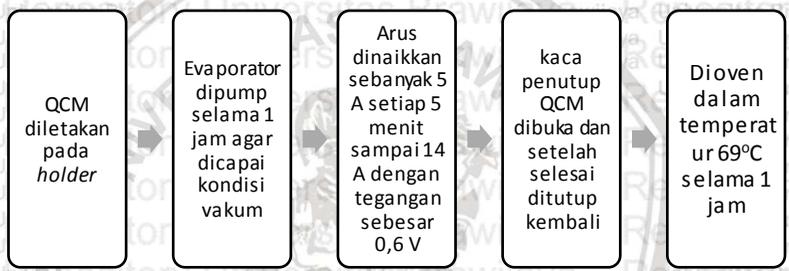


Gambar 3.1 Alur proses pelapisan polistiren

3.3.3 Pelapisan SA diatas QCM

Pada pelapisan Stearic Acid, dilakukan dalam vacuum evaporator. Pertama tama yang dilakukan adalah melapisi bagian dalam chamber dengan menggunakan aluminium foil yang berfungsi untuk mencegah *Stearic Acid* menempel ketika di evaporasi. Selanjutnya adalah mengkondisikan QCM pada holder evaporator, selain itu meletakkan bahan *Stearic Acid* pada *Crusible*, kemudian evaporator ditutup. Jarak

antara *Crusible* dengan QCM sejauh 3 cm. Selanjutnya evaporator divacumkan selama 1 jam. Kemudian pemutar tegangan diputar perlahan, sampai arus naik sekitar 5A, selanjutnya ditunggu sampai 5 Menit, kemudian diputar lagi sebesar 5A, dilakukan hal yang sama sampai tegangan menunjukkan 10A selanjutnya diputar perlahan dengan kenaikan 2A setiap 2 menit sampai arus sebesar 14 A sampai tegangan menunjukkan 0.6V . Setelah SA menguap kaca penutup dibuka dan ditunggu agar Stearic Acid melapisi QCM dengan waktu 1-2 menit dengan interval 0,5 menit. Setelah itu dioven selama 1 jam pada temperature 69°C



Gambar 3.2 Alur Pendeposisian SA pada permukaan QCM

3.3.4 Uji Impedansi

Untuk Analisa impedansi menggunakan *Impedance Analyzer*. Pertama-tama dihidupkan komputer dan *Impedance Analyzer*. Sesudah semua menyala lalu dibuka program *Impedance Analyzer* Setelah program siap selanjutnya *open recent file* impedansi yang sudah dikalibrasi. Selanjutnya QCM di jepit pada probe. Lalu klik *run* diprogram. Ditunggu sekitar 10 menit untuk didapatkan hasil impedansinya

3.3.5 Metode Analisis

Dilakukan analisis berupa uji viskoelastik dari lapisan yang terdeposisi di atas QCM, dengan cara melihat nilai impedasi yang dapat diukur dengan menggunakan *Impedance analyzer*. Data ini bisa diolah menggunakan Ms.Excel dan selanjutnya dianalisis. Untuk analisis menggunakan grafik hubungan antara waktu deposisi terhadap nilai



impedansi dan kemudian dibuat grafik hubungan antara impedansi dengan beda fase dan frekuensi

Data hasil impedansi selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai modulus geser. Hasil dari perhitungan modulus geser dianalisa menggunakan grafik hubungan antara perubahan waktu deposisi terhadap modulus geser dan selanjutnya di bandingkan dengan refrensi yang sudah ada



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Ketebalan Lapisan *Stearic Acid* yang terbentuk

Pada penelitian ini digunakan metode evaporasi dengan dideposisikan *Stearic Acid* (SA) diatas QCM/Ps. Pendeposisian *Stearic Acid* dilakukan dengan memvariasi waktu deposisi *Stearic Acid* yaitu selama 0,5 menit; 1 menit; 1,5 menit; dan 2 menit Variasi waktu deposisi *Stearic Acid* dilakukan untuk didapatkan variasi ketebalan yang berbeda. Dengan mengasumsikan lapisan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas QCM/Ps bersifat rigid maka untuk menghitung ketebalan yang terbentuk dapat menggunakan persamaan Saurbrey sebagai berikut :

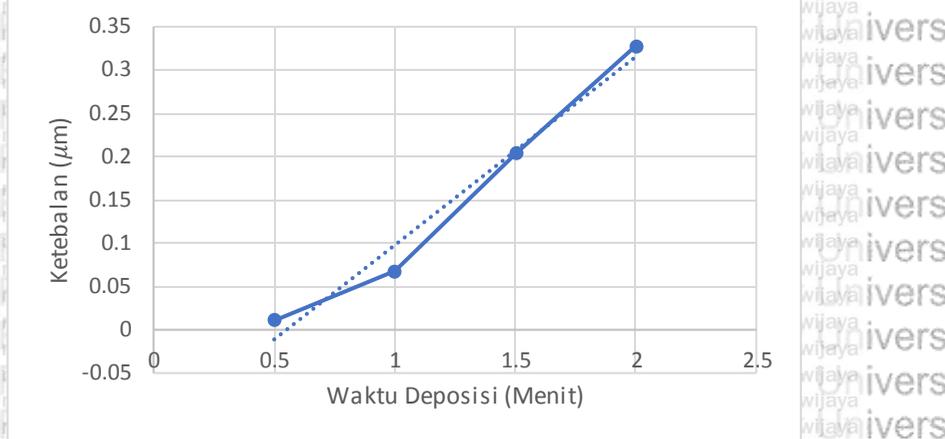
$$\Delta h = - \frac{\Delta f}{2fo^2} \frac{\sqrt{\mu\rho\rho q}}{\rho Sa} \dots(4.1)$$

Dimana Δf adalah perubahan frekuensi, fo adalah frekuensi sebelum deposisi, ρSa adalah massa jenis *Stearic Acid* sebesar 0.98 g/cm^3 , μq adalah modulus dari kuarsa sebesar $2.967 \times 10^{11} \text{ g/cm.S}^2$, dan ρq adalah densitas dari kuarsa sebesar 2.684 g/cm^3 sehingga data tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan *Stearic Acid*

Waktu	Frekuensi QCM/Ps (Hz)	Frekuensi QCM/Ps/SA (Hz)	Δf (Hz)	Δh (μm)
0,5	9958205,95	9957976,24	229,718	0,0105
1	9942565,72	9941102,64	1463,079	0,0669
1,5	9924006,37	9919594,32	4412,055	0,203
2	9948107,99	9940934,30	7173,683	0,328

Selanjutnya tabel 4.1 diplot dalam bentuk grafik pada gambar 4.1 untuk menganalisa pengaruh waktu deposisi *Stearic Acid* dengan ketebalan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas permukaan QCM/Ps dengan menggunakan persamaan saubrey dengan mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk bersifat rigid.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu deposisi terhadap ketebalan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas QCM/Ps

Dari grafik 4.1 didapatkan grafik naik dari waktu 0,5 menit – 2 menit yang berarti semakin lama waktu deposisi maka akan semakin tebal lapisan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas permukaan QCM/Ps. Hal ini disebabkan ketika serbuk *Stearic Acid* dipanaskan pada metode evaporasi akan mendapatkan energi yang cukup untuk merubah serbuk *Stearic Acid* menjadi gas (menyublim). Karena semakin lamanya waktu evaporasi menyebabkan semakin banyak partikel *Stearic Acid* yang terdeposisi pada permukaan QCM sehingga ketebalan lapisan yang terbentuk semakin tebal. QCM merupakan sensor yang prinsip kerjanya dari pergeseran frekuensi yang disebabkan adanya perubahan ketebalan yang terbentuk diatasnya. Permukaan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas permukaan QCM diasumsikan rigid sehingga dapat dihitung menggunakan persamaan Saubrey. Sesuai dengan persamaan Saubrey bahwa semakin besar perubahan frekuensi maka ketebalan lapisan yang akan terbentuk diatas QCM akan semakin tebal dan sebaliknya.. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian yang diperoleh dari tabel 4.1

4.2 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Perubahan Impedansi

Impedansi untuk sensor kuarsa terdapat dua komponen yaitu komponen real yang untuk menjelaskan sifat viskoelastis dari sensor

QCM dan komponen imajiner yang menjelaskan perubahan frekuensi yang terjadi pada sensor QCM dapat ditulis pada persamaan dibawah ini

$$Z=R+j \omega L - \left(\frac{1}{j\omega C}\right) \dots(4.2)$$

Pada saat mengukur impedansi terdapat dua jenis yaitu resonansi seri dan resonansi paralel. Frekuensi seri terjadi Ketika impedansi bernilai minimum dan frekuensi paralel terjadi Ketika impedansi maksimum Rangkaian QCM sendiri terdiri dari *Butterworth-Van Dyke* (BVD) rangkaian seri R,L,dan C yang besar impedansinya dapat dinyatakan dengan rumus

$$Z=\sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} \dots(4.3)$$

Atau

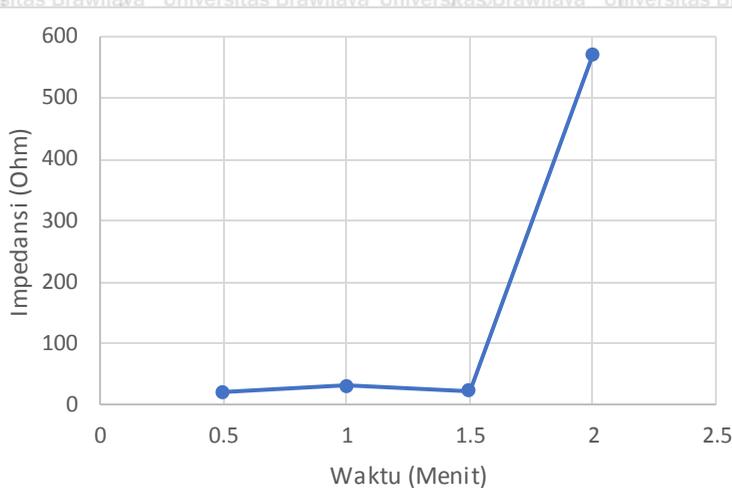
$$Z=\sqrt{R^2 + [\omega L - \left(\frac{1}{\omega C}\right)]^2} \dots(4.4)$$

Dalam pengukuran impedansi QCM dilakukan pada QCM sebelum dilapisi *Stearic Acid* (QCM/Ps) dan QCM sesudah dilapisi oleh *Stearic Acid* (QCM/Ps/Sa) yang ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Perubahan nilai impedansi terhadap ketebalan lapisan

Waktu (menit)	Ketebalan (μm)	Impedansi sebelum deposisi (Ohm)	Impedansi sesudah deposisi (Ohm)	Perubahan Impedansi (Ohm)
0,5	0,0105	19,91604	20,2695	0,379
1	0,0669	28,56531	30,1278	1,5625
1,5	0,203	20,77597	21,6620	0,8860
2	0,328	50,29205	570,0213	519,7292

Selanjutnya diplot grafik pada gambar 4.2 hubungan antara waktu deposisi *Stearic Acid* terhadap nilai impedansi sesudah deposisi *Stearic Acid*



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara waktu deposisi terhadap impedansi

Berdasarkan tabel 4.2 didapatkan bahwa semakin tebal lapisan yang terbentuk maka nilai impedansi lapisan *Stearic Acid* akan semakin meningkat. Terjadi sedikit anomali yaitu pada waktu 1,5 menit perubahan impedansi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena nilai impedansi sebelum deposisi sudah tinggi diantara nilai impedansi yang lainnya. Nilai impedansi pada waktu 2 menit dan ketebalan 0,328 memiliki perubahan impedansi yang besar. Perubahan impedansi yang besar menandakan memiliki efek redaman yang sangat besar. Lapisan yang terbentuk pada waktu 2 menit dapat dikatakan merupakan lapisan peralihan dari rigid ke elastis. Hal ini disebabkan karena impedansi yang didapatkan tidak hanya dipengaruhi oleh ketebalan namun dapat dipengaruhi oleh nilai modulus geser, perubahan frekuensi dan temperatur (T) saat pengujian yang dapat mempengaruhi pembacaan impedansi. Perubahan dari impedansi juga dipengaruhi oleh perubahan dari nilai R,L dan C pada rangkaian *Butterworth-Van Dyke* (BVD). Perubahan ketebalan diatas QCM mengakibatkan penambahan pada induktansi L yang menyebabkan frekuensi resonansi akan berkurang.

Lapisan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas permukaan QCM dengan waktu deposisi 0,5 menit; 1 menit; dan 1,5 menit menghasilkan

ketebalan lapisan *Stearic Acid* sebesar 0,0105 - 0,203 μm dengan nilai impedansi 20,27 – 30,13 Ohm serta perubahan impedansi sebesar 0,379 - 1,5625 Ohm. Nilai perubahan impedansi yang kecil dapat disebabkan oleh efek redaman yang terjadi pada QCM bernilai kecil sehingga tidak dapat mengganggu QCM untuk beresilasi. Namun pada waktu deposisi 2 menit didapatkan ketebalan *Stearic Acid* sebesar 0,302 μm dengan impedansi sebesar 570,02 Ohm dengan perubahan impedansi sebesar 519,73 Ohm. Perubahan impedansi yang besar menandakan bahwa lapisan tersebut menghasilkan redaman yang besar terhadap sensor QCM yang dapat menyebabkan sensor QCM gagal untuk beresilasi.

4.3 Pengaruh Waktu Terhadap nilai Modulus Geser

Sebelum mencari nilai modulus geser dicari terlebih dahulu nilai dari C0,R1,L1, dan C1 dengan menggunakan model BVD (*Butterworth van dyke*). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Sakti,2014) untuk menghitung komponen C₀,C₁,R₁,L₁,R₂ dan L₂ pada rangkaian model BVD dapat menggunakan *Generalized Reduced Gradient (GRG)*. Hasil perhitungan *Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinier solver* dapat menggunakan Microsoft Excel sehingga didapatkan data C,R,dan L sebelum deposisi dapat disajikan pada tabel 4.3 dan sesudah deposisi disajikan pada tabel 4.4 seperti berikut :

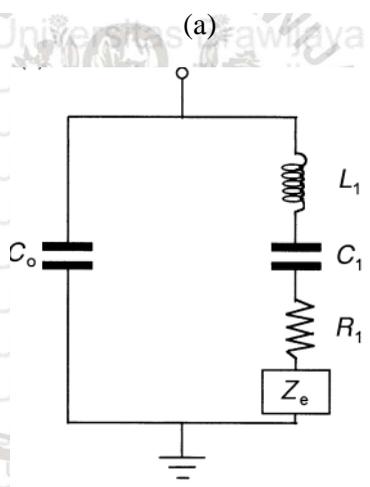
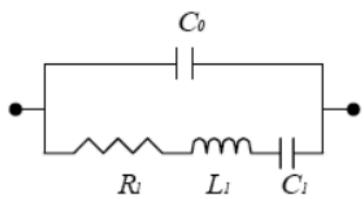
Tabel 4.3 Hasil perhitungan GRG non linear sebelum deposisi

Waktu (menit)	Frekuensi (Hz)	Co (pF)	C ₁ (pF)	R ₁ (Ohm)	L ₁ (mH)	Nilai Error
0.5	9958205,953	6,08363	0,02202	19,91604	11,60018	0,16763
1	9942565,721	4,63065	0,02256	28,56531	11,35865	0,37575
1,5	9924006,372	5,03853	0,02322	20,77597	11,07488	0,22123
2	9948107,987	4,76063	0,02215	50,29205	11,55705	0,02231

Tabel 4.4 Hasil perhitungan GRG non linear sesudah deposisi

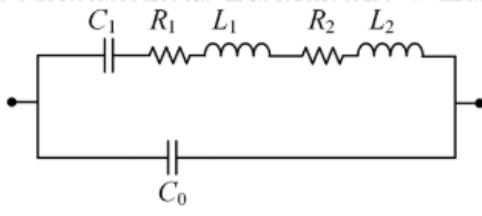
Waktu (menit)	Frekuensi (Hz)	Co (pF)	C ₁ (pF)	R ₂ (Ohm)	L ₂ (mH)	Nilai Error
0.5	9957976,27	6,08363	0,02202	20,2695	11,60073	0,16763
1	9941102,79	4,63065	0,02256	30,1278	11,3620	0,37575
1,5	9919594,412	5,03853	0,02322	21,6620	11,0847	0,22123
2	9940934,304	4,76063	0,02215	570,0213	11,5711	0,02231

Dari hasil perhitungan menggunakan *Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinier solver* didapatkan nilai perubahan dari R,L,dan C pada QCM sebelum deposisi dan sesudah deposisi. Perubahan nilai dari nilai L sebelum dan sesudah deposisi menandakan perubahan massa diatas permukaan QCM sangat kecil. Nilai R yang tinggi pada waktu 2 menit menunjukkan terjadi redaman yang besar diatas permukaan QCM hal ini dapat menyebabkan sensor QCM tidak dapat digunakan.



Gambar 4.3 Rangkaian BVD (a) sebelum deposisi dan (b) sesudah deposisi (Sakti, 2012)

Selanjutnya QCM yang telah dilapisi oleh *Stearic Acid* dapat dimodelkan pada gambar berikut :



Gambar 4.4 Modifikasi rangkaian BVD

$L_1, C_1,$ dan R_1 dapat disebut sebagai $Z_{q,m}$ yang merupakan impedansi QCM sebelum dilapisi, dan Z_e merupakan impedansi listrik (Granstaff dan Martin, 1994).

$$Z_m = Z_{q,m} + Z_e \quad \dots (4.5)$$

Z_e Merupakan impedansi akustik yang diubah menjadi impedansi listrik

$$Z_e = \frac{A \epsilon^2}{4 e^2 C_0^2} Z_s \quad \dots (4.6)$$

Dimana ϵ adalah permitivitas kuarsa $3,982 \times 10^{-11} \text{ A}^2 \text{ S}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$. A adalah luas dari permukaan elektroda $1,962 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. e adalah kostanta dari stress kuarsa $9,65 \times 10^{-2} \text{ A s m}^{-2}$. C_0 adalah kapasitansi kuarsa, dan Z_s merupakan impedansi akustik dari lapisan yang terdeposisi yang dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$Z_s = j \sqrt{(\rho G) \tan(\omega \sqrt{\pi i / G i} d)} \quad \dots (4.7)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis *stearic acid* $9,8 \times 10^2 \text{ kg m}^{-3}$. G merupakan modulus geser. ω merupakan frekuensi sudut. d merupakan ketebalan dari lapisan yang terbentuk.

Jika persamaan (4.6) dan (4.7) disubstitusikan ke persamaan (4.5) maka akan didapatkan persamaan

$$Z_m = Z_{q,m} + \frac{A \epsilon^2}{4 e^2 C_0^2} \sqrt{(\rho G) \tan(\omega \sqrt{\pi i / G i} d)} \quad \dots (4.8)$$





Z_m merupakan impedansi QCM sesudah dilapisi oleh *stearic acid* dan $Z_{q,m}$ merupakan impedansi QCM sebelum dilapisi *stearic acid*.

Keduanya memiliki nilai riil (R) dan nilai imajiner (X atau $\omega L - \frac{1}{\omega C}$). Z_m dan $Z_{q,m}$ dapat digabungkan sehingga didapatkan $\Delta R - j\Delta X$ sehingga persamaan (4.4) dapat ditulis kembali menjadi :

$$\Delta R + j\Delta X = j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \sqrt{(\rho G)} \tan(\omega \sqrt{\frac{pi}{Gi}} d) \dots (4.9)$$

Menurut feng (2013), nilai $\tan(\omega \sqrt{\frac{pi}{Gi}} d)$ dapat disialkan x dengan diubah menggunakan pendekatan dibawah dengan mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk merupakan lapisan yang memiliki ketebalan yang rata :

$$\tan x = x + \frac{1}{3} x^3$$

sehingga nilai $\tan(\omega \sqrt{\frac{pi}{Gi}} d)$ dapat diubah menjadi persamaan $(\omega \sqrt{\frac{pi}{Gi}} d) + \frac{1}{3} \omega^3 (\sqrt{\frac{pi}{Gi}})^3 d^3$ dan disubstitusikan ke persamaan (4.9) sehingga persamaan (4.9) menjadi

$$\Delta R + j\Delta X = j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \sqrt{(\rho G)} \{ (\omega \sqrt{\frac{pi}{Gi}} d) + \frac{1}{3} \omega^3 (\sqrt{\frac{pi}{Gi}})^3 d^3 \} \dots (4.10)$$

$$\Delta R + j\Delta X = j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega d + \frac{1}{3} j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega^3 \rho d^3 \frac{1}{G} \dots (4.11)$$

$$\Delta R + j(\Delta X - \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega \rho d) = \frac{1}{3} j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3 \frac{1}{G} \dots (4.12)$$

Sehingga nilai G didapatkan :

$$G = \frac{\frac{1}{3} j \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3}{\Delta R + j(\Delta X - \frac{Ae^2}{4e^2 Co^2} \omega \rho d)} \dots (4.13)$$



Untuk mempermudah dimisalkan Z adalah $j(\Delta X - \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega d)$, maka persamaan (4.13) dapat diubah menjadi persamaan (4.14)

$$G = \frac{\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3}{\Delta R + jZ} \dots (4.14)$$

Selanjutnya (4.14) dapat diuraikan menjadi persamaan (4.15)

$$G = \frac{\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3}{\Delta R + jZ} \dots (4.15)$$

Persamaan (4.15) dapat dituliskan kembali menjadi persamaan (4.16) sampai (4.18)

$$G = \frac{\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3}{\Delta R + jZ} \frac{\Delta R - jZ}{\Delta R - jZ} \dots (4.16)$$

$$G = \frac{\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3}{(\Delta R + jZ)^2} (\Delta R - jZ) \dots (4.17)$$

$$G = \frac{\left(\frac{1}{3} \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right) Z + j \left(\frac{1}{3} \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right) \Delta R}{(\Delta R)^2 + (Z)^2} \dots (4.18)$$

Pada persamaan (4.18) nilai G memiliki nilai riil dan nilai imajiner. Menurut (Behring, 1999) nilai dari modulus terdiri dari *storage modulus* (G') dan *loss modulus* (G'') yang bernilai imajiner seperti berikut :

$$G = G' + jG'' \dots (4.19)$$

sehingga persamaan (4.18) dapat diuraikan menjadi :

$$G'' = \frac{\left(\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right) \Delta R}{(\Delta R)^2 + (Z)^2} \dots (4.20)$$

$$G' = \frac{\left(\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right) Z}{(\Delta R)^2 + (Z)^2} \dots (4.21)$$



Dikarenakan $Z = (\Delta X - \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega d)$ maka disubstitusikan ke persamaan (4.20) dan persamaan (4.21) sehingga menjadi persamaan (4.22) dan (4.23) :

$$G'' = \frac{\left(\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right) \Delta R}{(\Delta R)^2 + (\Delta X - \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega d)^2} \dots (4.22)$$

$$G' = \frac{\left(\frac{1}{3} j \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega^3 \rho^2 d^3\right)}{(\Delta R)^2 + (\Delta X - \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega d)^2} (\Delta X - \frac{A\epsilon^2}{4e^2 Co^2} \omega d) \dots (4.23)$$

Selanjutnya persamaan (4.22) dan (4.23) dihitung dengan memasukan nilai-nilai yang sudah ada sehingga didapatkan nilai dari G' dan G''

$$G = G' + jG'' \dots (4.24)$$

Atau

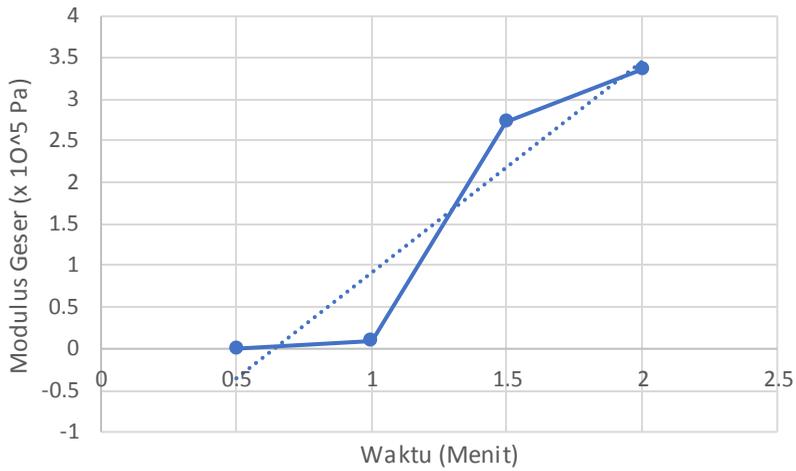
$$G = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \dots (4.25)$$

Kemudian hasil dari perhitungan dimasukan pada tabel 4.5 dibawah :

Tabel 4.5 Hasil perhitungan modulus geser

Waktu (menit)	G' (Pa)	G'' (Pa)	G (Pa)
0,5	3,3271	1,1530 x 10 ²	1,1533 x 10 ²
1	2.5509 x 10 ²	1,0358 x 10 ⁴	1,0361 x 10 ⁴
1,5	4,7099 x 10 ³	2,7334 x 10 ⁵	2,7342 x 10 ⁵
2	2,7121 x 10 ⁵	1,9842 x 10 ⁵	3,3604 x 10 ⁵

Untuk memudahkan Analisa data modulus geser pada tabel 4.5 diplot dalam grafik seperti pada grafik gambar 4.5 dibawah :



Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu deposisi dengan modulus geser

Pada Gambar 4.5 semakin lama waktu deposisi akan menyebabkan nilai dari modulus geser semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu deposisi dikarenakan ketebalan pada permukaan QCM semakin meningkat yang dapat menyebabkan perubahan nilai dari R,L,dan C pada rangkaian BVD. Nilai modulus geser terkecil didapatkan pada waktu 0,5 menit sebesar $1,1533 \times 10^2$ Pa dan yang terbesar pada waktu 2 menit sebesar $3,3604 \times 10^5$ Pa. Pada hasil perhitungan modulus geser didapat nilai modulus geser $1,1533 \times 10^2$ Pa - $3,3604 \times 10^5$ Pa. Nilai modulus geser terkecil pada deposisi 0,5 menit sedangkan untuk nilai modulus geser terbesar pada waktu deposisi 2 menit. Menurut (Behring & Lucklum, 1998) Suatu lapisan yang disebut rigid jika memiliki nilai modulus geser sebesar $10^8 - 10^9$, untuk fase peralihan dari rigid ke elastis memiliki nilai modulus geser sebesar 10^7 dan untuk fase elastis memiliki nilai modulus geser sebesar $10^5 - 10^7$. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai modulus geser (G) absolut dengan skala terbesar yaitu 10^5 didapat pada waktu 2 menit sebesar $3,3604 \times 10^5$ Pa dan pada waktu 1,5 menit sebesar $2,27342 \times 10^5$ Pa. Namun pada waktu 2 menit memiliki nilai impedansi yang besar yang menandakan lapisan yang terbentuk menimbulkan efek redaman yang besar terhadap sensor QCM, sehingga kurang baik untuk digunakan sebagai sensor.



Faktor yang menyebabkan hasil pada perhitungan modulus geser bemili dikecil dikarenakan pendekatan yang dilakukan oleh (Feng,2013) digunakan untuk lapisan yang rata dan juga disebabkan oleh perhitungan ketebalan lapisan yang menggunakan persamaan saubrey



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Besarnya nilai impedansi lapisan *Stearic Acid* sebanding dengan perubahan waktu deposisi hal ini disebabkan karena perubahan waktu deposisi akan menyebabkan perubahan ketebalan lapisan *Stearic Acid* yang terbentuk diatas QCM sehingga menyebabkan nilai impedansi semakin meningkat. Besarnya nilai modulus geser lapisan *Stearic Acid* sebanding dengan perubahan waktu deposisi, dikarenakan dipengaruhi oleh nilai impedansi dan ketebalan lapisan yang terbentuk. Untuk lapisan *Stearic Acid* di atas permukaan QCM/PS dapat dikatakan rigid pada waktu deposisi 1,5 menit dikarenakan memiliki nilai impedansi yang relatif kecil sebesar 21,6620 Ohm namun memiliki nilai modulus geser yang kecil yaitu sebesar $2,7342 \times 10^5$ Pa, akan tetapi lapisan tersebut masih dapat untuk digunakan

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah perlu dilakukan pengukuran ketebalan dengan menggunakan SEM dengan cara *cross section* untuk memperoleh ketebalan lapisan *Stearic Acid* yang lebih baik dan perlu dilakukan perumusan kembali rumus modulus geser untuk lapisan yang tidak rata

Daftar Pustaka

- Behring, C., & Lucklum, L. (1998). The non-gravimetric quartz crystal resonator response and its application for determination of polymer shear modulus. *Meas. Sci. Technol*, 9.
- Bhardwaj, S., Jain, S., & Misra, A. (2011). Author's personal copy Diabetes & Metabolic Syndrome : Clinical Research & Overview of trans fatty acids : Biochemistry and health effects. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews* jo. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2012.03.002>
- Biltoft, P. J. (2004). Vacuum Technology.
- Calvo, E. J., Etchenique, R., Bartlett, P. N., Singhal, K., & Santamaria, C. (1997). Quartz crystal impedance studies at 10 MHz of viscoelastic liquids and films.
- Chow, Ching Kuang. (2008.) *Fatty Acids in Food and Their Health Implication*. CRC Press: London
- Feng, T. A. N., & Xian-he, H. (2013). Relations between Mass Change and Frequency Shift of a QCM Sensor in Contact with Viscoelastic Medium Relations between Mass Change and Frequency Shift of a QCM Sensor in Contact with Viscoelastic Medium, *050701*. <https://doi.org/10.1088/0256-307X/30/5/050701>
- Fitriani, S., Masruroh, & Setyawan, P. S. (2017). Pengaruh ketebalan Lapisan *Zinc Phthalocynine (ZnPc)* di atas Permukaan Polistiren QCM Terhadap Sifat Viskoelastis
- Granstaff, V.E., & Martin, S.J. (1994). *Characterization Of A Thickness-Shear Mode Quartz Resonator With Multiple Nonpiezoelectric Layers*. 75(3)
- Hea, D., & Lha, Y. (2000). A study of the viscoelasticity of zinc phosphate coatings using a quartz crystal impedance system, *126*, 225–231.
- Johannesmann. (2015). *The Quartz Crystal Microbalance in Soft Research*. Springer

- Kamasi, Daniel Dwipaskawijaya (2017). *Studi Sifat Viskoelastis Lapisan Stearic Acid Yang dilapiskan ke atas Permukaan Quartz Crystal Microbalance Dengan Metode Evaporasi: Tinjauan Nilai Modulus Geser*. Sarjana Thesis, Universitas Brawijaya
- Martin, S.J., Granstaff, B.E. & Frye, G.C. (1991). *Characterization of a Quartz Crystal Microballance With Simultaneous Mass and Liquid Loading*. *Analytical Chemistry*, 2272-2281
- Nasih, Fahrudin A (2017). *Pengaruh Variasi Pelarut Terhadap Lapisan Copper Phthalocyanine (CuPc) Dan Sensitivitas Terhadap Perubahan Relative Humidity (RH) Pada QCM Sebagai Sensor Kelembaban*. Sarjana Thesis, Universitas Brawijaya
- Nurramdaniyah, dkk. 2017. *Studi Struktur Mikro Lapisan Asam Stearat di atas Permukaan Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM)*. *Natural B*, Vol.4 no 2
- Oktafiansyah, Rahmad (2017). *Studi Pengaruh Waktu Deposisi Lapisan Copper Phthalocyanine (CuPc) di Atas Quartz Crystal Microballance (QCM) Terhadap Efektivitas QCM Sebagai Sensor Kelembaban : Tinjauan Perubahan Frekuensi QCM Sebagai Respon Perubahan Relative Humidity (RH)*. Sarjana Thesis, Universitas Brawijaya
- Rahimi, Fatemeh dkk. 2014. *Determination and Analysis of Structural and Optical Properties for Thermallyy Evaporated ZnO Thin Films*. *Soft Nanoscience Letters*. Vol.4 No 1
- Reimer, L. *Scanning Electron Microscopy Physics of Image Formation and Microanalysis*. Spinger: New York
- Rosen, Milton J. 1986. *Surfactants In Emerging Technologies*. Marcel Dekker, Inc: New York
- Rowe, Raymond. *Hanbook of Pharmaceutical Excipients Six Edition*. Pharmaceutical Press: London
- Sakti, S P, Khusnah, N. F., Santjojo, D. J. D. H., & Sabarudin, A. (2018). ScienceDirect Surface Modification of Polystyrene Coating on QCM Sensor using Ambient Air Plasma at Low Pressure. *Materials Today: Proceedings*, 5(7), 15149–15154.

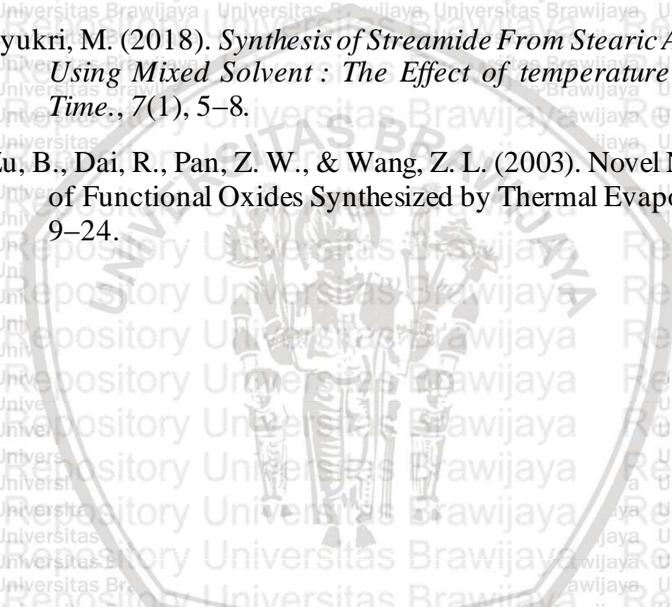
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.04.073>

Sakti, S P, Santjojo, D. J. D. H., & Saputri, S. N. (2012). Improvement of Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness, 3(3), 3–7. <https://doi.org/10.4172/2155-6210.1000119>

Sakti, Setyawan P. (2014). Quartz Crystal Resonator Parameter Calculation Based on Impedance Analyser Measurement Using GRG Nonlinear Solver, 16–23.

Syukri, M. (2018). *Synthesis of Streamide From Stearic Acid And Urea Using Mixed Solvent : The Effect of temperature and Reaction Time.*, 7(1), 5–8.

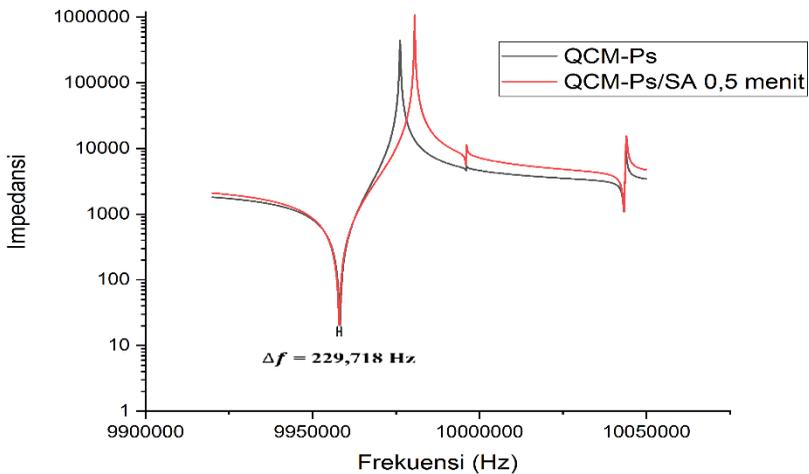
Zu, B., Dai, R., Pan, Z. W., & Wang, Z. L. (2003). Novel Nanostructures of Functional Oxides Synthesized by Thermal Evaporation **, (1), 9–24.

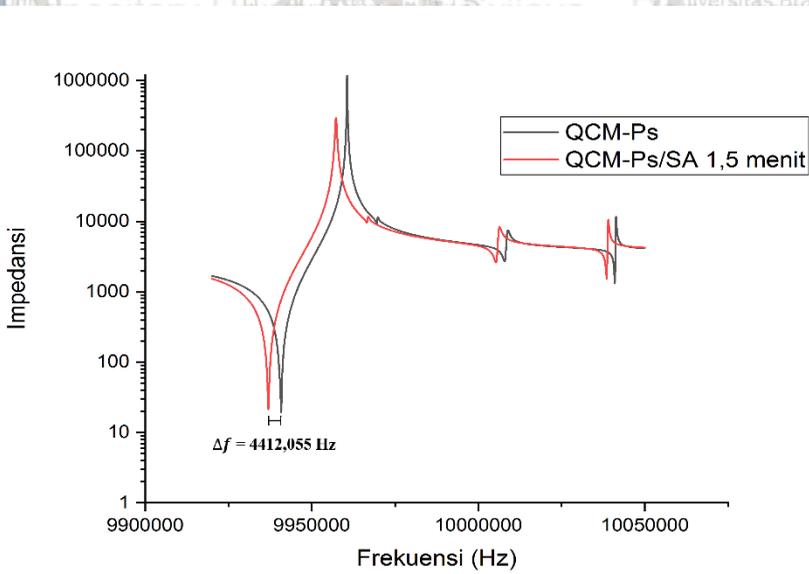
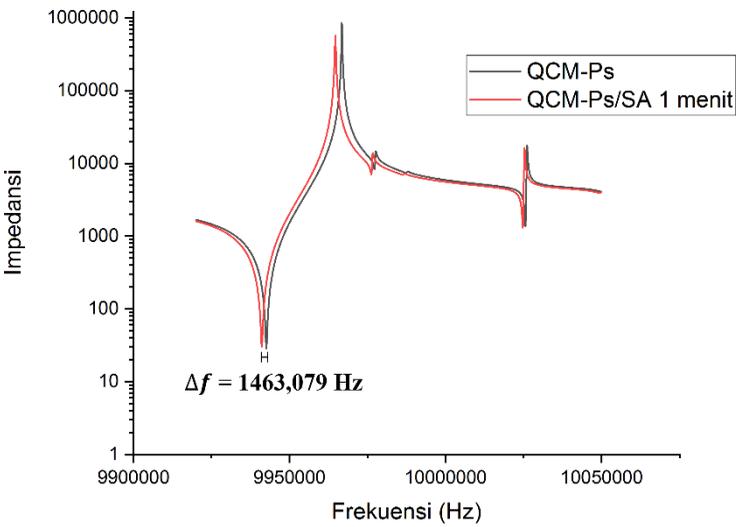


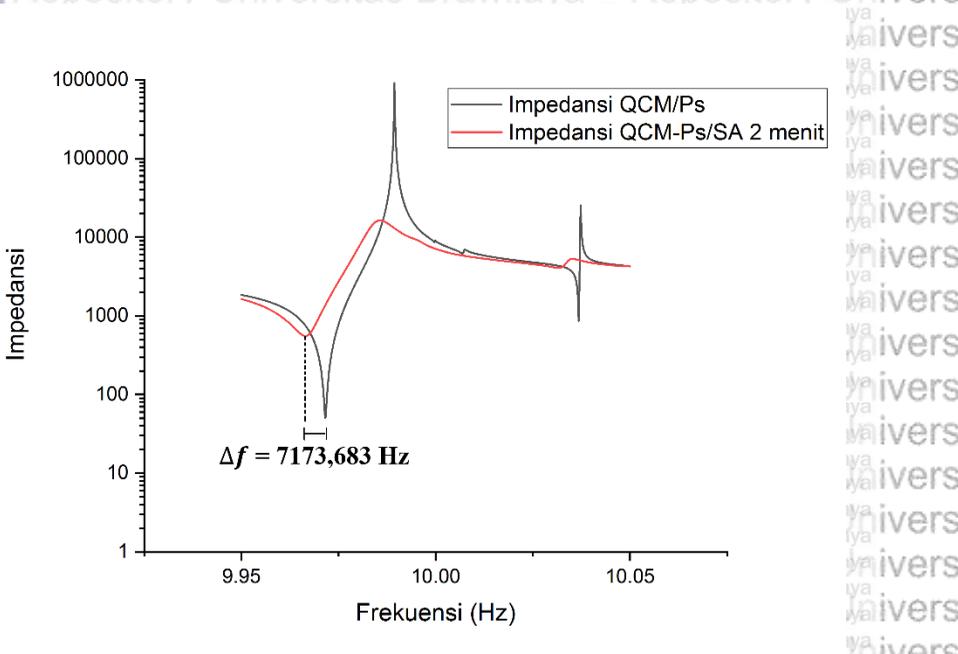
LAMPIRAN

Lampiran 1 data dan grafik hasil pengukuran impedansi

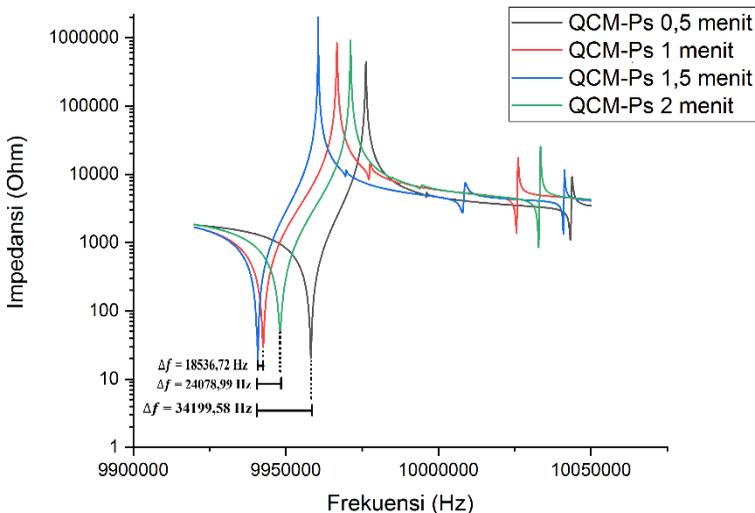
Frequency (Hz)	TR1: Impedance (Real)	TR1: Impedance (Imag)	TR1: Impedance (absolut)	TR2: Impedance (Real)	TR2: Impedance (Imag)	TR2: Impedance (Degree)
9920000	6.868329	-2101.19	2101.201	6.868329	-2101.19	-89.8127
9920032	7.044941	-2101.09	2101.098	7.044941	-2101.09	-89.8079
9920063	6.942722	-2100.55	2100.562	6.942722	-2100.55	-89.8106
9920095	6.694804	-2099.9	2099.913	6.694804	-2099.9	-89.8173
9920127	6.771135	-2098.96	2098.97	6.771135	-2098.96	-89.8152
9920159	6.293369	-2097.93	2097.939	6.293369	-2097.93	-89.8281
9920190	6.906818	-2097.87	2097.885	6.906818	-2097.87	-89.8114
9920222	7.403967	-2097.41	2097.418	7.403967	-2097.41	-89.7977
9920254	6.425361	-2096.53	2096.536	6.425361	-2096.53	-89.8244



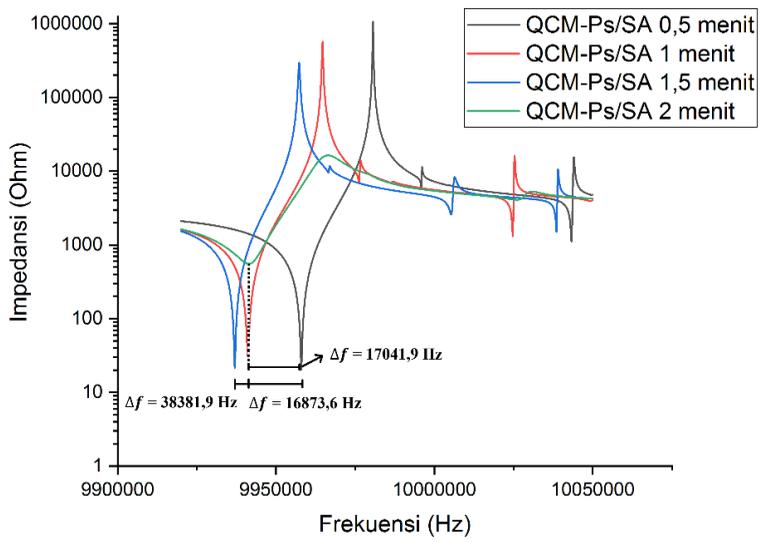




Grafik gabungan QCM-Ps sebelum deposisi *Stearic Acid*



Grafik gabungan QCM-Ps setelah deposisi *Stearic Acid*



Lampiran 2 Perhitungan GRG Excel

GRG Nonlinear Solver Results

WS	Wip	C ₁ (pF)	C ₂ (pF)	R ₁ (Ω)	L ₁ (mH)	LSF	Electrode
9.54E-107	9.57122E-08	4.70963	0.02315	50.29295	11.53395	0.02624	0.50566
998842.356	1001217.47	5.131816306	0.034000940946	37.1487957	10.57746731	0.14931217	0.529311173

Atur SD47 dan SD48 ke 1
Jumlah Loop

Reset Nilai Awal ke 1 | Abaikan GRG Non Linear

Lampiran 3 Alat Dan Bahan

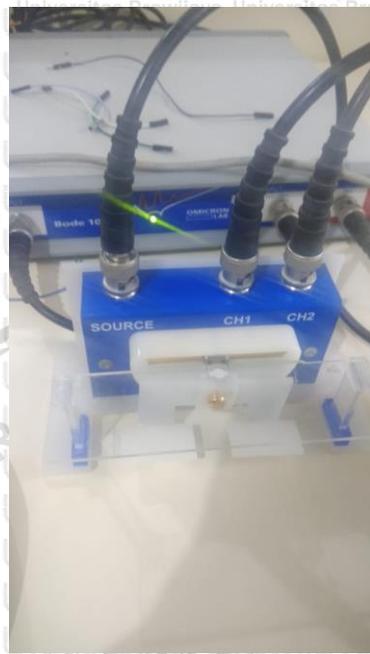
Stearic Acid



Kloroform



Impedance Analyzer



Spin Coater





Seperangkat alat Evaporator

