

**KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL  
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN  
LIPID OCTADECYLAMINE PADA ELEKTRODA PERAK  
TERHADAP RESPON MONOSODIUM GLUTAMAT**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**CHAIDAR AHMAD**  
NIM. 13640014



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

**KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL  
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN  
LIPID OCTADECYLAMINE PADA ELEKTRODA PERAK  
TERHADAP RESPON MONOSODIUM GLUTAMAT**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:**

**Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**CHAIDAR AHMAD  
NIM. 13640014**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

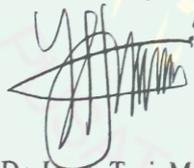
**KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL  
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN  
LIPID OCTADECYLAMINE PADA ELEKTRODA PERAK  
TERHADAP RESPON MONOSODIUM GLUTAMAT**

SKRIPSI

Oleh:  
Chaidar Ahmad  
NIM. 13640014

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal 02 November 2018

Pembimbing I



Dr. Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

Pembimbing II



Umaiatus Syarifah, M. A  
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

**HALAMAN PENGESAHAN**

KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL  
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN  
LIPID OCTADECYLAMINE PADA ELEKTRODA PERAK  
TERHADAP RESPON MONOSODIUM GLUTAMAT

SKRIPSI

Oleh:  
Chaidar Ahmad  
NIM. 13640014

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal 23 November 2018

Penguji Utama	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Sekretaris Penguji	: <u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	: <u>Umayyatus Syarifah, M. A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chaidar Ahmad  
NIM : 13640014  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains Dan Teknologi  
Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor Quartz Crystal  
Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid  
Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon  
Monosodium Glutamat

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 20 November 2018

Yang Membuat Pernyataan,



Chaidar Ahmad  
NIM. 13640014

## MOTTO

*Bumi akan selalu berputar tak peduli kamu diam atau ikut  
maju*

وَلَا تَقُولَنَّ لِشَيْءٍ إِنِّي فَاعِلٌ ذَلِكَ غَدًا إِلَّا أَن يَشَاءَ اللَّهُ

**"Baby steps to giant strides"**



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

### **Karya ini kupersembahkan untuk**

Sang Maha Pengasih dan Penyayang, ALLAH SWT yang telah mempermudah dan memperlancar jalannya proses pembuatan skripsi

Nabi Agung Muhammad SAW yang selalu dirindukan umat Muslim diseluruh Dunia, lantunan sholawat selalu menemani dan menenangkan hati dan pikiran dalam proses pembuatan skripsi

Orang tua dan Keluarga besar yang senantiasa memberikan do'a yang tak pernah putus serta sebagai penyemangat dan alasan kuat dalam proses pembuatan skripsi

Seluruh Dosen Jurusan Fisika Universitas islam negeri Mulana Malik Ibrahim Malang, yang sudi kiranya meluangkan waktunya untuk membimbing saya mulai dari awal masuk perkuliahan hingga saat ini

Seluruh Warga Fisika Angkatan 2013, Kelas A maupun Kelas B yang senantiasa membantu dan mendukung dalam kondisi apapun selama masa perkuliahan

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon Monosodium Glutamat”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku dosen pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Kedua orang tua, adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
6. Segenap anggota *sensor team* Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini baik dari segi ide dan waktu.
7. Teman-teman fisika instrumentasi dan komputasi yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

8. Sahabat-sahabat fisika 2013 yang saya banggakan dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT yang Maha Pemurah memberikan balasan yang lebih kepada semua pihak yang telah membantu pembuatan skripsi ini. Demikian yang dapat penulis sampaikan, kurang lebihnya penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya dan penulis mohon kritik dan saran. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Malang, 28 Mei 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	8
1.4 Batasan Masalah.....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Quartz Crystal Microbalance .....	9
2.2 Elektroda .....	11
2.2.1 Elektroda Indikator .....	12
2.2.2 Elektroda Pembanding.....	13
2.3 Monosodium Glutamat .....	15
2.4 Membran Lipid Octadecylamine.....	17
2.5 Frequency Counter .....	21
2.6 Osilator .....	23
2.6.1 Osilator Kristal Kuarsa .....	24
2.6.2 Osilator <i>Feedback</i> .....	25
2.6.3 Osilator Relaksasi.....	27
2.6.4 Osilator <i>Wien-Bridge</i> .....	28
2.7 Multivibrator .....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.2.1 Alat-Alat Penelitian .....	32
3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian.....	32
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1 Tahap Pembuatan Membran .....	34
3.3.2 Tahap Pelapisan Membran .....	35
3.3.3 Tahap Preparasi Sampel .....	36
3.3.4 Tahap Pengambilan Data .....	36
3.3.5 Tahap Pengolahan Data .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>39</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	42

4.2 Pembahasan.....	45
4.2.1 Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak.....	45
4.2.2 Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak.....	48
4.2.3 Sensitifitas Sensor QCM Pada Elektroda Perak.....	53
4.3 Kajian Karakteristik Sensor dalam Al-Quran dan Hadist.....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>60</b>
5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi Kristal Kuarsa sebagai Sensor QCM .....	9
Gambar 2.2	Struktur Asam Glutamat .....	16
Gambar 2.3	Struktur Monosodium Glutamat .....	16
Gambar 2.4	Struktur Permukaan Membran Lipid.....	18
Gambar 2.5	Struktur Kimia Plasticizer .....	19
Gambar 2.6	Struktur Kimia Octadecylamine.....	20
Gambar 2.7	Membran Lipid pada Keadaan Normal.....	20
Gambar 2.8	Rangkaian Dasar Osilator <i>Feedback</i> .....	26
Gambar 2.9	Sinyal Masukan dan Keluaran Multivibrator .....	29
Gambar 2.10	Rangkaian Dasar Multivibrator <i>Monostabel</i> .....	30
Gambar 2.11	Rangkaian Dasar Multivibrator <i>Astabel</i> .....	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 3.2	Proses Pembuatan Membran Lipid .....	34
Gambar 4.1	Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni .....	46
Gambar 4.2	Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine) .....	47
Gambar 4.3	Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni .....	49
Gambar 4.4	Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine).....	50
Gambar 4.5	Reaksi Kimia Membran Lipid Octadecylamine dan Monosodium Glutamat (MSG) .....	51
Gambar 4.6	Regresi Linear Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni.....	54
Gambar 4.7	Regresi Linear Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine) .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar .....	37
Tabel 3.2	Rencana Penelitian .....	37
Tabel 4.1	Daftar Massa MSG .....	40
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM .....	43
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni .....	43
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine) .....	44



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni
- Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)
- Lampiran 3 Data Hasil Uji Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni
- Lampiran 4 Data Hasil Uji Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)
- Lampiran 5 Perhitungan Massa Monosodium Glutamat (MSG) (Mr MSG: 169 dan V Aquades: 10 ml)
- Lampiran 6 Gambar Alat dan Bahan Penelitian
- Lampiran 7 Bukti Konsultasi Skripsi



## ABSTRAK

Ahmad, Chaidar. 2018. **Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon Monosodium Glutamat.** Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M. A.

---

**Kata kunci:** Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM), Monosodium Glutamat (MSG), Deteksi Limit, Respon Dinamik, Sensitifitas Sensor

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan salah satu jenis sensor yang bisa digunakan untuk mendeteksi rasa, salah satunya rasa umami. Umami adalah rasa gurih yang didapatkan dari kandungan asam amino glutamat atau disebut Monosodium Glutamat (MSG). MSG memiliki manfaat dalam proses pencernaan protein, tetapi mengkonsumsi MSG secara berlebihan menyebabkan berbagai penyakit sehingga dibutuhkan sensor QCM untuk mendeteksi kadar penggunaan MSG. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik sensor melalui deteksi limit, respon dinamik, dan sensitifitas sensor. Metode yang dilakukan yaitu sampel MSG (0-1500 mM, interval 100 mM) diletakkan ke dalam *open QCM* dan dijalankan *software* data logger selama 5 menit (*steady state*) sehingga muncul frekuensi sebagai output. Data yang sudah diperoleh, diplot grafik untuk memperoleh deteksi limit, respon dinamik, dan sensitifitas sensor. Deteksi limit sensor QCM pada elektroda perak murni dikonsentrasi 300 mM. Deteksi limit sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran dikonsentrasi 700 mM. Respon dinamik pada sensor QCM pada elektroda perak murni berada pada waktu *steady state* 12 s. Respon dinamik pada sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran berada pada waktu *steady state* 9 s. Sensor QCM pada elektroda perak murni memiliki nilai sensitifitas sebesar 1280,8 Hz/mM. Sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran memiliki nilai sensitifitas sebesar 6561,7 Hz/mM.

## ABSTRACT

Ahmad, Chaidar. 2018. **Characterization of Quartz Crystal Microbalance Sensors (QCM) with Octadecylamine Lipid Membran Coating on Silver Electrodes against Monosodium Glutamate Response**. Thesis. Physics Departemant. Faculty of Science and Technology. Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si (II) Umaiyyatus Syarifah, M. A.

---

**Keywords:** Quartz Crystal Microbalance Sensor (QCM), Monosodium Glutamate (MSG), Limit Detection, Dynamic Response, Sensor Sensitivity

Quartz Crystal Microbalance (QCM) sensor is one type of sensor that can be used to detect flavors, one of them is the taste of umami. Umami is a savory taste that is obtained from the amino acid content of glutamate or called Monosodium Glutamate (MSG). MSG has benefits in the process of protein digestion, but consuming MSG excessively causes a variety of diseases so that the QCM sensor is needed to detect levels consumption of MSG. This study aims to determine the characteristics of sensors through limit detection, dynamic response, and sensor sensitivity. The method used is the MSG sample (0-1500 mM, interval 100 mM) placed into the open QCM and software data logger is run for 5 minutes (steady state) so that the frequency appears as output. Data that has been obtained, plotted graphs to obtain limit detection, dynamic response, and sensor sensitivity. Detection of QCM sensor limits on pure silver electrodes concentrated at 300 mM. Detection of QCM limit sensors on silver electrodes coated with membranes is concentrated at 700 mM. The dynamic response on the QCM sensor on pure silver electrodes is steady state at 12 s. The dynamic response on the QCM sensor on the silver electrode coated with the membrane at 9 s steady state time. The QCM sensor on pure silver electrodes has a sensitivity value 1280.8 Hz / mM. QCM sensors on silver electrodes coated with membranes have a sensitivity value 6561.7 Hz / mM.

## المخلص

أحمد ، حيدر. 2018. توصيف مجسات كوارتز كريستال المجهرية (QCM) مع طلاء غشاء اوكتاد اكسامين الغشاء على أقطاب الفضة ضد استجابة الغلوتامات أحادية الصوديوم. أطروحة. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة ولاية مالانج الإسلامية مولانا مالك إبراهيم. المستشار: (I) د. الإمام التازي ، الماجستير (II) امية الشريفة الماجستير.

الكلمات المفتاحية: كريستال كوارتز توازن دقيق (QCM) ، غلوتامات أحادية الصوديوم (MSG) ، تحديد الحد ، استجابة ديناميكية ، حساسية المستشعر

كريستال كوارتز توازن دقيق هو نوع واحد من أجهزة الاستشعار التي يمكن استخدامها للكشف عن النكهات ، واحد منها هو طعم أومامي. أومامي هو طعم لذيذ يتم الحصول عليه من محتوى الأحماض الأمينية في الغلوتامات أو يسمى الغلوتامات أحادية الصوديوم (MSG). لدى MSG فوائد في عملية هضم البروتين ، ولكن استهلاك MSG بشكل مفرط يسبب مجموعة متنوعة من الأمراض بحيث يحتاج جهاز استشعار QCM للكشف عن مستويات استخدام MSG. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد خصائص أجهزة الاستشعار من خلال الكشف عن الحدود والاستجابة الديناميكية وحساسية المستشعرات. الطريقة المستخدمة هي عينة 0-1500 MSG مللي أمبير ، الفاصل الزمني 100 ملم) الموضوع في QCM المفتوحة ويتم تشغيل مسجل بيانات البرنامج لمدة 5 دقائق (الحالة الثابتة) بحيث يظهر التردد كخرج البيانات التي تم الحصول عليها ، الرسوم البيانية المرسومة للحصول على كشف الحد ، والاستجابة الديناميكية ، وحساسية المستشعر. الكشف عن حدود مستشعر QCM على أقطاب فضية نقية تتركز عند 300 مللي جزيني جرامي. ويتركز اكتشاف مستشعرات الحد من QCM على أقطاب الفضة المطلية بالأغشية عند 700 ملي مولار. إن الاستجابة الديناميكية على مستشعر QCM على أقطاب الفضة الخالصة تكون ثابتة في حالة 12 ثانية. إن الاستجابة الديناميكية على مستشعر QCM على القطب الفضي المطلية مع الغشاء هي في زمن ثابت قدره 9 ثوان. يتمتع مستشعر QCM على أقطاب من الفضة الخالصة بقيمة حساسية 1280.8 هرتز / مللي أمبير. أجهزة استشعار QCM على أقطاب الفضة المطلية بالأغشية لديها قيمة حساسية من 6561.7 هرتز / ملم.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Produksi makanan saat ini sangat berkembang pesat, jenis makanan dan rasa yang diproduksi sangat beragam. Indonesia adalah salah satu negara yang memproduksi makanan dengan cita rasa yang sangat bervariasi. Beberapa tahun belakangan ini, produksi makanan tidak hanya memiliki rasa manis, asin, asam, dan pahit, akan tetapi masyarakat Indonesia banyak yang menyukai rasa umami. Umami adalah rasa gurih yang khas dan rasa gurih tersebut didapatkan dari kandungan asam amino glutamat yang sekarang lebih dikenal dengan nama Monosodium Glutamat (MSG). MSG adalah suatu sensasi rasa yang disebabkan oleh berbagai zat kimia makanan yang larut dalam saliva, berinteraksi dengan kanal ion yang kemudian menimbulkan perubahan elektrik pada potensial istirahat sel. Hal tersebut menyebabkan terjadinya depolarisasi yang menginisiasi potensial aksi yang ditransmisikan ke otak menjadi sebuah sensasi rasa (Halpern, 2002).

Monosodium Glutamat (MSG) memiliki manfaat bagi tubuh. Hal ini ditunjukkan melalui penelitian yang dilakukan oleh Hiroaki Zai, dkk tahun 2009 bahwa L-glutamat berperan penting pada pencernaan protein yang berarti membantu mempercepat pengosongan lambung pada makanan yang kaya akan protein. L-glutamat berperan penting sebagai pembentuk energi pada sintesis protein dan juga digunakan oleh epitel usus halus sebagai prekursor untuk memproduksi asam amino lain seperti L-aspartat, L-alanin, L-prolin, L-omitin, dan L-sitrulin (Pinasti & Maya, 2014).

Penggunaan MSG mulai mengalami kontroversi sejak adanya klaim bahwa mengonsumsi MSG yang berlebihan dan dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan kelainan pada organ tubuh. Hal ini seperti yang dijelaskan dalam al-Quran surat Al-A'raf (7): 31:

..... وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿٣١﴾

“...makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan” (Q.S al-A'raf (7): 31).

Shihab menjelaskan bahwa lafadz “لَا تُسْرِفُوا” merujuk pada lafadz “كُلُوا” dan “اشْرَبُوا” yang menunjukkan larangan Allah SWT kepada semua umat Islam untuk tidak berlebih-lebihan dalam mengonsumsi makanan dan minuman (Shihab, 1996). Hal ini dikarenakan akan menimbulkan efek samping bagi orang yang mengonsumsi makanan atau minuman tersebut, salah satu efek sampingnya adalah menyebabkan penyakit dalam tubuh.

Beberapa referensi dari penelitian menjelaskan bahwa adanya efek yang ditimbulkan akibat mengonsumsi MSG pada organ tubuh antara lain: gangguan otak, ovarium, testis, hepar dan ginjal. Mengonsumsi MSG dalam waktu lama dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara antioksidan dan *reactif oxygen species* (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif (Sharma dkk., 2015).

Peningkatan jumlah produksi ROS dapat menyebabkan gangguan pada ginjal yaitu meningkatnya ekskresi produk metabolisme seperti ureum dan kreatinin. Peningkatan ureum dan kreatinin pada urin akan mengakibatkan kelainan pada ginjal. Kelainan pada ginjal terkadang tidak menunjukkan gejala sehingga diperlukan deteksi dini. Beberapa penelitian menyatakan bahwa penyakit

pada ginjal yang sering disebabkan oleh MSG antara lain: urolitiasis dan gagal ginjal. Prevalensi gagal ginjal menurut Riset kesehatan daerah tahun 2013 adalah 0,2%, sedangkan untuk urolitiasis adalah 0,6% (Sharma dkk., 2015)

Berbagai macam kontroversi tersebut, bahan makanan yang mengandung MSG ini ditetapkan oleh World Health Organization dengan kadar penggunaan maksimal  $120 \text{ mg/kg}^3$  per hari pada manusia (Widyalita dkk., 2014). Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknologi untuk mendeteksi rasa umami pada MSG yang dikonsumsi, salah satunya adalah menggunakan sensor.

Sensor adalah bagian dari transduser yang berfungsi untuk melakukan *sensing* atau merasakan dan menangkap adanya perubahan energi eksternal yang masuk ke bagian input dari transduser. Sensor sering diartikan sebagai suatu perangkat yang dapat menerima serta merespon suatu sinyal ataupun stimulus. Selain itu, sensor juga diartikan sebagai suatu alat yang dapat merubah besaran fisika menjadi besaran listrik (Fraden 2003; Oktariawan. dkk. 2013). Suatu sensor dapat dikatakan sebagai sensor yang baik atau bagus bila memenuhi beberapa syarat diantaranya yaitu: memiliki linearitas, sensitifitas sensor (kepekaan sensor), serta tanggapan waktu pada sensor.

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi rasa sangat bervariasi, sebagaimana penelitian terdahulu yang menggunakan sistem sensor rasa (*e-tongue*) dan 16 array sensor lidah elektronik. Sensor rasa (*e-tongue*) berbasis membran selektif ion untuk mengklasifikasi rasa pada 3 jenis buah jeruk (jeruk peras, jeruk siam, dan jeruk nipis). *E-tongue* tersebut dilengkapi dengan sistem pengenalan pola berbasis PCA (*Principle Component Analysis*). Hasil dari penelitian

*e-tongue* tersebut menunjukkan bahwa secara umum *e-tongue* yang dibuat dengan menggunakan 6 membran selektif ion mampu mengidentifikasi empat rasa dasar (pahit, asin, asam, dan umami) pada 3 jenis buah jeruk yang berbeda (Wibowo. dkk, 2013).

Sistem 16 array sensor lidah elektronik yang mengidentifikasi empat rasa dasar menghasilkan hasil deteksi limit, hasil sensitifitas sensor, serta hasil dari respon time. Hasil deteksi limit menunjukkan bahwa sensor nomer 6 merespon pada semua rasa setelah penetasan pertama, dan sensor nomer 10 merespon pada semua rasa akan tetapi memiliki limit yang lebih kecil pada sampel  $MgCl_2$ . Pengujian sensitifitas didapatkan hasil bahwa sensor nomor 6 merespon dengan baik terhadap empat rasa dasar, sensor nomor 11 memiliki sensitifitas yang kurang baik terhadap rasa asam dan asin, serta sensor 3 merespon rasa pahit dan rasa umami dengan kurang baik. Berdasarkan hasil dari *respon time* menunjukkan bahwa semua sensor memenuhi kriteria *steady state sensor* (Jazuly, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian di atas, diperlukan suatu sensor yang lebih peka dalam menganalisis rasa. Sensor tersebut adalah sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM). Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensi resonansinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Mekanisme kerja dari QCM didasari pada efek invers-piezoelektrik, yaitu timbulnya deformasi pada material tertentu akibat medan listrik. Material piezoelektrik yang digunakan sebagai sensor QCM adalah kristal kuarsa tipe AT-cut. Hal ini dikarenakan tipe AT-cut merupakan tipe Kristal yang paling stabil, mode osilasinya shear-

thickness, dan juga karena memiliki faktor kualitas yang tinggi (Ali dkk., 2016). Sensor QCM merupakan sensor yang sangat sensitif dan banyak digunakan untuk sensor gas. Sensor QCM terbuat dari lapisan kristal kuarsa tipis kosong dengan elektrode logam pada kedua sisinya (Sharma dkk., 2014).

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit, misal semikonduktor, elektrolit atau vakum. Nilai absolut dari potensial suatu elektroda (elektroda kerja) tidak dapat ditentukan, hanya dapat ditentukan dengan mengukur nilainya relatif terhadap potensial elektroda yang lain, dalam hal ini digunakan elektroda referensi yang mempunyai potensial stabil (Bearzotti dkk., 2017). Elektroda dibagi menjadi dua bagian, salah satunya adalah elektroda pembanding. Beberapa analisis elektrokimia, diperlukan suatu elektroda pembanding (*reference electrode*) yang memiliki syarat harga potensial setengah sel yang diketahui, konstan dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang sedang diselidiki. Pasangan elektroda pembanding adalah elektroda indikator (*working electrode*) yang potensialnya bergantung pada konsentrasi zat yang sedang diselidiki (Guyton & Hall, 2006). Ada banyak jenis elektroda pembanding antara lain adalah elektroda perak.

Elektroda perak/perak klorida adalah elektroda referensi dengan sistem logam atau garam. Elektroda mempunyai kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dari elektroda perak yaitu mudah digunakan serta memiliki kualitas handal. Elektroda perak atau perak klorida dapat dioperasikan pada temperatur lebih dari 100 °C. Adapun kelemahan dari elektroda perak dan perak klorida yaitu

sensitif terhadap cahaya. Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan AgCl berubah menjadi Ag. Hal tersebut yang menyebabkan elektroda perak tidak cocok untuk larutan dengan ion kompleks (Suryanto, 2007). Adanya kelemahan dalam elektroda perak diperlakukan pelapis berupa membran lipid.

Membran lipid yang digunakan untuk analisa berbasis elektroda selektif ion dengan beberapa keuntungan diantaranya bersifat selektif dan praktis dengan sensitifitas dan akurasi yang tinggi. Membran lipid merupakan bagian dari elektroda selektif ion yang dikembangkan untuk meningkatkan sensitifitas sensor. Beberapa senyawa aktif yang digunakan sebagai membran lipid, salah satunya adalah Octadecylamine. Senyawa aktif yang terdapat dalam membran lipid akan berinteraksi dengan sampel yang diujikan pada sensor rasa. Apabila sampel dengan fase cair diujikan pada sensor yang telah dilapisi membran lipid, maka sampel akan bereaksi dengan ion negatif hidrofilik lipid. Reaksi antara ion positif sampel dan ion negatif membran lipid akan mempengaruhi lapisan ganda listrik pada permukaan sensor sehingga dapat mengubah potensial membran. Perubahan potensial tersebut yang dapat digunakan untuk analisa sampel yang diujikan (Kobayashi dkk., 2010).

Berdasarkan penjelasan di atas, sensor QCM menggunakan elektroda perak memiliki sensitifitas tinggi dan banyak digunakan dalam pendeteksian terhadap gas, sehingga sensor ini sangat cocok dalam menangani masalah makanan yang memiliki aroma khas atau rasa umami. Hal ini dikarenakan pengembangan sensor QCM mulai mengalami peningkatan, terutama dalam pengidentifikasian zat-zat yang bersifat molekuler. Pada penelitian tentang

identifikasi uap dan berat molekul menggunakan virtual sensor array didapatkan data yang cukup baik berupa korelasi antara parameter frekuensi dan rasio celcius untuk perkiraan berat molekul alkohol. Selain itu metode tersebut menghasilkan data yang akurat untuk diskriminasi uap fase isomer (Speller dkk., 2017).

Berdasarkan uraian di atas, diketahui bahwa sensor QCM menggunakan elektroda perak sangat diperlukan untuk mengidentifikasi kadar penggunaan kandungan MSG maksimal melalui karakteristik sensor QCM. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian dengan judul “Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon Monosodium Glutamat”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana karakteristik sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine terhadap karakteristik deteksi limit larutan MSG?
2. Bagaimana respon dinamik sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine terhadap larutan MSG?
3. Bagaimana sensitifitas sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine terhadap larutan MSG?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine terhadap karakteristik deteksi limit larutan MSG.
2. Mengetahui respon dinamik sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine terhadap larutan MSG.
3. Mengetahui sensitifitas sensor QCM elektroda perak dengan lapisan membran lipid Octadecylamine pada larutan MSG.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Data logger yang digunakan bukan merupakan produk buatan sendiri.
2. Sampel uji dilakukan hanya pada batas 0 mM sampai 1500 mM
3. Sampel yang dipakai larutan MSG murni

### 1.5 Manfaat Penelitian

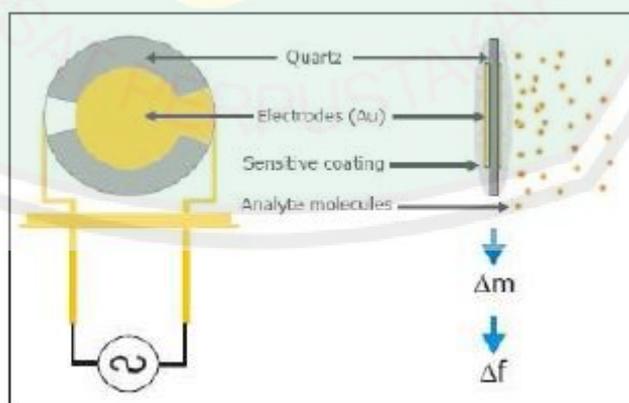
1. Mengetahui *deadband* sensor QCM dengan pelapisan perak.
2. Mengetahui karakteristik sensor QCM pada MSG.
3. Mengurangi pemalsuan produk makanan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Quartz Crystal Microbalance

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Mekanisme kerja dari QCM didasari pada efek invers-piezoelektrik, yaitu timbulnya deformasi pada material tertentu akibat medan listrik. Material piezoelektrik yang digunakan sebagai sensor QCM adalah kristal kuarsa tipe AT-cut. Hal ini dikarenakan tipe AT-cut merupakan tipe Kristal yang paling stabil, mode osilasinya shear-thickness, dan juga karena memiliki faktor kualitas yang tinggi (Ali dkk., 2016).

Sensor QCM pada aplikasinya merupakan resonator kristal kuarsa yang terdiri dari lempeng kristal AT-cut yang diapit oleh dua elektroda pada masing-masing sisinya seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Konstruksi Kristal Kuarsa sebagai Sensor QCM (Ali dkk., 2016)

Gambar 2.1 mendasari penggunaan kristal kuarsa sebagai sensor QCM adalah persamaan Sauerbrey yang menunjukkan bahwa pergeseran frekuensi pada sebuah resonator kristal kuarsa sebanding dengan penambahan massa pada permukaannya (Majchrzak dkk., 2010), seperti pada persamaan di bawah ini:

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

$\Delta f$  adalah perubahan frekuensi resonan (Hz),  $\Delta m$  adalah perubahan massa (g),  $f_0$  adalah frekuensi resonan kristal (Hz),  $A$  adalah daerah aktif kristal piezoelektrik (daerah antara elektroda)  $\text{cm}^2$ ,  $\rho_q$  adalah densitas kristal kuarsa ( $\rho_q = 2.648 \text{ g/cm}^3$ ),  $\mu_q$  adalah modulus geser dari kristal kuarsa tipe AT-cut kristal ( $\mu_q = 2.947 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$ ), dan  $C$  adalah konstanta sensitifitas massa yang didasarkan pada tipe kristal yang digunakan ( $\text{s.g}^{-1}$ ).

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sensor yang sangat sensitif dan banyak digunakan untuk sensor gas. Sensor QCM terbuat dari lapisan kristal kuarsa tipis kosong dengan elektroda logam pada kedua sisinya. Permukaan lapisan kristal kuarsa sensor akan mengalami deformasi dan relaksasi ketika kedua elektroda dialiri arus listrik hingga terjadi eksitasi listrik. Peristiwa deformasi dan relaksasi permukaan tersebut tergantung pada dimensi kristal, parameter fisik kristal dan jenis potongan kristal. Penggunaan sensor QCM sebagai sensor gas dilakukan dengan memberikan lapisan pendeteksi sampel yang bersifat sensitif. Lapisan tersebut menyebabkan peningkatan massa sensor QCM dan mengakibatkan perubahan frekuensi resonansinya. Berdasarkan persamaan Sauerbrey yang telah dipaparkan sebelumnya menjelaskan bahwa nilai frekuensi

resonansi sensor QCM akan menurun secara linear akibat adanya penyerapan massa. Sampel gas yang dideteksi memiliki massa molekul yang berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. Penyerapan molekul target tersebut yang menyebabkan terjadinya penyimpangan frekuensi resonansi. Penyimpangan frekuensi resonansi sensor QCM tersebut yang menunjukkan tingkat selektivitas dan kepekaan sensor (Sharma dkk, 2014).

Sensor QCM merupakan sensor yang memanfaatkan efek piezoelektrik. Efek piezoelektrik diantaranya yaitu terjadinya tegangan permukaan lapisan piezoelektrik yang disebabkan apabila bahan piezoelektrik terkena tekanan fisik. Tegangan permukaan yang terjadi dapat menghasilkan distorsi mekanik. Distorsi mekanik yang dimaksudkan misalnya osilasi dan perubahan suhu. Terjadinya distorsi mekanik tergantung pada bentuk potongan bahan yang biasanya sesuai dengan aturan crystallographic. Jenis potongan kristal yang biasanya digunakan pada sensor QCM yaitu jenis AT-cut ( $35^{\circ} 15'$ ) karena jenis potongan tersebut memiliki ketergantungan perubahan suhu yang rendah. Kedua sisi kristal kuarsa pada sensor QCM akan saling berosilasi ketika diberikan tegangan listrik arus bolak balik. Panjang gelombang tegangan akan sesuai dengan ketebalan kristal ketika terjadi osilasi. Frekuensi osilasi sensor tergantung pada gravimetric dan viscoelastisitas permukaan kristal (Sharma dkk., 2015).

## 2.2 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit, misalnya semikonduktor, elektrolit atau vakum. Nilai absolut dari potensial suatu elektroda (elektroda kerja)

tidak dapat ditentukan, hanya dapat ditentukan dengan mengukur nilainya relatif terhadap potensial elektroda yang lain, dalam hal ini digunakan elektroda referensi yang mempunyai potensial stabil (Bearzotti dkk., 2017).

### 2.2.1 Elektroda Indikator

Elektroda indikator (elektroda kerja) adalah suatu elektroda yang potensial elektrodanya bervariasi terhadap konsentrasi (aktivitas) analit yang diukur. Elektroda indikator harus memenuhi beberapa syarat antara lain harus memenuhi tingkat sensitifitas yang terhadap konsentrasi analit. Tanggapannya terhadap keaktifan teroksidasi dan tereduksi harus sedekat mungkin dengan yang diramalkan dengan persamaan Nernst. Sehingga adanya perbedaan yang kecil dari konsentrasi analit, akan memberikan perbedaan tegangan (Fraden, 2013).

Elektroda indikator secara umum dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu:

#### a. Elektroda Indikator Logam

Elektroda logam adalah elektroda yang dibuat dengan menggunakan lempengan logam atau kawat yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit. Elektroda logam dapat dikelompokkan ke dalam elektroda jenis pertama, elektroda jenis kedua, elektroda jenis ketiga, elektroda redoks (Fraden, 2013).

#### b. Elektroda Indikator Membran

Elektroda indikator ini biasanya peka/sensitif terhadap satu jenis ion saja. Tegangan yang ditimbulkan bergantung pada banyaknya ion dalam larutan yang mengenai permukaannya. Hal ini dapat dilihat dari jumlah atau konsentrasi ion dalam larutan (Day & Underwood, 2002).

### 2.2.2 Elektroda Pemanding

Berdasarkan analisis elektrokimia, diperlukan suatu elektroda pembanding (*reference electrode*) yang memiliki syarat harga potensial setengah sel yang diketahui, konstan dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang sedang diselidiki. Pasangan elektroda pembanding adalah elektroda indikator (*working electrode*) yang potensialnya bergantung pada konsentrasi zat yang sedang diselidiki (Guyton & Hall, 2006).

Syarat elektroda pembanding adalah (Day & Underwood, 2002):

- a. Mematuhi persamaan Nernst bersifat *reversible*
- b. Memiliki potensial elektroda yang konstan oleh waktu
- c. Segera kembali ke harga potensial semula apabila dialiri arus yang kecil
- d. Hanya memiliki efek *hysteresis* yang kecil jika diberi suatu siklus suhu
- e. Merupakan elektroda yang bersifat nonpolarisasi secara ideal

Elektroda pembanding ada beberapa macam, diantaranya:

#### 1. Elektroda Kalomel (*Saturated Calomel Electrode*)

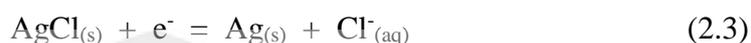
Elektroda Kalomel merupakan elektroda yang terdiri dari lapisan Hg yang ditutupi dengan pasta merkuri (Hg), merkuri klorida ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) dan kalium klorida (KCl). Setengah sel elektroda kalomel ditunjukkan sebagai berikut:



#### 2. Elektroda Perak / Perak Klorida

Elektroda perak/perak klorida adalah elektroda referensi dengan sistem logam atau garam. Adapun kelebihan dari elektroda perak yaitu mudah digunakan serta memiliki kualitas handal. Elektroda perak atau perak

klorida dapat dioperasikan pada temperatur lebih dari 100 °C. Reaksi keseimbangan perak klorida dapat ditulis sebagai berikut (Suryanto, 2007):



Reaksi tersebut memiliki potensial elektroda yang dinyatakan sebagai berikut (Suryanto, 2007):

$$\frac{E_{\text{Ag}}}{E_{\text{AgCl}}} = \frac{E^0_{\text{Ag}}}{E^0_{\text{AgCl}}} - (RT/F) \ln ([\text{AgCl}]/([\text{Ag}][\text{Cl}^-])) \quad (2.4)$$

Dimana  $E_{\text{Ag}/\text{AgCl}} = 0,2223 \text{ V}$  dengan *Standart Hidrogen Elektrode* (SHE) temperatur 25 °C dan koefisien temperatur 0,23 mV/ °C. Nilai  $[\text{AgCl}]=[\text{Ag}]=1$  dikarenakan fase perak dan dan perak klorida berbentuk padat. Nilai tersebut apabila disubstitusikan pada persamaan menjadi (Suryanto, 2007):

$$E_{\text{Ag}/\text{AgCl}} = E^0_{\text{Ag}/\text{AgCl}} - (RT/F) \ln [\text{Cl}^-] \quad (2.5)$$

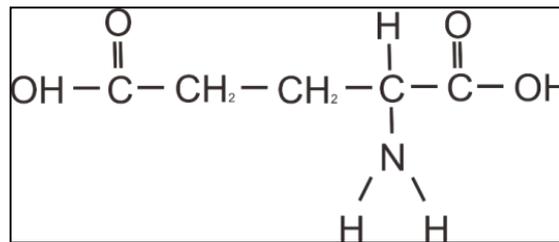
Persamaan 2.5 menunjukkan bahwa nilai potensial elektroda perak dan perak klorida bergantung pada nilai dan aktivitas ion klorida pada elektroda. Hal tersebut menyebabkan pentingnya pengontrolan komposisi elektrolit pengisi dan konsentrasinya. Pada nilai potensial elektroda sebesar 0,199 V vs SHE pada temperatur 25 °C membutuhkan larutan elektrolit yang mengandung KCl sebesar 3,5 M. Kelemahan dari elektroda perak dan perak klorida yaitu sensitif terhadap cahaya. Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan AgCl berubah menjadi Ag. Hal

tersebut yang menyebabkan elektroda perak tidak cocok untuk larutan dengan ion kompleks (Suryanto, 2007).

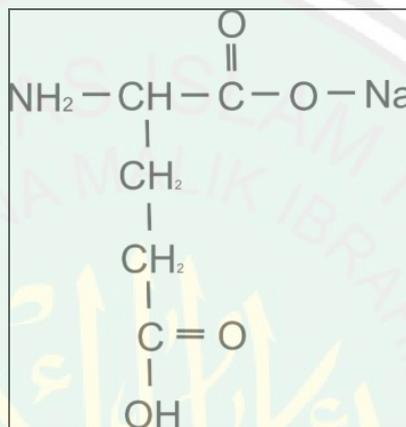
### 2.3 Monosodium Glutamat

MSG merupakan sebuah tastant. Tastant adalah suatu sensasi rasa yang disebabkan oleh berbagai zat kimia makanan yang larut dalam saliva, berinteraksi dengan kanal ion yang kemudian menimbulkan perubahan elektrik pada potensial istirahat sel. Hal tersebut menyebabkan terjadinya depolarisasi yang menginisiasi potensial aksi yang ditransmisikan ke otak menjadi sebuah sensasi rasa. MSG juga merupakan hasil penelitian garam natrium dan asam glutamat. MSG ditemukan pada tahun 1909 oleh Dr. Kikunae Ikeda. Dr. Ikeda memaparkan bahwa MSG merupakan hasil isolasi logam garam dari asam glutamat yang serng digunakan dalam masakan Jepang dan memiliki rasa yang sangat diinginkan untuk makanan. MSG dapat menimbulkan rasa dan kenikmatan makanan bertambah apabila dalam kondisi konsentrasi yang rendah. Sensasi kelezatan makanan itulah yang menjadi salah satu dari 5 rasa dasar yang disebut umami (Halpern, 2002).

Kandungan Monosodium Glutamat terdiri dari 78% asam glutamat serta 22% natrium dan air. Monosodium Glutamat mempunyai dua nama kimia yaitu 2-amino pentanedioic dan 2-amino glutamic acid (asam glutamat). Adapun perbedaan struktur kimia asam amino glutamat dan Monosodium Glutamat yaitu pada gugus karboksil yang mengandung hidrogen (Wasilah, 2016).



Gambar 2.2 Struktur Asam Glutamat (Wasilah, 2016)



Gambar 2.3 Struktur Monosodium Glutamat (Wasilah, 2016)

Pada senyawa glutamat terdiri dari 5 atom karbon (C) dan 2 gugus karboksil. Persamaan kedua jenis senyawa tersebut yaitu memiliki fase padat berbentuk tepung kristal berwarna putih yang tidak berbau dan mudah larut dalam air. Ionisasi gugus karboksil dapat menimbulkan rasa pada papila lidah (Wasilah, 2016).

MSG dibuat melalui proses fermentasi dari tetes gula (*molasses*) oleh bakteri (*Brevibacterium lactofermentum*). Dalam proses fermentasi ini, pertama-tama akan dihasilkan asam glutamat. Asam glutamat yang terjadi dari proses fermentasi ini, kemudian ditambah soda (*Sodium Carbonate*), sehingga akan terbentuk Monosodium Glutamat (MSG). Proses pembuatan MSG yang terjadi

ini, kemudian dimurnikan dan dikristalisasi, sehingga berubah menjadi serbuk kristal yang sudah murni yang siap dijual di pasaran (Rahayu dkk., 2012).

#### **2.4 Membran Lipid Octadecylamine**

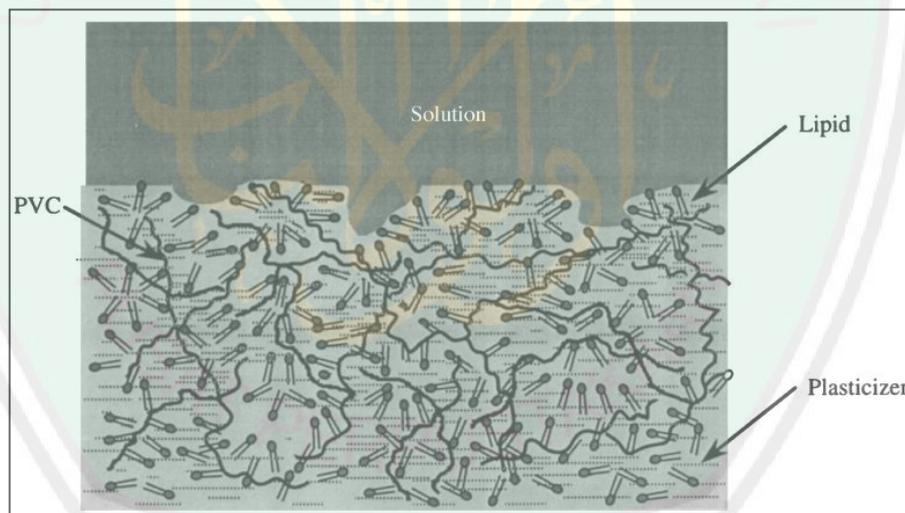
Membran adalah suatu lapisan tipis atau selaput tipis yang berfungsi untuk memisahkan dua zat dengan fase yang berbeda secara selektif. Prinsip kerja dari pemisahan dua zat pada membran berdasarkan koefisien difusi, perbedaan potensial listrik, perbedaan tekanan dan perbedaan konsentrasi. Penggunaan teknologi membran telah berkembang pada beberapa bidang diantaranya pada bidang industri logam, industri makanan, industri tekstil dan bioteknologi (Wenten, 2002).

Lipid dapat diartikan sebagai suatu biomolekul yang memiliki gugus fungsi non-polar sehingga tidak dapat larut dalam air. Lipid dapat dilarutkan oleh beberapa pelarut organik yang bersifat non-polar diantaranya eter, methanol, heksana dan benzena. Berdasarkan karakteristik non-polar dan struktur kimia lipid dikelompokkan menjadi lemak, fosfolipid, fingolipid, glikolipid lilin, vitamin, steroid, lipoprotein dan eikosanoat yang larut dalam lemak. Lipid pada umumnya berbentuk misel di dalam air karena memiliki gugus polar dan non-polar (Suryani, 2002).

Salah satu teknologi analisa kimia yaitu membran lipid yang digunakan untuk analisa berbasis elektroda selektif ion dengan beberapa keuntungan diantaranya bersifat selektif dan praktis dengan sensitifitas dan akurasi yang tinggi. Membran lipid merupakan bagian dari elektroda selektif ion yang dikembangkan untuk meningkatkan sensitifitas sensor. Penyusun membran lipid

terdiri dari senyawa aktif, polyvinyl chloride (PVC), plasticizer dan pelarut. Senyawa aktif pada membran berfungsi sebagai penentu selektivitas. PVC berfungsi sebagai matrik pendukung membran. *Plasticizer* sebagai pelentur membran (Kadidae dkk., 2001).

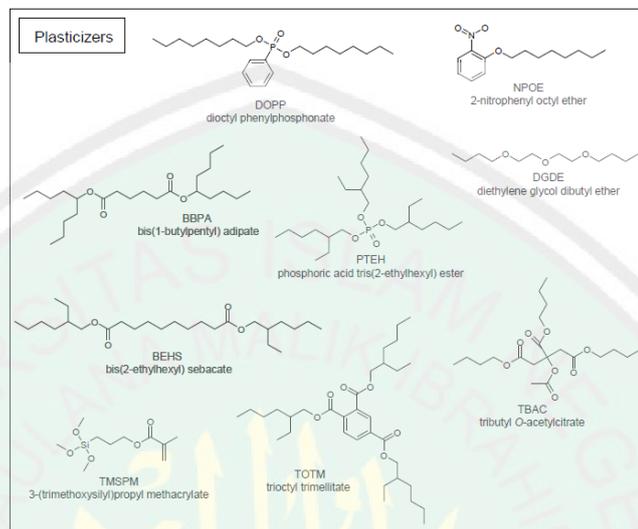
Setiap lipid dicampur dalam tabung reaksi dengan PVC, plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat yang dilarutkan dengan THF. Campuran dikeringkan dalam glass plate yang dikontrol pada suhu 30 °C. Membran lipid yang dihasilkan berupa membran yang transparan, lunak dan memiliki ketebalan sekitar 200  $\mu\text{m}$ . struktur permukaan membran lipid yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.4 sebagai berikut (Toko, 1998):



Gambar 2.4 Struktur Permukaan Membran Lipid (Toko, 1998)

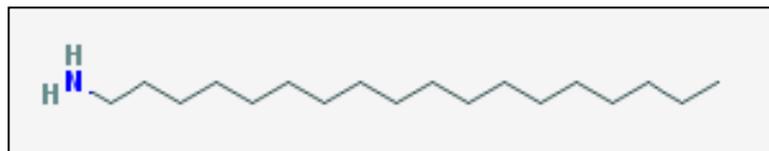
Pembuatan membran lipid membutuhkan plasticizer sebagai salah satu campurannya. Beberapa plasticizer yang biasa digunakan diantaranya *dioctyl phenylphosphonate* (DOPP), *tributyl O-acetyl citrate* (TBAC) dan bis (2-

ethylhexyl) sebacat. Adapun struktur kimia dari beberapa plasticizer tersebut ditunjukkan pada gambar 2.5 berikut (Kobayashi dkk., 2010):



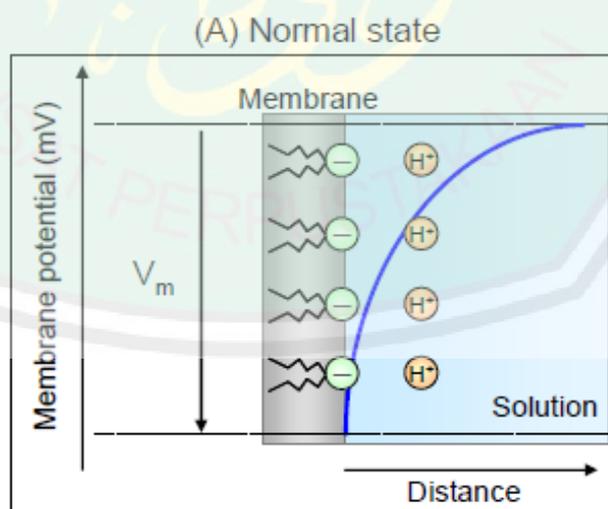
Gambar 2.5 Struktur Kimia Plasticizer (Kobayashi dkk., 2010)

Beberapa senyawa aktif yang digunakan sebagai membran lipid diantaranya Octadecylamine, Oleyl acid dan Methyl trioctyl ammonium chloride. Penelitian ini menggunakan senyawa aktif Octadecylamine sebagai salah satu komponen penyusun membran lipid. Rumus kimia Octadecylamine yaitu  $C_{18}H_{39}N$  dengan beberapa nama lain diantaranya Octadecan-1-amine, *Stearylamine* dan 1-Aminooctadecane. Adapun karakteristik senyawa Octadecylamine yaitu berupa padatan putih yang tidak dapat larut dalam air. Berat molekul senyawa Octadecylamine sebesar 269.517 g/mol dan densitas sebesar 0.86 g/cm<sup>3</sup>. Dekomposisi senyawa Octadecylamine saat dipanaskan dapat mengeluarkan asap nitroksida yang bersifat racun. Kontak langsung dengan senyawa Octadecylamine dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata dan selaput lendir. Adapun struktur kimia ditunjukkan pada gambar 2.6 sebagai berikut (Lewis, 2009):



Gambar 2.6 Struktur Kimia Octadecylamine (Lewis, 2009)

Senyawa aktif yang terdapat dalam membran lipid akan berinteraksi dengan sampel yang diujikan pada sensor rasa. Apabila sampel dengan fase cair diujikan pada sensor yang telah dilapisi membran lipid, maka sampel akan bereaksi dengan ion negative hidrofilik lipid. Reaksi antara ion positif sampel dan ion negatif membran lipid akan mempengaruhi lapisan ganda listrik pada permukaan sensor sehingga dapat mengubah potensial membran. Perubahan potensial tersebut yang dapat digunakan untuk analisa sampel yang diujikan. Lapisan membran dalam keadaan normal ditunjukkan pada gambar 2.7 sebagai berikut (Kobayashi dkk., 2010):



Gambar 2.7 Membran Lipid pada Keadaan Normal (Kobayashi dkk., 2010)

## 2.5 Frequency Counter

*Frequency counter* adalah suatu komponen elektronika yang digunakan untuk menentukan jumlah frekuensi sinyal dari rangkaian elektronika. Adapun komponen yang ada dalam *frequency counter* terdiri dari dua komponen yaitu *timer* dan *counter* yang menjadi masukan (input) pada mikrokontroler. *Frequency counter* memiliki beberapa fungsi diantaranya untuk mengendalikan tegangan secara PWM, untuk menentukan besar lebar sinyal dan untuk kontrol pada remote yang berbasis infrared. Sebuah *frequency counter* biasa dijalankan dengan suatu pencacah yang menjumlahkan banyaknya suatu peristiwa dalam satu periode waktu. Prinsip kerja dari *frequency counter* yaitu nilai *counter* ditransfer pada *display* setelah periode frekuensi ditentukan, kemudian *counter* direset ke nol. Nilai frekuensi clock osilator yang digunakan harus lebih besar dari jumlah frekuensi suatu kejadian yang diukur supaya hasil dari pengukuran frekuensi yang didapatkan bernilai stabil. Ketelitian pengukuran frekuensi berbanding lurus dengan banyaknya jumlah siklus yang diukur (Afniza, 2008).

*Frequency counter* memiliki beberapa batasan sebelum *overflow*. Rangkaian *prescaler* (Skala Pembanding) pada *frequency counter* digunakan untuk mengubah output dari *frequency counter* menjadi sinyal yang dapat dihitung oleh sirkuit digital normal pada keadaan frekuensi yang sangat tinggi. *Display* yang terdapat pada *frequency counter* tetap menampilkan nilai frekuensi input awal. Apabila frekuensi yang diukur bernilai lebih tinggi dari pada skala yang tersedia pada rangkaian *prescaler*, maka frekuensi sinyal yang sesuai untuk

pengukuran akan diproduksi oleh suatu mixer sinyal dan pembangkit gelombang lokal (Afniza, 2008).

Ketelitian *frequency counter* bergantung pada stabilitas *timebase* yang dimiliki. Stabilitas *timebase* membutuhkan suatu sirkuit dengan ketelitian yang tinggi. Sirkuit tersebut menggunakan sebuah osilator kristal (pembangkit gelombang kristal) yang salah satunya dapat terbuat dari bahan kristal kuarsa (*quartz crystal*). Kristal kuarsa tersebut ditempatkan pada sebuah ruang terisolasi dengan suhu yang terkontrol. Ruang tersebut biasanya disebut *Oven Controlled Crystal Oscillator* (OCXO). Suatu frekuensi dari luar disatukan dengan osilator stabil untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat seperti pada sebuah rangkaian GPS yang tersusun dari penggetar rubidium. Apabila objek ukur tidak membutuhkan *frequency counter* dengan ketelitian tinggi, maka dapat menggunakan osilator yang sederhana (Afniza, 2008).

Sinyal denyut yang biasa dijadikan sebagai inputan *frequency counter* ada dua macam yaitu sinyal denyut dengan frekuensi tetap yang sudah diketahui nilainya dan sinyal denyut yang memiliki frekuensi tidak tetap dan tidak diketahui nilainya. Kedua sinyal input tersebut menentukan fungsi dari *frequency counter*. Sinyal input dengan frekuensi tetap akan menjadikan *frequency counter* berfungsi sebagai *timer* karena kedudukannya sebanding dengan waktu yang dapat ditentukan dengan pasti. Sinyal input dengan frekuensi tidak tetap akan menjadikan *frequency counter* berfungsi sebagai *counter* karena kedudukan pencacah hanya menyatakan jumlah frekuensi yang terukur. Untaian pencacah biner yang digunakan dapat berupa *count up binary counter* atau dapat berupa

*count down binary counter*. Penggunaan kedua pencacah biner tersebut disesuaikan dengan kebutuhan *frequency counter* (Afniza, 2008).

Metode yang digunakan untuk mengukur frekuensi ada dua macam yaitu sebagai berikut (Kurniawan, 2009):

1. Pengukuran frekuensi objek langsung. Pengukuran frekuensi dilakukan dengan penentuan durasi waktu dan jumlah periode sinyal masukan. Hasil perhitungan dibagi dengan durasi waktu tersebut kemudian didapatkan jumlah frekuensi yang diukur.
2. Pengukuran periode sinyal input. Pengukuran periode sinyal inputan dilakukan pada dua titik bersesuaian yang berurutan, kemudian dilakukan pengukuran sinyal clock dengan menentukan jeda waktu dua sisi naik dan dua sisi turun secara berurutan.

## 2.6 Osilator

Osilator adalah sebuah rangkaian elektronika yang digunakan sebagai pembangkit sinyal elektronika dengan mengubah tegangan DC menjadi gelombang sinyal. Gelombang sinyal yang dihasilkan oleh osilator akan mengalami perubahan setiap satuan waktu. Perubahan siklus itu disebut frekuensi osilator. Beberapa jenis osilator pada rangkaian elektronika diantaranya osilator kristal kuarsa, osilator *feedback*, osilator relaksasi dan osilator *Wien-Bridge*. Osilator-osilator tersebut digunakan untuk kebutuhan rangkaian yang berbeda (Fuada, 2013).

### 2.6.1 Osilator Kristal Kuarsa

Osilator dapat disusun dari suatu bahan kristal. Material kristalin mempunyai sifat yang unik. Sifat unik tersebut yaitu kemampuan untuk menghasilkan tegangan listrik ketika diberikan tekanan mekanik. Sifat itu biasa disebut sebagai efek piezoelektrik. Adapun jenis kristal di alam yang dapat menunjukkan efek piezoelektrik jumlahnya banyak. Kristal yang digetarkan dapat membangkitkan tegangan AC. Begitupun sebaliknya, ketika kristal diberikan aliran tegangan listrik maka kristal akan bergetar dengan frekuensi yang sebanding dengan besar frekuensi tegangan input. Kristal-kristal yang dapat mengalami peristiwa tersebut diantaranya kristal kuarsa, garam Rochelle dan kristal turmalin. Efek piezoelektrik terbesar terjadi pada garam Rochelle diikuti dengan kristal kuarsa dan yang paling rendah efek piezoelektriknya yaitu kristal turmalin (Malvino, 1982).

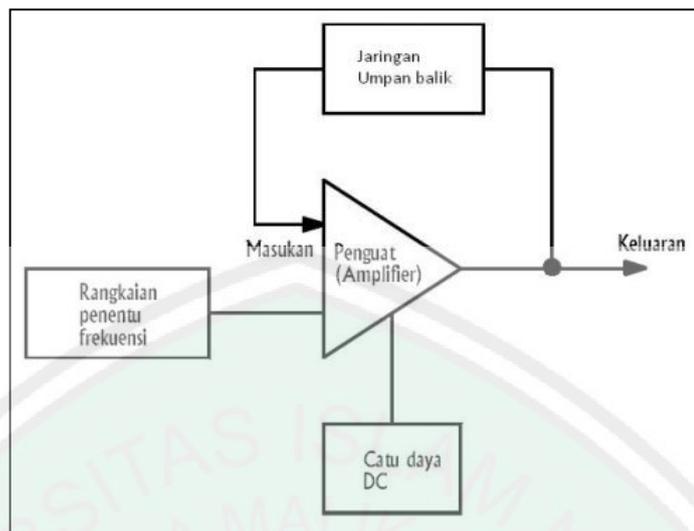
Jenis kristal yang sering digunakan sebagai osilator yaitu kristal kuarsa. Hal tersebut karena kristal kuarsa memiliki beberapa kelebihan. Adapun kelebihan dari kristal kuarsa diantaranya yaitu biaya kristal kuarsa terjangkau, memiliki efek piezoelektrik yang stabil dan tersedia di alam bebas. Bentuk alami dari kristal kuarsa yaitu prisma heksagonal dengan limas pada kedua ujungnya. Pemanfaatan kristal tersebut yaitu dengan memotong kristal alam menjadi potongan yang sesuai. Jumlah potongan yang diperoleh bergantung pada ukuran potongan dan sudut yang diinginkan. Beberapa jenis potongan yang biasa digunakan untuk mengolah kristal kuarsa alam yaitu potongan AT, potongan BT, potongan X, potongan Y dan potongan XY. Jenis potongan yang

digunakan pada sensor QCM yaitu potongan AT seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya (Malvino, 1982).

Osilator kristal kuarsa mempunyai frekuensi getar alami yang akurat karena dimensi dan potongan keping kristal dapat dikontrol secara presisi ketika proses produksi. Akurasi frekuensi getar kristal kuarsa pada umumnya berkisar 300 ppm. Tingkat akurasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Semakin tinggi akurasi frekuensi getar kristal kuarsa, maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan (Malvino, 1982).

### **2.6.2 Osilator *Feedback***

Osilator *feedback* biasanya dioperasikan pada frekuensi tertentu dengan output berupa gelombang sinus dan dengan rentang frekuensi operasi antara beberapa Hz sampai dengan jutaan Hz. Prinsip dasar dari osilator *feedback* yaitu mengembalikan sebagian daya output ke inputan menggunakan rangkaian *feedback*. Komponen yang terdapat pada osilator *feedback* diantaranya yaitu amplifier, jaringan *feedback*, jaringan *tank circuit* dan catu daya. Sinyal input dikuatkan oleh amplifier, kemudian sebagian sinyal tersebut diumpan balikkan ke inputan melalui jaringan *feedback*. Sinyal yang diumpan balikkan tersebut harus memiliki fase dan nilai yang tepat supaya terjadi getaran (osilasi) di dalam rangkaian osilator (Ermawaty, dkk., 2013).



Gambar 2.8 Rangkaian Dasar Osilator *Feedback* (Ermawaty, 2010)

Frekuensi pada osilator *feedback* biasanya ditentukan dengan menggunakan rangkaian induktor-kapasitor (LC). Rangkaian LC memiliki kemampuan untuk menampung tegangan listrik ketika siklus frekuensi resonansi yang disebut rangkaian tangki. ketika rangkaian dalam keadaan tertutup, maka kapasitor akan terisi oleh muatan listrik. Frekuensi tegangan listrik yang dibangkitkan oleh rangkaian tangki bergantung pada nilai induktor dan kapasitor yang digunakan dalam rangkaian. Frekuensi yang dihasilkan dapat dijelaskan pada persamaan berikut (Ermawaty, 2010):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$f$  = Frekuensi Resonansi (Hz)

$L$  = Induktor (Henri)

$C$  = Kapasitor (Farad)

Resonansi terjadi sesaat setelah reaktansi kapasitif memiliki nilai yang sama dengan reaktansi induktif. Rangkaian tangki akan mengalami osilasi pada

frekuensi yang nilainya sebanding dengan persamaan diatas. Frekuensi rangkaian tangki LC memiliki resistansi yang dapat mengganggu aliran arus dalam rangkaian osilator. Hal tersebut menyebabkan penurunan tegangan listrik setelah beberapa kali mengalami osilasi (Ermawaty, 2010).

### 2.6.3 Osilator Relaksasi

Osilator relaksasi adalah osilator *feedback* negatif. Komponen penyusun osilator relaksasi yaitu resistor dan kapasitor. Tegangan referensi negatif akan mengalami perubahan yang bergantung pada nilai tegangan output rangkaian osilator. Titik referensi rangkaian osilator relaksasi biasa disebut  $-v_{ref}$ . Komponen kapasitor memiliki peran penting dalam pembentukan osilasi pada rangkaian osilator relaksasi. Tegangan  $-v_{ref}$  akan berbentuk eksponensial yang sesuai dengan sifat kapasitor. Tegangan listrik akan mengalami peningkatan ketika keadaan kapasitor kosong (Ermawaty, 2010).

Osilator relaksasi merespon suatu komponen elektronika yang akan bekerja pada waktu tertentu dan mati untuk periode waktu tertentu pula. Kondisi pengoperasian tersebut akan mengalami pengulangan secara otomatis dan terus-menerus. Osilator relaksasi dapat merespon proses pengisian dan pengosongan rangkaian RL atau rangkaian RC. Adapun sinyal yang dibangkitkan oleh osilator relaksasi yaitu gelombang kotak atau gelombang segitiga. Osilator relaksasi akan bekerja secara maksimum pada aplikasi rangkaian dengan frekuensi rendah (Ermawaty, 2010).

### 2.6.4 Osilator *Wien-Bridge*

Osilator *Wien-Bridge* atau osilator jembatan Wien adalah rangkaian osilator yang digunakan untuk pembangkit sinyal rendah dengan besar frekuensi antara 5 Hz sampai 1 MHz. Osilator *Wien-Bridge* ditemukan oleh Max Wien yang berasal dari Kaliningrad Rusia. Osilator tersebut menggunakan rangkaian umpan balik yang disebut *lead-lag network*. Keluaran dari rangkaian *lead-lag network* memiliki persamaan tegangan keluaran sebagai berikut (Malvino, 1982):

$$V_{out} = \frac{R \parallel (-jX_C)}{R - jX_C + R \parallel (-jX_C)} V_{in} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$V_{out}$  = Tegangan Keluaran (Volt)

$V_{in}$  = Tegangan Masukan (Volt)

R = Hambatan (Ohm)

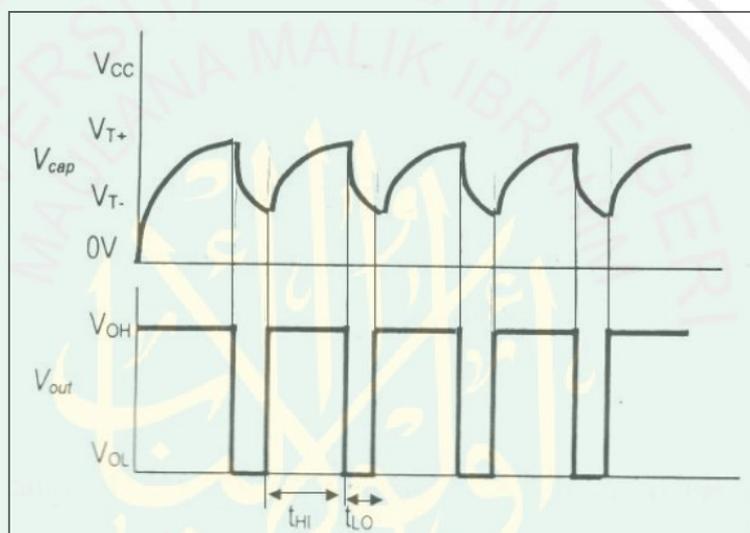
J = Rapat Arus ( $A/m^2$ )

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

Prinsip kerja dari osilator *Wien-Bridge* menggunakan *feedback* positif dan *feedback* negatif. *Feedback* positif membantu meningkatkan osilasi ketika pertama kali daya dihidupkan. *Feedback* negatif akan mengurangi kelebihan sinyal setelah sinyal mencapai tingkat keluaran yang diinginkan. *Feedback* positif diambil melalui *lead-lag network* yang memasuki input searah. *Feedback* negatif diambil melalui pembagi tegangan yang memasuki input *feedback* (Malvino, 1982).

## 2.7 Multivibrator

Multivibrator adalah suatu rangkaian pembangkit sinyal (osilator) yang membangkitkan sinyal berbentuk kotak dan memiliki sifat *continue*. Multivibrator dapat diaplikasikan sebagai *function generator*, *inverter* dan flip-flop SR. Rangkaian multivibrator biasanya menggunakan IC 555 atau inverter Schmitt Trigger 74HC14 sebagai komponen utama (Fuada, 2014).

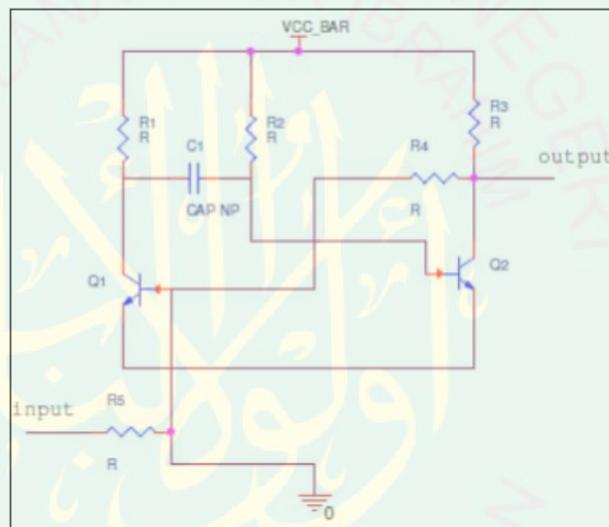


Gambar 2.9 Sinyal Masukan dan Keluaran Multivibrator (Fuada, 2014)

Gambar 2.9 menunjukkan bentuk sinyal output dari suatu rangkaian multivibrator. Sinyal yang berbentuk segitiga menunjukkan sinyal tegangan input, sedangkan sinyal yang berbentuk kotak menunjukkan sinyal tegangan output yang dihasilkan oleh multivibrator. Secara umum, multivibrator dibagi menjadi dua yaitu multivibrator *monostabel* dan multivibrator *astabel* yang dijelaskan sebagai berikut (Malvino, 1982):

1. Multivibrator *monostabel* yaitu suatu rangkaian multivibrator yang memiliki keadaan stabil dan keadaan kuasi stabil. Sinyal yang menjadi output dari

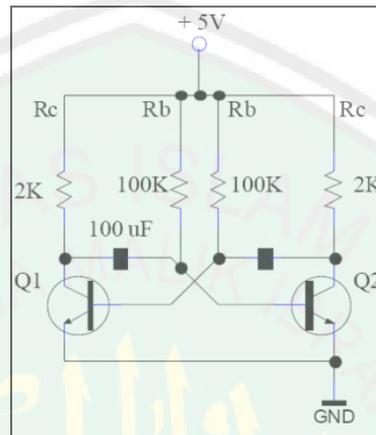
rangkaian multivibrator *monostabel* berupa sinyal tunggal yang waktu pengamatannya dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Ketika rangkaian multivibrator mendapatkan pengaruh *trigger* dari luar dapat menyebabkan perubahan keadaan multivibrator. Jangka waktu perubahan keadaan multivibrator *monostabel* bergantung pada nilai resistor dan kapasitor yang digunakan. Rangkaian dasar multivibrator *monostabel* yang ditunjukkan pada gambar berikut (Bachri, 2013):



Gambar 2.10 Rangkaian Dasar Multivibrator *Monostabel* (Bachri, 2013)

2. Multivibrator *astabel* merupakan suatu rangkaian multivibrator yang dapat bekerja melalui dua keadaan. Keadaan tersebut dapat mengalami ketidakstabilan pada salah satunya. Rangkaian multivibrator berada pada salah satu keadaan hanya dalam kurun waktu yang dinilai sangat kecil kemudian berpindah ke keadaan lain. Perpindahan multivibrator dari keadaan satu ke keadaan lain secara terus menerus akan menyebabkan sinyal kotak dengan waktu pembangkitan yang sangat cepat karena tidak

memerlukan sinyal masukan untuk memperoleh sinyal keluaran. Adapun rangkaian dasar multivibrator *astabel* ditunjukkan pada gambar berikut (Bachri, 2013):



Gambar 2.11 Rangkaian Dasar Multivibrator *Astabel* (Bachri, 2013)

## **BAB III METODE PENELITIAN**

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

Penelitian tentang “*Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran lipid Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon Monosodium Glutamat*” ini dilaksanakan mulai 25 Januari 2018 sampai selesai di Laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

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

#### **3.2.1 Alat-Alat Penelitian**

Adapun alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu

- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| a. Holder QCM    | e. Timbangan Digital      |
| b. Open QCM      | f. Personal Computer (PC) |
| c. Botol Semprot | g. Mikropipet Tetes       |
| d. Selang Pipa   |                           |

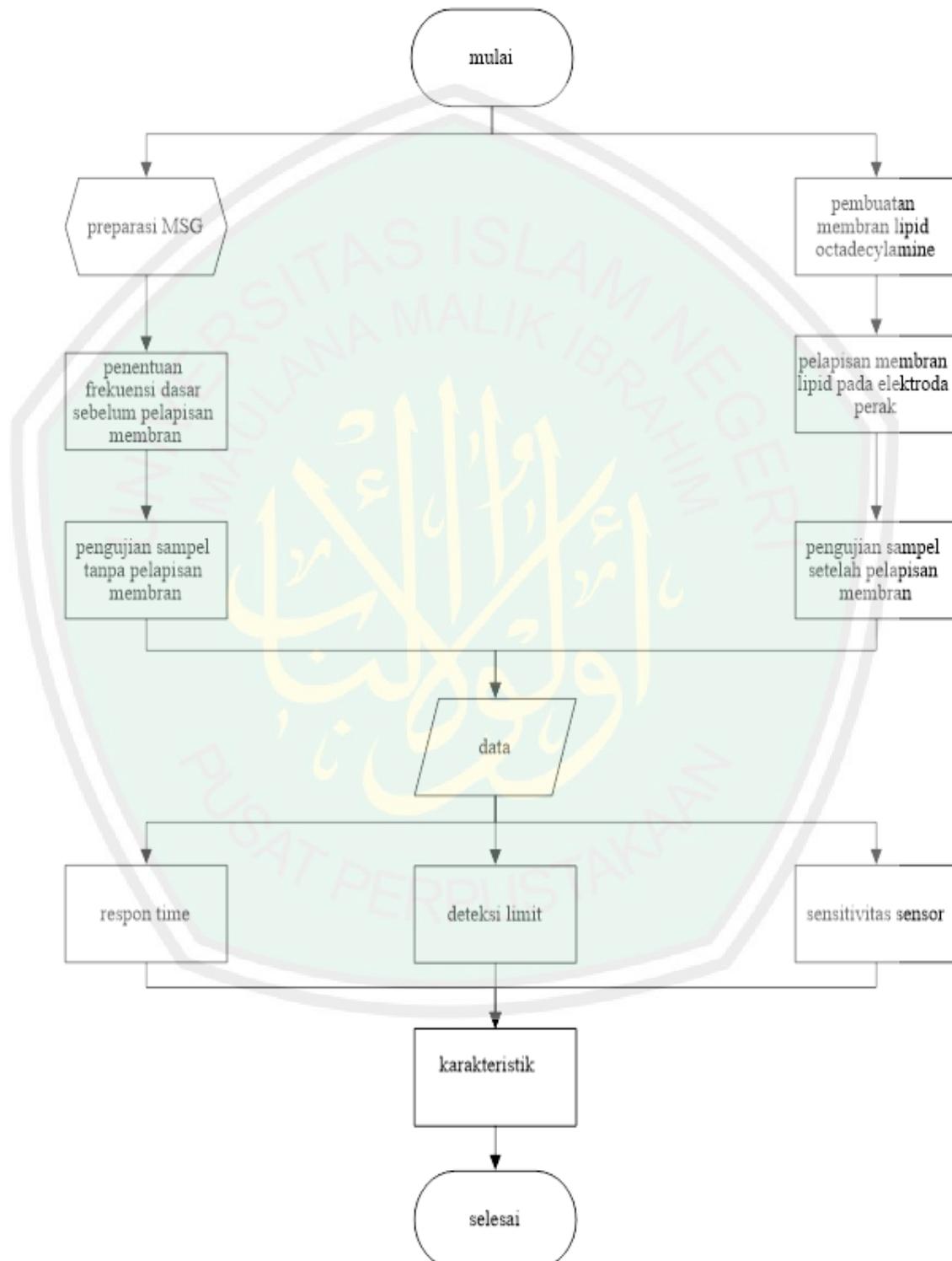
#### **3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian**

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan yaitu.

- |                         |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| a. Kristal Kuarsa       | e. Tetrahydrofuran (THF)           |
| b. Monosodium Glutamat  | f. Polyvinyl Clorida (PVC)         |
| c. Aquades              | g. Plasticizer: bis (2-ethylhexyl) |
| d. Lipid Octadecylamine | sebacat                            |

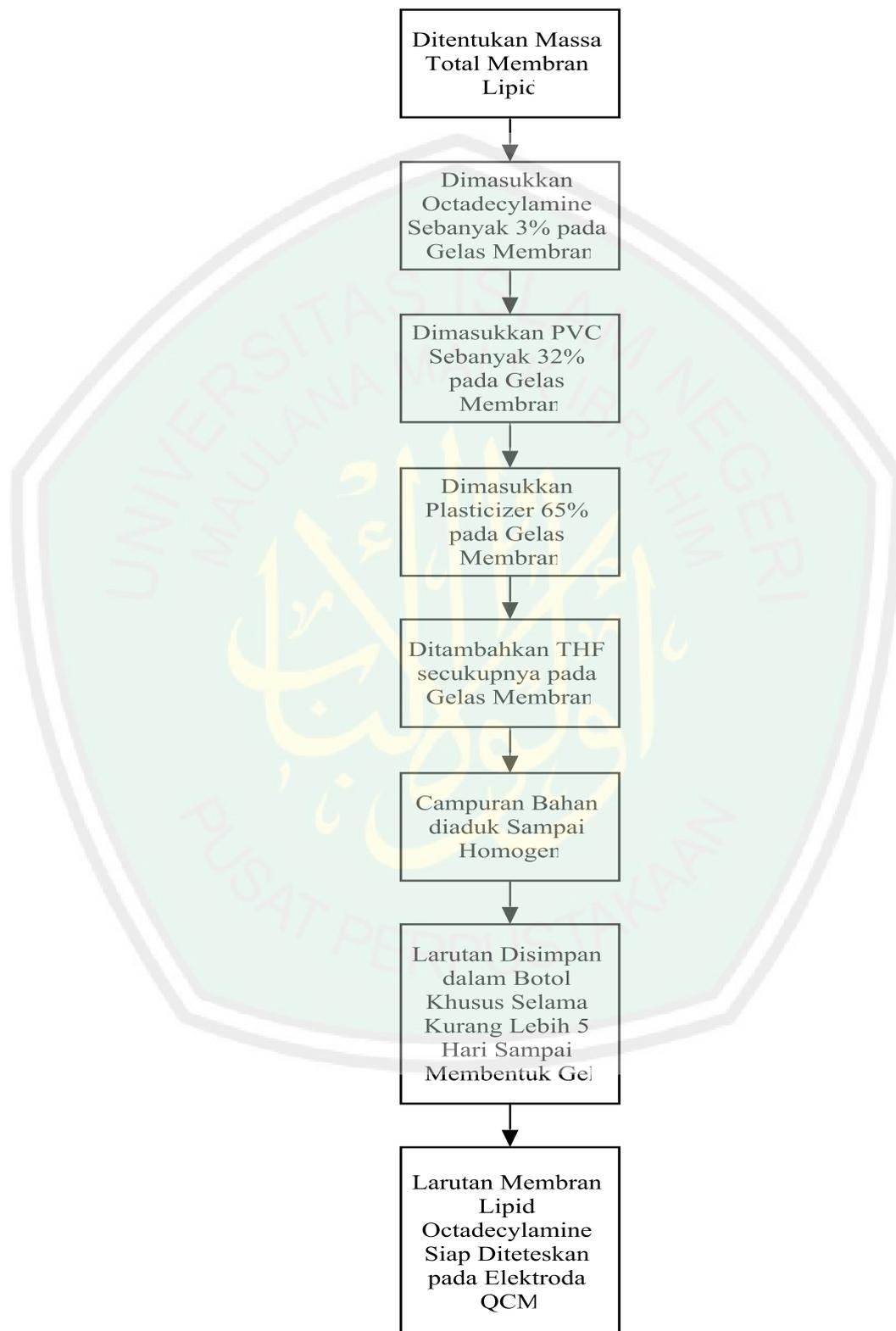
### 3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yaitu sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3.1 Tahap Pembuatan Membran



Gambar 3.2 Proses Pembuatan Membran Lipid

Proses pembuatan membran lipid pada gambar 3.2 dijelaskan sebagai berikut:

- a. Dipersiapkan bahan untuk pembuatan membran (lipid Octadecylamine, plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat, PVC, dan THF).
- b. Dimasukkan lipid Octadecylamine ke dalam sebuah gelas membran sebanyak  $\pm 3\%$ .
- c. Ditambahkan  $\pm 65\%$  plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat ke dalam gelas membran.
- d. Ditambahkan  $\pm 32\%$  Polyvinyl Clorida (PVC) ke dalam gelas membran.
- e. Ditambahkan Tetrahydrofuran (THF) yang berfungsi sebagai pelarut ke dalam gelas membran.
- f. Dilakukan pengadukan larutan (lipid Octadecylamine, plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat, PVC, dan THF) hingga homogen.
- g. Disimpan larutan ke dalam sebuah botol khusus.

### 3.3.2 Tahap Pelapisan Membran

- a. Dilakukan pelapisan terhadap elektroda QCM dengan menggunakan membran lipid Octadecylamine yang telah dibuat sebanyak 4 ml dengan cara diteteskan langsung.
- b. Dibiarkan elektroda QCM selama 1 hari sehingga lapisan pada membran menjadi kering.
- c. Elektroda QCM dengan lapisan membran lipid Octadecylamine bisa digunakan.

### 3.3.3 Tahap Preparasi Sampel

- a. Diukur massa sampel MSG dengan menggunakan neraca digital.
- b. Dimasukan MSG serbuk kedalam wadah.
- c. Dilakukan pelarutan pada sampel MSG dengan menggunakan aquades sesuai dengan variasi konsentrasi pada tabel 3.1

### 3.3.4 Tahap Pengambilan Data

#### a. Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar

1. Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran dipasangkan pada holder QCM.
2. Holder dan sensor QCM ditempatkan pada open QCM.
3. Dijalankan software QCM dan diberikan tegangan pada rangkaian sensor sehingga sensor berosilasi.
4. Ditunggu beberapa menit sehingga frekuensi osilasi sensor berada dalam keadaan steady state.
5. Dilakukan pengulangan percobaan minimal 5 kali.
6. Langkah-langkah point 1-5 diulangi dengan sensor QCM yang telah dilapisi membran.
7. Data frekuensi yang telah didapatkan dalam software data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel.
8. Dilakukan analisa data sehingga didapatkan frekuensi dasar sensor ( $f_0$ ) yang akan dicantumkan seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar

Percobaan ke-	Frekuensi Dasar ( $f_0$ )	
	Sebelum Pelapisan Membran	Setelah Pelapisan Membran
1		
2		
3		
4		
5		

#### b. Tahap Pengambilan Data Pengujian Sampel

1. Dimasukkan sample ke dalam open QCM mulai dari konsentrasi rendah
2. Dijalankan Software data logger QCM dan ditunggu sampai frekuensi stabil.
3. Disimpan seluruh data yang telah didapatkan dari software data logger QCM kedalam bentuk Microsof Excel.

Tabel 3.2 Rencana Penelitian

Konsentrasi (mM)	Variabel uji	
	Waktu (steady state)	Frekuensi
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		
1100		
1200		
1300		
1400		
1500		

### 3.3.5 Tahap Pengolahan Data

1. Dilakukan plot grafik deteksi limit dan respon dinamik dari data yang telah diperoleh.
2. Dilakukan regresi grafik supaya diketahui tingkat linearitas dan sensitifitas sensor.
3. Ditentukan daerah mati dari sensor
4. Ditentukan juga daerah saturasinya.
5. Dilakukan analisa hasil berupa karakterisasi dan sensitifitas sensor.
6. Dibandingkan hasil karekeristik sensor QCM dengan pelapisan perak tanpa membran dengan sensor QCM dengan lapisan membran lipid Octadecylamine.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang karakterisasi sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran lipid Octadecylamine pada elektroda perak terhadap respon Monosodium Glutamat. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 25 Januari 2018 sampai selesai, di Laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penentuan karakterisasi sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran lipid Octadecylamine dapat dibagi menjadi 3 proses yaitu preparasi, pengambilan dan pengolahan data, dan data hasil uji.

Proses preparasi pada penelitian ini terdapat 2 jenis preparasi, yaitu preparasi sampel dan preparasi sensor. Preparasi sampel dimulai dengan menentukan perbandingan zat larut dan pelarut dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *Monosodium Glutamat* (MSG), penentuan jumlah MSG dalam setiap konsentrasi sampel dapat diketahui melalui persamaan:

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000} \quad (4.1)$$

keterangan:

- m = Massa MSG setiap sampel (gr)
- M = Konsentrasi sampel yang dilarutkan (M)
- Mr = Massa molekul relatif MSG (169 g/mol)
- V = Volume pelarut (10 ml)

persamaan tersebut digunakan untuk menentukan 15 variasi konsentrasi sampel yang diujikan. Hasil perhitungan massa untuk setiap sampel sebagaimana persamaan di atas dapat ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Daftar Massa MSG

Konsentrasi (mM)	Massa (gram)
100	0,169
200	0,338
300	0,507
400	0,676
500	0,845
600	1,014
700	1,183
800	1,352
900	1,521
1000	1,69
1100	1,859
1200	2,028
1300	2,197
1400	2,336
1500	2,535

Tabel 4.1 menunjukkan jumlah massa MSG yang sudah diketahui, selanjutnya massa tersebut dilakukan penimbangan dan juga pelarutan sehingga menjadi homogen. Sampel yang sudah dalam bentuk cairan disimpan dalam botol agar tidak terkontaminasi zat lain.

Preparasi sensor diawali dengan pembuatan membran lipid dengan mempersiapkan bahan lipid Octadecylamine, plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat, PVC, dan THF. Lipid Octadecylamine dimasukkan ke dalam sebuah gelas membran sebanyak  $\pm 3\%$  dan ditambahkan  $\pm 65\%$  plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat, serta  $\pm 32\%$  Polyvinyl Clorida (PVC). Tetrahydrofuran (THF) yang berfungsi sebagai pelarut dimasukkan ke dalam gelas membran.

Larutan (lipid Octadecylamine, plasticizer bis (2-ethylhexyl) sebacat, PVC, dan THF) diaduk hingga homogen dan disimpan larutan ke dalam sebuah botol khusus. Larutan membran lipid yang sudah dibuat, kemudian dilakukan pelapisan terhadap elektroda QCM dengan metode spin coating menggunakan alat *Vacuum Spin Coater* Tipe VTC 100. Pelapisan membran lipid pada sensor QCM menggunakan larutan membran sebesar 50  $\mu\text{l}$  dan kecepatan putar sebesar 3000 rpm dengan durasi pelapisan selama 120 s. Penggunaan jumlah tersebut disesuaikan dengan penelitian sebelumnya tentang pelapisan sensor QCM dengan polistiren. Sensor QCM yang telah dilapisi dengan membran dapat digunakan untuk pengujian sampel setelah proses pengeringan selama 24 jam.

Proses pengambilan data pada penelitian ini terdapat tiga tahap, yaitu pengambilan data frekuensi dasar ( $f_0$ ), pengambilan data sampel (Monosodium Glutamat) frekuensi sensor tanpa membran, dan pengambilan data sampel dengan membran lipid. Frekuensi dasar sensor QCM dapat diketahui dengan cara sensor QCM elektroda perak yang belum dilapisi membran dipasangkan pada holder QCM. Holder dan sensor QCM ditempatkan pada open QCM, kemudian dijalankan software QCM dan diberikan tegangan pada rangkaian sensor sehingga sensor berosilasi. Ditunggu beberapa menit sehingga frekuensi osilasi sensor berada dalam keadaan steady state. Begitu juga dengan frekuensi dasar sensor QCM dengan membran. Data frekuensi yang telah didapatkan dalam software data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel.

Pengambilan data sampel dapat dilakukan dengan cara memasukkan sampel ke dalam wadah open QCM mulai dari konsentrasi rendah (0-1500 mM

dengan interval 100 mM), kemudian dijalankan Software data logger QCM dan ditunggu sampai frekuensi stabil (5 menit). Seluruh data disimpan yang telah didapatkan dari software data logger QCM kedalam bentuk Microsof Excel. Data yang sudah diperoleh, kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan plot grafik deteksi limit dan respon dinamik. Regresi grafik supaya diketahui tingkat linearitas dan sensitifitas sensor, kemudian dapat ditentukan daerah kerja sensor. Analisa hasil berupa karakterisasi dan sensitifitas sensor dan dibandingkan hasil karakteristik sensor QCM dengan pelapisan perak murni dengan sensor QCM dengan lapisan membran lipid Octadecylamine.

#### **4.1 Hasil Penelitian**

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensi resonansinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Data yang dihasilkan dari sensor QCM adalah frekuensi osilasi sensor. Semakin besar konsentrasi sampel yang diujikan maka data hasil pengujian sensor menunjukkan penurunan frekuensi osilasi sensor. Sebelum pengujian terhadap sampel, sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan lapisan membran lipid diuji frekuensi dasarnya ( $f_0$ ) sebagaimana pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM

Pengulangan Ke-	Frekuensi Sensor QCM dengan Elektroda Perak Murni (Hz)	Frekuensi Sensor QCM dengan Membran Lipid Octadecylamine (Hz)
1	10136147,0193333	9997051,691
2	10008206,6173333	9996782,01937953
3	10008216,9386667	9996070,38730456
4	10008218,005	9996076,54966
5	10008208,78	9996080,91236293
<b>Rata-Rata</b>	<b>10033799,4720667</b>	<b>9996412,3119414</b>

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa frekuensi dasar ( $f_0$ ) sensor QCM dengan elektroda perak murni adalah 10033799,4720667 Hz dan frekuensi dasar ( $f_0$ ) sensor QCM dengan membran lipid Octadecylamine adalah 9996412,3119414 Hz. Hasil data tersebut digunakan sebagai kontrol pada pengujian sensor terhadap sampel.

Data hasil pengujian sensor QCM terhadap sampel MSG dapat diketahui pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Konsentrasi (mM)	Sampel (MSG)	
	Waktu (s)	Frekuensi rata-rata (Hz)
0	5 menit	15780311,1
100		15875294,45
200		15774309,45
300		15611942,17
400		15533519,26
500		15530582,7
600		15459743,56
700		15408731,28
800		15152099,18
900		15064197,08
1000		14916461,82
1100		14663490,27
1200		14441959,31

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa sensor QCM pada elektroda perak murni berinteraksi dengan sampel pada waktu 5 menit. Frekuensi yang diperoleh dari sensor QCM pada elektroda perak murni disetiap penambahan konsentrasi sampel mengalami penurunan. Pada konsentrasi 100-1200 mM (interval 100 mM), frekuensi yang diperoleh mengalami penurunan dari 15875294,45 Hz hingga menjadi 14441959,31 Hz.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Konsentrasi (mM)	Sampel (MSG)	
	Waktu (s)	Frekuensi Rata-Rata (Hz)
0	5 menit	15707052,51
100		15792556,16
200		15618302,28
300		15543761,38
400		15316106,59
500		15231243,43
600		15099471,31
700		14842560,32
800		14687982,83
900		14433837,08
1000		14163696,7
1100		12242021,08
1200		12266163,35
1300		11564341,27
1400		10470455,01
1500		10072229,4

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran berinteraksi dengan sampel pada waktu 5 menit. Frekuensi yang diperoleh dari sensor QCM pada elektroda perak dilapisi membran disetiap penambahan konsentrasi sampel mengalami penurunan. Pada konsentrasi 100-

1500 mM (interval 100 mM), frekuensi yang diperoleh mengalami penurunan dari 15792556,16 Hz menjadi 10072229,4 Hz.

Berdasarkan penjelasan di atas, data hasil pengujian sampel menggunakan sensor QCM kemudian dianalisis karakteristik sensornya menggunakan *software* Microsoft Excel 2013. Karakteristik sensor yang akan dibahas adalah deteksi limit, respon dinamik, dan sensitifitas sensor.

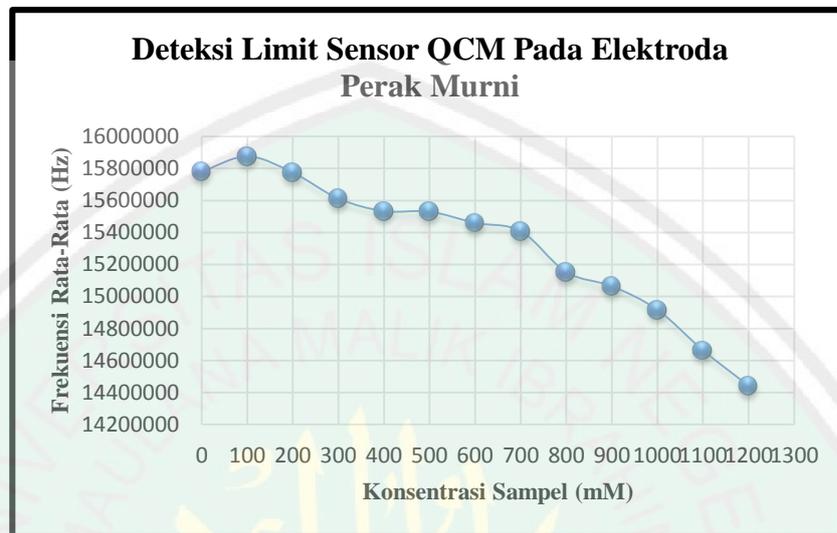
## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak

Deteksi limit adalah batas kemampuan sensor untuk merespon perubahan objek yang dideteksi. Limit atau batas deteksi sensor dibagi menjadi dua yaitu limit bawah dan limit atas sensor. Limit bawah sensor adalah batas minimal sensor mulai merespon perubahan variabel objek yang dideteksi. Limit bawah pada sensor dimulai setelah daerah mati (*dead band*) sensor. Limit atas sensor adalah batas maksimal sensor dalam mendeteksi objek. Limit atas juga disebut sebagai batas ambang sensor sebelum daerah saturasi atau respon sensor menjadi *steady state* (Jazuly, 2016).

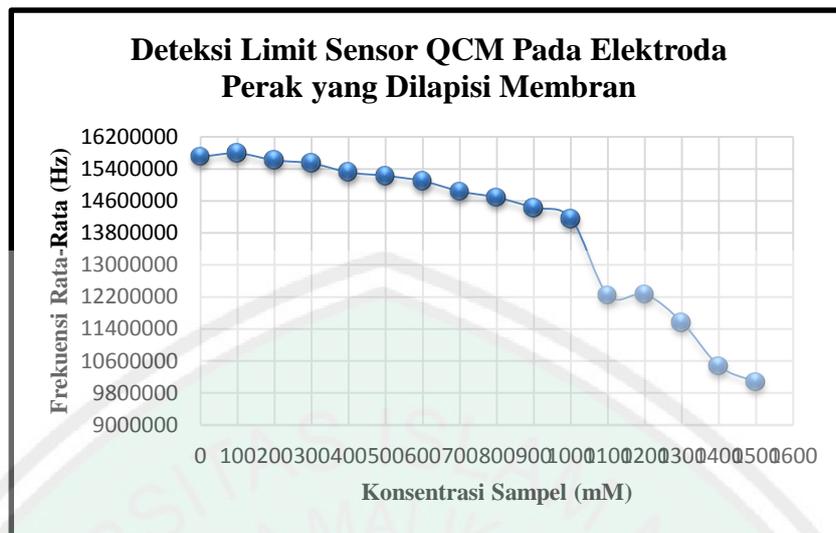
Pada penelitian ini dapat diketahui deteksi limit bawah sensor atau sensor mulai merespon terhadap perubahan konsentrasi. Deteksi limit atas sensor pada penelitian ini tidak dapat diketahui. Hal ini dikarenakan limit atas sensor dapat terjadi pada sampel yang memiliki kepekatan yang tinggi, sedangkan penelitian ini menggunakan sampel dengan konsentrasi yang rendah sehingga kemungkinan munculnya limit atas adalah sangat kecil. Berdasarkan penjelasan

tersebut, deteksi limit sensor QCM yang menggunakan elektroda perak dapat diketahui melalui 4.1 dan gambar 4.2.



Gambar 4.1 Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa deteksi limit sensor QCM pada elektroda perak murni memiliki daerah mati (*dead band*) dan daerah kerja sensor. Daerah mati (*dead band*) sensor QCM berada pada konsentrasi 0-200 mM, hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut frekuensi tidak mengalami penurunan yang berarti, yaitu 15780311,10 sampai 15774309,45 Hz. Daerah kerja sensor QCM berada pada konsentrasi 300-1200 mM, hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut frekuensi mengalami penurunan secara signifikan sebesar 15611942,17 sampai 14441959,31 Hz. Oleh karena itu, Limit bawah sensor QCM pada elektroda perak murni diperoleh pada konsentrasi 300 mM dengan frekuensi sebesar 15611942,17 Hz.



Gambar 4.2 Deteksi Limit Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa deteksi limit sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran (lipid Octadecylamine) memiliki daerah mati (*dead band*) dan daerah kerja sensor. Daerah mati (*dead band*) sensor QCM berada pada konsentrasi 0-600 mM, hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut frekuensi tidak mengalami penurunan yang berarti, yaitu 15707052,51 sampai 15099471,31 Hz. Daerah kerja sensor QCM berada pada konsentrasi 700-1500 mM, hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut frekuensi mengalami penurunan secara signifikan sebesar 14842560,32 sampai 10072229,40 Hz. Oleh karena itu, limit bawah sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran (Lipid Octadecylamine) diperoleh pada konsentrasi 700 mM dengan frekuensi sebesar 14842560,32 Hz.

Berdasarkan penjelasan di atas, diketahui bahwa limit bawah sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran dimulai pada konsentrasi yang lebih besar daripada sensor QCM pada elektroda perak murni. Hal ini

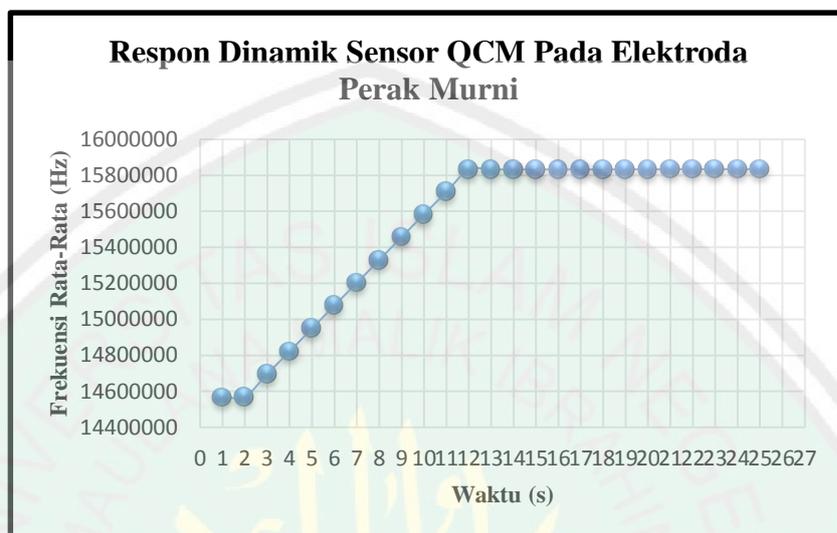
dikarenakan sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran memiliki massa yang lebih besar karena terdapat penambahan massa dari membran lipid Octadecylamine dan menjadi lebih berat untuk berosilasi. Oleh karena itu, ketika dilakukan perubahan konsentrasi sampel uji, frekuensi yang dihasilkan berada pada daerah mati (*dead band*) lebih kecil daripada sensor QCM pada elektroda perak murni. Lapisan membran berpengaruh terhadap penentuan deteksi limit, hal itu dikarenakan sifat selektif sensor pada saat tanpa lapisan akan berbeda jauh dengan sensor yang telah dilapisi membran.

Massa pada sensor QCM elektroda perak yang dilapisi membran lipid Octadecylamine juga mengakibatkan penurunan frekuensi pada daerah kerja sensor lebih besar daripada sensor QCM pada elektroda perak murni. Hal ini sebagaimana dijelaskan pada persamaan 2.1. Persamaan 2.1 menjelaskan bahwa jumlah massa berbanding lurus dengan penurunan frekuensi yang berarti semakin besar massa yang diberikan, maka penurunan frekuensi yang diperoleh semakin besar.

#### **4.2.2 Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak**

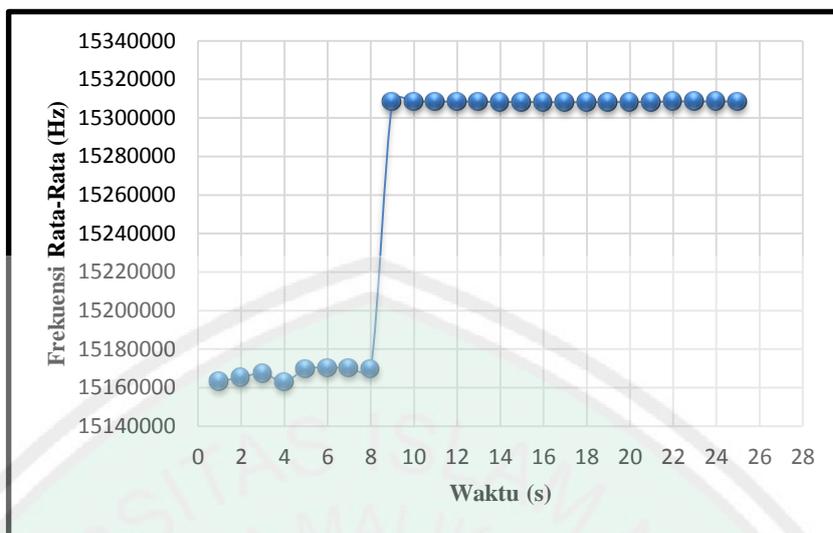
Respon dinamik atau *respon time* adalah waktu yang menunjukkan seberapa cepat tanggapan sensor terhadap perubahan *input*. Sensor yang bagus adalah sensor yang memiliki waktu tanggap yang kecil. Semakin kecil respon dinamik yang dimiliki oleh sensor, maka semakin baik kualitas sensor tersebut (Jazuly, 2016). Respon dinamik sensor diambil ketika sampel pada konsentrasi 100 mM mulai diujikan. Nilai respon dinamik ditentukan sebelum *output* sensor

berada dalam keadaan stabil (*steady state*) sebagaimana diketahui melalui gambar 4.3 dan gambar 4.4.



Gambar 4.3 Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak murni dimulai pada waktu 1 s dengan frekuensi 14566577 Hz. Pada waktu 2 s, respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak murni memiliki frekuensi yang hampir sama yaitu 14570262 Hz. Pada waktu 3-12 s, respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak murni mulai mengalami peningkatan yang signifikan dengan frekuensi sebesar 14696720-15832803 Hz. Pada waktu 12 s hingga batas waktu pengujian, frekuensi yang diperoleh memiliki nilai yang hampir sama atau sensor dalam keadaan stabil (*steady state*). Hal ini menunjukkan bahwa sensor QCM pada elektroda perak murni dapat dikatakan sensitif karena memiliki respon dinamik yang cepat yaitu 12 s.



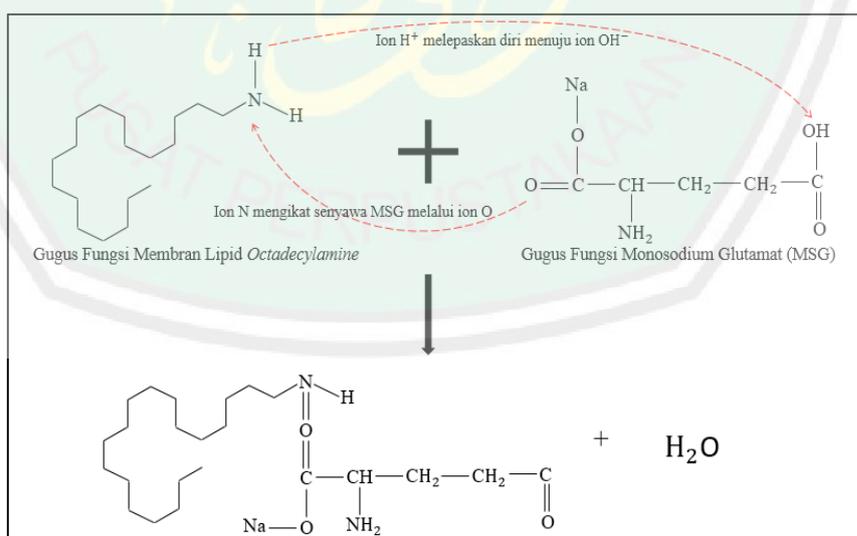
Gambar 4.4 Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran (lipid Octadecylamine) dimulai pada waktu 1 s dengan frekuensi 15163180 Hz. Pada waktu 2-8 s, sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran memiliki nilai respon dinamik yang hampir sama dengan frekuensi 15165323-15169797 Hz. Pada waktu 8-9 s, respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran mulai mengalami peningkatan yang signifikan dengan frekuensi 15169797-15308525 Hz. Pada waktu 9 s hingga batas waktu pengujian, frekuensi yang diperoleh memiliki nilai yang hampir sama atau sensor dalam keadaan stabil (*steady state*). Hal ini menunjukkan bahwa sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran dapat dikatakan sensitif karena memiliki respon dinamik yang cepat yaitu 9 s.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa respon dinamik sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran mengalami *steady*

*state* yang lebih cepat daripada sensor QCM pada elektroda perak murni, yang berarti sampel memiliki tanggapan sensor yang cepat terhadap perubahan *input*. Hal ini dikarenakan sampel MSG mengubah potensial listrik dari membran yang disebabkan adanya interaksi MSG dengan membran lipid (Oohira, 1995). Apabila sampel dengan fase cair diujikan pada sensor yang telah dilapisi membran lipid, maka sampel akan bereaksi dengan ion negatif hidrofilik lipid. Reaksi antara ion positif sampel dan ion negatif membran lipid akan mempengaruhi lapisan ganda listrik pada permukaan membran dengan pemisahan gugus asam ( $H^+$ ) dari molekul membran lipid dan unsur nitrogen (N) di dalam membran yang menyebabkan terjadinya adsorpsi sampel MSG ke dalam membran (Oohira, 1995).

Proses pemisahan gugus asam dan adsorpsi unsur N terhadap sampel MSG dapat diketahui sebagaimana gambar 4.5.



Gambar 4.5 Reaksi Kimia Membran Lipid Octadecylamine dan Monosodium Glutamat (MSG)

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa adanya pemisahan gugus asam ( $H^+$ ) pada membran lipid menuju gugus basa ( $OH^-$ ) pada MSG yang menjadi senyawa air ( $H_2O$ ) dan adsorpsi (pengikatan) gugus nitrogen (N) terhadap senyawa MSG yang menjadi senyawa baru seperti struktur pada gambar. Adsorpsi (pengikatan) gugus nitrogen (N) terhadap senyawa MSG terjadi melalui gugus oksigen (O) yang berdekatan dengan gugus natrium (Na). Hal ini dikarenakan pasangan elektron bebas (PEB) gugus O yang berdekatan dengan Na lebih lemah (tidak stabil) daripada PEB gugus O yang berdekatan dengan OH. Ketidakstabilan gugus O dikarenakan gugus Na memiliki gaya tarik lebih besar daripada gugus OH yang disebabkan gugus Na memiliki ukuran molekul lebih besar daripada gugus OH ( $Na > OH$ ).

Berdasarkan penjelasan di atas, reaksi kimia tersebut menghasilkan produk senyawa baru seperti struktur pada gambar 4.5 dan senyawa air ( $H_2O$ ) yang disebabkan adanya pemisahan gugus asam ( $H^+$ ) dari molekul membran lipid dan adsorpsi (pengikatan) gugus nitrogen (N) terhadap senyawa MSG. Pemisahan gugus asam dan adsorpsi tersebut menimbulkan adanya perubahan potensial membran ( $\Delta V_m$ ) (Oohira, 1995). Perubahan potensial membran yang terjadi mengakibatkan terjadinya potensial listrik sehingga sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran Octadecylamine mengalami respon dinamik sensor yang lebih cepat.

### 4.2.3 Sensitifitas Sensor QCM Pada Elektroda Perak

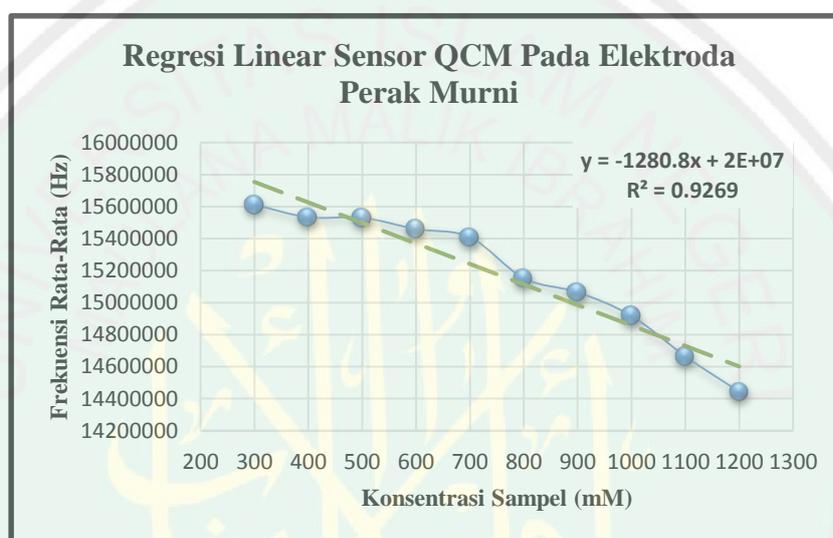
Sensitifitas sensor adalah kepekaan sensor dalam menanggapi suatu masukan. Penentuan sensitifitas sensor dilakukan dengan menganalisis daerah kerja sensor. Daerah kerja sensor telah ditentukan pada deteksi limit sensor. Sensitifitas sensor dapat diketahui dengan melakukan analisis regresi linear pada daerah kerja sensor. Nilai sensitifitas sensor yaitu nilai kemiringan kurva daerah kerja pada sensor (Jazuly, 2016).

Penentuan sensitifitas sensor menggunakan analisis regresi linear ditunjukkan dengan fungsi transfer hubungan linear pada daerah kerja sensor. Adapun hubungan linear kurva ditunjukkan dengan persamaan 4.2 sebagai berikut.

$$y = ax + b \quad (4.2)$$

$y$  adalah nilai *output* sensor yang pada penelitian ini berupa frekuensi osilasi sensor.  $a$  adalah nilai kemiringan suatu garis lurus atau sensitifitas. Nilai  $a$  biasa disebut sebagai *slope* pada analisis regresi linear. Variabel  $x$  pada persamaan tersebut adalah nilai masukan sensor (*input*) yang pada penelitian ini berupa variasi konsentrasi larutan sampel.  $b$  adalah nilai frekuensi osilasi (*output*) sensor ketika *input* (sampel uji) bernilai nol.  $b$  biasa disebut *intercept* (gelinciran) pada analisis regresi linear. Analisis regresi linear juga menunjukkan nilai koefisien determinasi atau biasa disimbolkan dengan  $R^2$ . Nilai  $R^2$  menunjukkan seberapa besar pengaruh variasi sampel terhadap *output* sensor. Sampel uji dikatakan mempunyai pengaruh yang baik apabila nilai  $R^2$  mendekati 1.

Data hasil pengujian sampel sensor QCM pada elektroda perak murni yang memiliki daerah kerja sensor pada konsentrasi 300-1200 mM dengan frekuensi sebesar 15611942,17 sampai 14441959,31 Hz dilakukan plot grafik. Plot grafik berfungsi untuk menentukan nilai kemiringan kurva melalui regresi linear sebagaimana gambar 4.6.



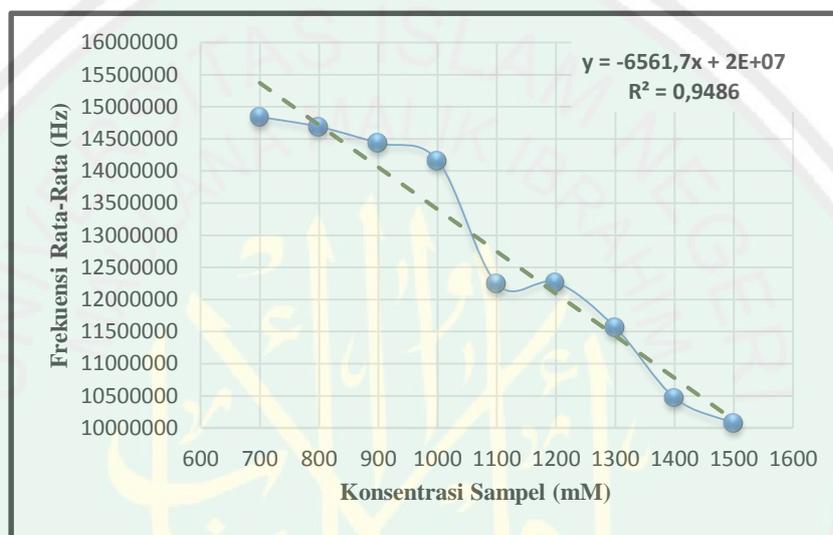
Gambar 4.6 Regresi Linear Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa frekuensi mengalami penurunan secara linear sebagaimana persamaan:

$$y = -1280,8x + 2E + 07 \quad (4.3)$$

$y$  adalah frekuensi rata-rata (Hz),  $x$  adalah konsentrasi sampel (mM),  $a$  sebesar 1280,8 dan  $b$  sebesar  $2 \times 10^7$ . Regresi linear yang diperoleh adalah 0,9269. Berdasarkan persamaan 4.3, diketahui bahwa sensitifitas sensor QCM pada elektroda perak murni sebesar 1280,8 Hz/mM dan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 92,69%.

Data hasil pengujian sampel sensor QCM pada elektroda perak dilapisi membran yang memiliki daerah kerja sensor pada konsentrasi 700-1500 mM dengan frekuensi sebesar 14842560,32 sampai 10072229,40 Hz dilakukan plot grafik. Plot grafik berfungsi untuk menentukan nilai kemiringan kurva melalui regresi linear sebagaimana gambar 4.7.



Gambar 4.7 Regresi Linear Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa frekuensi mengalami penurunan secara linear sebagaimana persamaan:

$$y = -6561,7x + 2E + 07 \quad (4.4)$$

$y$  adalah frekuensi rata-rata (Hz),  $x$  adalah konsentrasi sampel (mM),  $a$  sebesar 6561,7 dan  $b$  sebesar  $2 \times 10^7$ . Regresi linear yang diperoleh adalah 0,9486. Berdasarkan persamaan 4.4, diketahui bahwa sensitifitas sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran adalah 6561,7 Hz/mM dan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 94,86%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran lipid Octadecylamine memiliki nilai sensitifitas yang lebih tinggi daripada sensor QCM pada elektroda perak murni. Sensitifitas sensor dapat diketahui melalui perubahan densitas muatan listrik dalam membran yang menyebabkan pergeseran pada membran (Ikezaki dkk, 1999).

MSG mengalami adsorpsi pada daerah konsentrasi tinggi 10% sehingga menginduksi pergeseran -10 mV dalam potensial membran dengan perubahan yang cukup signifikan sehingga nilai relatif menjadi -10 mV. Pada daerah konsentrasi menengah, terdapat sedikit perubahan dalam densitas muatan listrik yang ditunjukkan oleh panah ungu B, hal ini dapat dengan mudah menginduksi pergeseran -10 mV dalam potensial membran. Daerah konsentrasi menengah ini, sampel MSG memiliki sensitifitas yang tinggi dikarenakan terjadi perubahan nilai relatif yang besar, yaitu -40 mV (Ikezaki dkk, 1999).

Berdasarkan penjelasan di atas, sampel MSG yang dilapisi membran lipid Octadecylamine mengalami adsorpsi terhadap pergeseran potensial membran yang berupa perubahan nilai relatif (mV) sehingga menyebabkan perubahan densitas muatan listrik. Perubahan densitas muatan listrik menimbulkan kenaikan potensial membran yang mengakibatkan sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran memiliki sensitifitas yang tinggi.

### **4.3 Kajian Karakteristik Sensor dalam Al-Quran Dan Hadist**

Al-Quran dan hadist merupakan landasan dan pedoman bagi kehidupan umat manusia. Keistimewaan al-Quran salah satunya adalah seluruh informasi yang ada di alam semesta dijelaskan di dalamnya. Sedangkan hadist berfungsi

sebagai penguatnya. Salah satu penjelasannya yaitu mengenai larangan berlebih-lebihan dalam hal makanan dan minuman, sebagaimana dijelaskan dalam hadits riwayat Imam Nasa'i:

عَنْ عَمْرِو بْنِ شُعَيْبٍ عَنْ أَبِيهِ عَنْ جَدِّهِ قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ كُلُوا وَتَصَدَّقُوا وَالْبَسُوا فِي غَيْرِ إِسْرَافٍ

“Keterangan dari umar bin syuaib keterangan dari ayahnya keterangan dari kakeknya bahwa rasulullah SAW telah bersabda: makanlah, bersedekahlah, dan berpakaianlah tetapi jangan berlebih-lebihan” (HR Imam nasa’i).

Lafadz “إِسْرَافٍ” yang berarti berlebih-lebihan dikaitkan dengan lafadz “كُلُوا”, “تَصَدَّقُوا”, dan “الْبَسُوا” hal ini menunjukkan bahwa Allah SWT melarang kepada semua umat Islam untuk tidak berlebih-lebihan dalam hal apapun, terlebih lagi dalam hal mengkonsumsi makanan. Hal ini dikarenakan dapat menimbulkan berbagai macam penyakit baik jasmani maupun rohani (Bahraen, 2018). Banyak peneliti yang telah meneliti tentang efek dari suatu makanan bagi manusia. Beberapa referensi dari penelitian tersebut menjelaskan bahwa adanya efek yang ditimbulkan akibat mengkonsumsi bahan makanan MSG secara berlebihan pada organ tubuh antara lain: gangguan otak, ovarium, testis, hepar dan ginjal. Mengkonsumsi MSG dalam waktu lama dapat mengakibatkan ketidakseimbangan antara antioksidan dan *reactif oxygen species* (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif (Sharma dkk., 2015). Bahan makanan yang mengandung MSG ini ditetapkan oleh World Health Organization dengan kadar penggunaan maksimal 120 mg/kg<sup>3</sup> per hari pada manusia (Widyalyta dkk., 2014). Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknologi untuk mendeteksi rasa umami pada MSG yang dikonsumsi, sebagaimana dijelaskan dalam al-Quran surah al-Jatsiyah (45) : 13:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ  
لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١٣﴾

*”Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir” (Q.S al-Jatsiyah (45): 13).*

Quraish Shihab menjelaskan bahwa lafadz “يَتَفَكَّرُونَ” menunjukkan bahwa manusia diperintahkan untuk berfikir dan memanfaatkan segala hal yang ada di langit dan di bumi karena semua itu merupakan rahmat dari Allah (Shihab, 1996).

Pemanfaatan alam semesta dapat dilakukan dengan pengembangan teknologi yang bertujuan untuk kesejahteraan manusia. Salah satu pengembangan teknologi adalah sensor.

Sensor adalah bagian dari transduser yang berfungsi untuk melakukan *sensing* atau merasakan dan menangkap adanya perubahan energi eksternal yang masuk ke bagian input dari transduser. Sensor sering diartikan sebagai suatu perangkat yang dapat menerima serta merespon suatu sinyal ataupun stimulus. Selain itu, sensor juga diartikan sebagai suatu alat yang dapat merubah besaran fisika menjadi besaran listrik (Fraden 2003; Oktariawan. dkk. 2013). Sensor memiliki berbagai jenis, salah satunya adalah sensor QCM. Sensor QCM merupakan sensor rasa yang dapat mendeteksi kadar maksimal penggunaan MSG. Adapun karakterisasi sensor yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu respon dinamik sensor, deteksi limit sensor dan sensitifitas sensor.

Respon dinamik sensor ditentukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sensor untuk dapat mendeteksi perubahan sampel. Deteksi limit

ditentukan untuk mengetahui batas awal sensor dapat merespon dan batas ambang sensor sebelum keadaan saturasi. Sensitifitas adalah nilai keluaran sensor setiap perubahan masukan. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengetahui kualitas sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap jenis sensor dan setiap jenis sampel uji memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Hal tersebut dikarenakan setiap jenis sensor dan sampel memiliki ciri dan ukuran masing-masing seperti dijelaskan dalam al-Quran surah ar-Ra'd (13): 8:

اللَّهُ يَعْلَمُ مَا تَحْمِلُ كُلُّ أُنْثَىٰ وَمَا تَغِيضُ الْأَرْحَامُ وَمَا تَزْدَادُ وَكُلُّ شَيْءٍ عِنْدَهُ بِمِقْدَارٍ ﴿٨﴾

*“Allah mengetahui apa yang dikandung oleh setiap perempuan, dan kandungan rahim yang kurang sempurna dan yang bertambah. Dan segala sesuatu pada sisi-Nya ada ukurannya” (Q.S ar-Ra'd (13): 8)*

Quraish Shihab menjelaskan bahwa kalimat “وَكُلُّ شَيْءٍ عِنْدَهُ بِمِقْدَارٍ” menunjukkan bahwa segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah untuk manusia memiliki ciri dan ukurannya masing-masing (Shihab, 1996). Oleh karena itu karakteristik sensor yang didapatkan memiliki ciri dan ukuran yang berbeda-beda untuk setiap sensor dan sampel yang diujikan. Hasil dari penelitian tentang sensor QCM dapat menjadi hikmah atau pelajaran bahwa segala sesuatu memiliki karakteristiknya masing-masing. Karakteristik tersebut dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia. Terciptanya teknologi sensor QCM tentunya dapat memudahkan aktivitas manusia.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan tujuan di atas, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Deteksi Limit sensor QCM pada elektroda perak murni dimulai pada konsentrasi 300 mM dengan frekuensi 15611942,17 Hz. Deteksi limit sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran dimulai pada konsentrasi 700 mM dengan frekuensi 14842560,32 Hz.
2. Respon dinamik yang menunjukkan waktu *steady state* pada sensor QCM elektroda perak murni adalah 12 s. Respon dinamik yang menunjukkan waktu *steady state* pada sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran adalah 9 s.
3. Nilai sensitifitas sensor QCM pada elektroda perak murni adalah 1280,8 Hz/mM. Nilai sensitifitas sensor QCM pada elektroda perak yang dilapisi membran adalah 6561,7 Hz/mM.

### **5.2 Saran**

Hal yang harus dilakukan dalam menunjang perkembangan dan kemajuan penelitian ini adalah:

1. Menggunakan sampel yang berbeda agar diketahui perbandingan sensitifitas sensor QCM
2. Besar arus yang digunakan harus stabil agar osilasi dari resonator tidak terganggu
3. Menggunakan jenis membran yang berbeda dalam pengujiannya agar diketahui perbandingan respon pada sensor QCM

## DAFTAR PUSTAKA

- Afniza. (2008). *Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52*. Universitas Sumatera Utara.
- Ali, S. B., Ghatak, B., Gupta, S. D., Debabhuti, N., Chakraborty, P., Sharma, P., ... Bandyopadhyay, R. (2016). Detection of 3-Carene in mango using a quartz crystal microbalance sensor. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 230, 791–800. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.005>
- Al-Quran. 2009. *Al-Quran dan Terjemahnya*. Jakarta: Departemen Agama RI.
- Bachri, A. (2013). Simulasi Karakteristik Inverter IC 555. *Jurnal Teknik*, 5(1), 430–434.
- Bahraen, dr. Raeharul. 2018. *Makan Berlebihan Sumber Utama Penyakit. Kesehatan Islami*. <https://muslim.or.id/35855-makan-berlebihan-sumber-utama-penyakit.html>.
- Bearzotti, A., Macagnano, A., Papa, P., Venditti, I., & Zampetti, E. (2017). A study of a QCM sensor based on pentacene for the detection of BTX vapors in air. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 240, 1160–1164. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.097>
- Day, R. ., & Underwood, A. . (2002). *Quantitative Chemical Analysis* (3rd ed.). Jakarta: Erlangga.
- Ermawaty, Imas Ratna. 2010. *Pembuktian Persamaan Teoritik dengan Menggunakan Osiloskop pada Osilator Relaksasi dengan Rangkaian OP-AMP*. *Jurnal Lemlit UHAMKA*, 2(1), 37-45.
- Fraden, J. (2003). *HANDBOOK OF MODERN SENSORS, Physics, Design and Applications, Third Edition*. San Diego, California: AIP Press.
- Fraden, J. (2013). *Handbook of Modern Sensors. Journal of Chemical Information and Modeling* (3rd ed., Vol. 53). San Diego: Advanced Monitors Corporation. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fuada, S. (2013). Analisis Oscilator Astable Multivibrator IC 741UA menggunakan Pendekatan Matlab dan Software Elektronik. *Prosiding SENTIA*, 5.
- Fuada, S. (2014). Pengujian Trainer Oscilator Wien Bridge (Jembatan Wien) dengan Menggunakan Osiloskop dan Frekuensi Counter. *Prosiding SENTIA*,

6, 32–36.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Medical Physiology*. (W. Schmitt & R. Gruliow, Eds.), *Textbook of Medical Physiology* (11th ed.). Philadelphia: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1136/pgmj.51.599.683-c>

Halpern, B. P. (2002). What's in a name? Are MSG and umami the same? *Chemical Senses*, 27(9), 845–846. <https://doi.org/10.1093/chemse/27.9.845>

Ikezaki, H., et al. (1999). *Techniques to control sensitivity and selectivity of multichannel taste sensor using lipid membranes*. In Proceedings of the 10th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Sendai, Japan: pp. 1634–1637. <https://www.researchgate.net/publication/292393501>.

Jazuly, A. T. Al. (2016). *Pengujian Karakteristik dari 16 Array Sensor Lidah Elektronika untuk Identifikasi Empa Rasa Dasar*. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Kadidae, L. O., Siswanta, D., & Mudasir. (2001). Sintesis Benzileugenol dan Pemanfaatannya sebagai Komponen Membran Elektroda Selektif Ion. *Teknosains*, 14(2).

Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., & Toko, K. (2010). Advanced Taste Sensors Based on Artificial Lipids with Global Selectivity to Basic Taste Qualities and High Correlation to Sensory Scores. *Sensors*, 10(4), 3411–3443. <https://doi.org/10.3390/s100403411>

Kurniawan, F. (2009). Implementasi Mikrokontroler sebagai Pencacah Frekuensi Berbasis Pengukuran Periode Isyarat Masukan. *Jurnal TELKOMNIKA*, 7(1), 57–64.

Lewis, R. J. (2009). Octadecylamine. *Chemical Physics*, 136(793), 0–2.

Majchrzak, D., Lahm, B., & Dürschmid, K. (2010). Conventional and probiotic yogurts differ in sensory properties but not in consumers' preferences. *Journal of Sensory Studies*, 25(3), 431–446. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2009.00269.x>

Malvino, A. P. (1982). *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika* (2nd ed., Vol. 1). Jakarta: Erlangga.

Oktariawan, I., Sugiyanto, M., & Fema, J. (2013). Pembuatan Sistem Otomasi Dispenser Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Fema*, 1(April), 18–24.

Oohira, K., et al. (1995). *Electric characteristics of hybrid polymer membranes composed of two lipid species*. *J. Phys. Soc. Jpn.* 64: 2554-3561.

<https://journal.jps.jp/doi/abs/10.1143/JPSJ.64.355>

- Pinasti, A. A., & Maya, T. A. (2014). *MAKALAH IPTEK MUTHAKIR GIZI & KESEHATAN* "Pro & Kontra MSG." Stikes Karya Husada Kediri.
- Rahayu, W. P., Hariyadi, R. D., Kartasasmita, E., & Hudiyo, S. (2012). *Pedoman kriteria cemaran pada pangan siap saji dan pangan industri rumah tangga*. Jakarta: Direktorat Standardisasi Produk Pangan, Deputi Bidang Pengawasan Keamanan Pangan dan Bahan Berbahaya, Badan Pengawas Obat dan Makanan RI.
- Sharma, P., Ghosh, A., Tudu, B., Prasad, L., Tamuly, P., Bhattacharyya, N., ... Chatterjee, A. (2014). Sensors and Actuators B: Chemical Detection of linalool in black tea using a quartz crystal microbalance sensor. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, *190*, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.08.088>
- Sharma, P., Ghosh, A., Tudu, B., Sabhapondit, S., Devi, B., Tamuly, P., ... Bandyopadhyay, R. (2015). Sensors and Actuators B: Chemical Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, *219*, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.05.013>
- Shihab, M. Q. 1996. *Wawasan Al-Quran* (1st ed.). Bandung: Penerbit Mizan Pustaka.
- Speller, N. C., Siraj, N., McCarter, K. S., Vaughan, S., & Warner, I. M. (2017). QCM virtual sensor array: Vapor identification and molecular weight approximation. *Sensors and Actuators B*, *246*, 952–960. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.02.042>
- Suryani. (2002). *Penentuan Lipid dalam Khamir Rhodotolura dari Taman Nasional Gunung Halimun*. Universitas Indonesia.
- Suryanto. (2007). Karakterisasi Elektroda Referensi. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, 1*, 35–44.
- Toko, K. (1998). Electronic Sensing of Tastes. *Electroanalysis*, *10*(10), 657–669. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4109\(199808\)10:10<657::AID-ELAN657>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4109(199808)10:10<657::AID-ELAN657>3.0.CO;2-F)
- Wasilah, F. W. (2016). *Pengaruh Pemberian MSG (Monosodium Glutamat) terhadap Kadar Ureum dan Kreatinin Serum (Fungsi Ginjal) pada Tikus Betina Sprague dawley Usia 8-12 Minggu*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Wenten, I. G. (2002). Teknologi Membran dalam Pengolahan Air dan Limbah Industri. *Teknologi Kimia*, 1.

Wibowo, B. S., Tazi, I., & Triyana, K. (2013). Pengembangan Sistem Sensor Rasa Berbasis Membran Selektif Ion Untuk Klasifikasi Buah Jeruk. *Jurnal Fisika Indonesia*, XVII(April), 9–13.

Widyalita, E., Sirajuddin, S., & Zakaria. (2014). Analisis Kandungan Monosodium Glutamat (MSG) pada Pangan Jajanan Anak di SD Komp. Lariangbangi Makassar. *Jurnal Ilmu Gizi*, 1(1), 1–8.





# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1

Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Konsentra si Sampel (mM)	Frekuensi Rata-Rata (Hz) pada Percobaan ke-					Frekuensi Rata-Rata (Hz)
	1	2	3	4	5	
0	1579447 7.87	15778541 .50	1578167 0.42	1577437 2.73	1577249 2.97	15780311.10
100	1578003 5.54	15903325 .53	1589544 8.97	1589855 1.65	1589911 0.56	15875294.45
200	1578405 5.77	15772515 .77	1576534 0.8	1577543 0.78	1577420 4.11	15774309.45
300	1561764 8.16	15624884 .88	1562157 1.41	1559928 4.19	1559632 2.2	15611942.17
400	1553459 6.37	15542158 .55	1553413 0.72	1553201 6.9	1552469 3.73	15533519.26
500	1578677 1.02	15505291 .94	1548302 4.55	1544323 2.42	1543459 3.57	15530582.7
600	1545856 8.3	15468348 .86	1546216 4.9	1545833 6.21	1545129 9.52	15459743.56
700	1544814 5.98	15426646 .53	1541784 3.17	1539287 7.67	1535814 3.05	15408731.28
800	1523302 5.47	15177203 .78	1514479 2.99	1511899 4.64	1508647 9.01	15152099.18
900	1508537 8.63	15088844 .29	1507473 5.32	1504461 9.49	1502740 7.66	15064197.08
1000	1507120 1.21	14972606 .19	1491846 6.65	1477311 1.74	1484692 3.3	14916461.82
1100	1471720 9.54	14640265 .45	1440710 1.97	1435159 4.53	1520127 9.88	14663490.27
1200	1468948 3.09	14602335 .84	1441407 9.75	1424938 0.48	1425451 7.39	14441959.31

## LAMPIRAN 2

Data Hasil Pengujian Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Konsentra si Sampel (mM)	Frekuensi Rata-Rata (Hz) pada Percobaan ke-					Frekuensi Rata-Rata (Hz)
	1	2	3	4	5	
0	1575573 0.52	15667886 .28	1569475 5.68	1570577 9.02	1571111 1.03	15707052.51
100	1578183 1.26	15801912 .15	1580384 3.36	1575915 0.71	1581604 3.31	15792556.16
200	1553428 1.44	15611915 .55	1559899 8.58	1567542 6.81	1567088 9.02	15618302.28
300	1562393 1.32	15598510 .10	1563166 5.21	1567387 2.58	1519082 7.71	15543761.38
400	1512485 0.0	15456556 .21	1521634 9.85	1561928 0.45	1516349 6.45	15316106.59
500	1514606 9.93	15113728 .99	1530161 9.45	1533937 0.31	1525542 8.44	15231243.43
600	1512624 4.37	14731584 .85	1517240 9.97	1484873 0.62	1561838 6.72	15099471.31
700	1484212 2.76	14841586 .95	1484330 5.60	1484233 7.10	1484344 9.18	14842560.32
800	1473531 3.12	14734348 .88	1467687 9.98	1455840 5.87	1473496 6.30	14687982.83
900	1443566 2.71	14434789 .71	1443145 7.80	1443340 5.32	1443386 9.89	14433837.08
1000	1416312 1.30	14163812 .03	1416369 5.39	1416394 2.07	1416391 2.73	14163696.70
1100	1224819 8.52	12248157 .82	1223964 8.82	1223825 3.88	1223584 6.38	12242021.08
1200	1226579 7.62	12266526 .70	1226610 5.93	1226499 1.44	1226739 5.07	12266163.35
1300	1156469 5.10	11563112 .46	1156470 0.00	1156396 3.60	1156523 5.20	11564341.27
1400	1046992 1.12	10471666 .22	1046984 1.61	1047053 1.93	1047031 4.20	10470455.01
1500	1007099 5.30	10071847 .76	1007297 3.85	1007342 0.99	1007190 9.11	10072229.40

### LAMPIRAN 3

Data Hasil Uji Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak Murni

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	14566577
2	14570262
3	14696720
4	14822343
5	14949891
6	15077450
7	15203002
8	15330334
9	15458119
10	15583917
11	15708900
12	15832803
13	15833001
14	15833045
15	15833045
16	15833045
17	15833045
18	15833172
19	15833578
20	15834004
21	15834209
22	15834294
23	15834402
24	15834518
25	15834727

#### LAMPIRAN 4

Data Hasil Uji Respon Dinamik Sensor QCM Pada Elektroda Perak yang Dilapisi Membran (Lipid Octadecylamine)

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	15163180
2	15165324
3	15167395
4	15163010
5	15169796
6	15170249
7	15170249
8	15169796
9	15308525
10	15308525
11	15308525
12	15308497
13	15308450
14	15308319
15	15308309
16	15308206
17	15308192
18	15308192
19	15308206
20	15308306
21	15308358
22	15308568
23	15308568
24	15308568
25	15308559

## LAMPIRAN 5

Perhitungan Massa Monosodium glutamat (MSG) (Mr MSG: 169 dan V Aquades: 10 ml)

1 Konsentrasi: 0,1 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,1 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{169}{1000}$$
$$m = 0,169 \text{ gram}$$

2 Konsentrasi: 0,2 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,2 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{338}{1000}$$
$$m = 0,338 \text{ gram}$$

3 Konsentrasi: 0,3 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,3 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{507}{1000}$$
$$m = 0,507 \text{ gram}$$

4 Konsentrasi: 0,4 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,4 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{676}{1000}$$
$$m = 0,676 \text{ gram}$$

5 Konsentrasi: 0,5 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,5 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{845}{1000}$$
$$m = 0,845 \text{ gram}$$

6 Konsentrasi: 0,6 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,6 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1014}{1000}$$
$$m = 1,014 \text{ gram}$$

7 Konsentrasi: 0,7 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,7 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1183}{1000}$$
$$m = 1,183 \text{ gram}$$

8 Konsentrasi: 0,8 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,8 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1352}{1000}$$
$$m = 1,352 \text{ gram}$$

9 Konsentrasi: 0,9 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{0,9 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1521}{1000}$$
$$m = 1,521 \text{ gram}$$

10 Konsentrasi: 1 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1690}{1000}$$
$$m = 1,69 \text{ gram}$$

11 Konsentrasi: 1,1 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1,1 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{1859}{1000}$$
$$m = 1,859 \text{ gram}$$

12 Konsentrasi: 1,2 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1,2 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{2028}{1000}$$
$$m = 2,028 \text{ gram}$$

13 Konsentrasi: 1,3 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1,3 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{2197}{1000}$$
$$m = 2,197 \text{ gram}$$

14 Konsentrasi: 1,4 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1,4 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{2366}{1000}$$
$$m = 2,366 \text{ gram}$$

15 Konsentrasi: 1,1 M

$$m = \frac{M \times Mr \times V}{1000}$$
$$m = \frac{1,1 \times 169 \times 10}{1000}$$
$$m = \frac{2535}{1000}$$
$$m = 2,535 \text{ gram}$$

## LAMPIRAN 6

Gambar Alat dan Bahan Penelitian



Gambar Sensor QCM yang Menggunakan Elektroda Perak



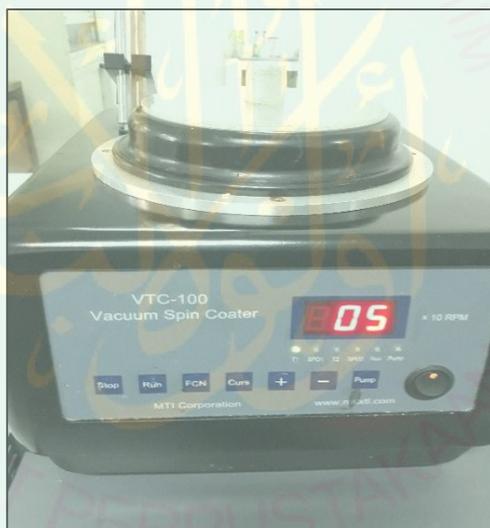
Gambar Sensor QCM yang Menggunakan Elektroda Perak dengan Pelapis Membran *Lipid* Octadecylamine



Gambar OpenQCM



Gambar Software openQCM 1.2



Gambar Vacuum Spin Coater Tipe VTC-100



Gambar Membran Lipid Octadecylamine



Gambar Timbangan Analitik



Gambar Beaker Glass



Gambar *Micropipet*



### BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Chaidar Ahmad  
NIM : 13640014  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Octadecylamine pada Elektroda Perak terhadap Respon Monosodium Glutamat  
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M.Si  
Pembimbing II : Umayyatus Syarifah, M. A

No	Tanggal	Perihal	Tanda Tangan
1	22-03-2018	Konsultasi Bab I, II, III	
2	12-04-2018	Konsultasi Bab I, II, III, dan ACC	
3	09-08-2018	Konsultasi Data dan Pengolahan Data	
4	06-09-2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan IV	
5	20-09-2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I, IV, dan ACC	
6	21-09-2018	Konsultasi Bab IV dan V	
7	19-10-2018	Konsultasi Bab IV, V, dan ACC	
8	26-10-2018	Konsultasi Abstrak	
9	02-11-2018	Konsultasi Abstrak dan ACC	
10	02-11-2018	ACC Keseluruhan	

Malang, 20 November 2018  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003