

**KARAKTERISASI SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE*
(QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN LIPID OLEYL
ALKOHOL TERHADAP RESPON HCl DAN NaCl**

SKRIPSI

Oleh:

AULIYA RAHMATUL UMMAH

NIM. 14640029



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

**KARAKTERISASI SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE*
(QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN LIPID OLEYL
ALKOHOL TERHADAP RESPON HCl DAN NaCl**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
AULIYA RAHMATUL UMMAH
NIM. 14640029**

**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 OLEYL
ALKOHOL TERHADAP RESPON HCl DAN NaCl**

SKRIPSI

Oleh:
Auliya Rahmatul Ummah
NIM. 14640029

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada Tanggal : 2018

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

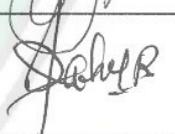
HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISASI SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN LIPID OLEYL ALKOHOL TERHADAP RESPON HCl DAN NaCl

SKRIPSI

Oleh:
Auliya Rahmatul Ummah
NIM. 14640029

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 26 September 2018

Penguji Utama	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Ketua Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji	: <u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Auliya Rahmatul Ummah
NIM : 14640029
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Oleyl Alkohol terhadap Respon HCl dan NaCl

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 5 September 2018
Yang Membuat Pernyataan



Auliya Rahmatul Ummah
NIM. 14640029

MOTTO

من جدّ وجد

من صبر ظفر

من سار على الدرب وصل

If you can't do great things, do small things in a great way – Napoleon Hill.



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini ku persembahkan untuk,

1. Bapakku Rohmadi, S.Pd.I dan ibuku Sukatri, S.Pd.I yang telah memberikan segalanya untukku.
2. Adikku Muhammad Sirril Wafa.
3. Keluarga besar Bani Masram dan Bani H. Sa'idi.
4. Para pembaca yang haus akan ilmu pengetahuan dan teknologi.



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 Oleyl Alkohol terhadap Respon HCl dan NaCl”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang islamiyah, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Selanjutnya penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku dosen pembimbing Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Bapak Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku dosen pembimbing integrasi sains dan islam Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T selaku Dosen Wali.
7. Segenap laboran dan staff Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Kedua orang tua, adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
9. Ainur Rizza, Arum Sinda Santika dan Edward Steven Sembiring yang selalu ada dalam keadaan apapun.
10. Segenap anggota *sensor team* UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penelitian dan skripsi ini baik dari segi ide, tenaga dan waktu.

11. Teman-teman fisika instrumentasi dan komputasi yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
12. Sahabat-sahabat fisika 2014 yang penulis banggakan dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan Dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 3 September 2018

Penulis



DAFTAR ISI

COVER			i
HALAMAN JUDUL			ii
HALAMAN		PERSETUJUAN	Err
or! Bookmark not defined.			
HALAMAN		PENGESAHAN	Err
or! Bookmark not defined.			
PERNYATAAN	KEASLIAN	TULISAN	Err
or! Bookmark not defined.			
MOTTO			vi
HALAMAN PERSEMBAHAN			vii
KATA PENGANTAR			viii
DAFTAR ISI			x
DAFTAR GAMBAR			xii
DAFTAR TABEL			xiii
DAFTAR LAMPIRAN			xiv
ABSTRAK			xv
BAB I PENDAHULUAN			1
1.1 Latar Belakang			1
1.2 Rumusan Masalah			5
1.3 Tujuan Penelitian			5
1.4 Batasan Penelitian			6
1.5 Manfaat Penelitian			7
BAB II KAJIAN TEORI			8
2.1 Tinjauan Pustaka			8
2.2 Rasa Asam			11
2.3 Rasa Asin			12
2.4 Membran Lipid Oleyl Alkohol			14
2.5 Sensor <i>Quartz Crystal Microbalance</i>			18
2.6 Osilator			22
2.7 OpenQCM			25
2.7.1 <i>Arduino Micro</i>			26
2.7.2 <i>QCM Arduino Shield</i>			27
2.7.3 Sensor Pengukur Temperatur (<i>Temperature Sensor</i>)			28
2.8 Pencacah Frekuensi (<i>Frequency Counter</i>)			29
2.9 <i>Spin Coating</i>			31
2.10 Sensor dalam Al-Quran			33
BAB III METODE PENELITIAN			37
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian			37
3.2 Alat dan Bahan Penelitian			37
3.2.1 Alat-Alat Penelitian			37
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian			38
3.3 Diagram Alir Penelitian			39

3.4 Tahap Persiapan	40
3.5 Tahap Pelapisan Membran	42
3.6 Tahap Pengambilan Data	43
3.6.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar	43
3.6.2 Tahap Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran	44
3.6.3 Tahap Pengambilan Data NaCl Sebelum Pelapisan Membran	45
3.6.4 Tahap Pengambilan Data HCl	46
3.6.5 Tahap Pengambilan Data NaCl	47
3.7 Tahap Pengolahan Data	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Data Hasil Penelitian	53
4.1.1 Preparasi dan Proses Pengujian Sampel	53
4.1.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor	58
4.1.3 Data Hasil Pengujian <i>Response Time</i>	61
4.1.4 Data Hasil Pengujian Deteksi Limit	68
4.1.5 Data Hasil Pengujian Sensitivitas	77
4.2 Pembahasan	86
4.3 Kajian Integrasi Islam	89
BAB V PENUTUP	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hasil Pengujian Senyawa Asam pada Sensor Rasa	12
Gambar 2.2	Struktur 1 Dimensi Oleyl Alkohol	15
Gambar 2.3	Struktur 2D Oleyl Alkohol	15
Gambar 2.4	Struktur Permukaan Membran Lipid.....	16
Gambar 2.5	Struktur Kimia <i>Plasticizer</i>	17
Gambar 2.6	Interaksi Membran dengan HCl dan NaCl.....	17
Gambar 2.7	Bentuk Potongan AT Kristal Kuarsa.....	21
Gambar 2.8	Rangkaian Butterworth-van Dyke.....	24
Gambar 2.9	Arduino <i>Micro</i>	26
Gambar 2.10	Rangkaian Sirkuit QCM <i>Arduino Shield</i>	28
Gambar 2.11	Rangkaian Sensor Temperatur	28
Gambar 2.12	Sketsa Metode <i>Spin Coating</i>	31
Gambar 2.13	<i>Vacuum Spin Coater</i> VTC-100	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2	Proses Pembuatan Membran	41
Gambar 3.3	Rencana Analisis <i>Response Time</i> Sensor	49
Gambar 3.4	Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor	49
Gambar 4.1	Sistem Akuisisi Data Sensor QCM	51
Gambar 4.2	<i>Response Time</i> Sensor QCM terhadap Sampel HCl	62
Gambar 4.3	<i>Response Time</i> Sensor QCM terhadap Sampel HCl	63
Gambar 4.4	<i>Response Time</i> Sensor QCM terhadap Sampel NaCl.....	64
Gambar 4.5	<i>Response Time</i> Sensor QCM terhadap Sampel NaCl.....	65
Gambar 4.6	Hasil <i>Response Time</i> Sensor QCM	67
Gambar 4.7	Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM Perak Murni	69
Gambar 4.8	Pengaruh HCl terhadap Frekuensi Sensor QCM dengan Lipid	71
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM Perak Murni ..	72
Gambar 4.10	Pengaruh NaCl terhadap Frekuensi Sensor QCM dengan Lipid.....	74
Gambar 4.11	Regresi Linear HCl menggunakan Sensor QCM Perak Murni	79
Gambar 4.12	Regresi Linear HCl dengan Sensor QCM Membran Lipid.....	81
Gambar 4.13	Regresi Linear NaCl menggunakan Sensor QCM Perak Murni	82
Gambar 4.14	Regresi Linear NaCl dengan Sensor QCM Membran Lipid	84
Gambar 4.15	Struktur Oleyl Alkohol Satu Dimensi	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Membran.....	9
Tabel 2.2	Ambang Batas Pengenalan Rasa pada Lidah Manusia	12
Tabel 2.3	Sifat-Sifat Fisik NaCl Murni.....	13
Tabel 2.4	<i>Data Sheet Vacuum Spin Coater</i>	33
Tabel 3.1	Alat-Alat Penelitian.....	37
Tabel 3.2	Bahan-Bahan Penelitian	38
Tabel 3.3	Rencana Pengambilan Data Frekuensi Kontrol	44
Tabel 3.4	Rencana Data HCl Sebelum Pelapisan	45
Tabel 3.5	Rencana Data NaCl Sebelum Pelapisan.....	46
Tabel 3.6	Rencana Variasi Sampel HCl.....	47
Tabel 3.7	Rencana Variasi Sampel NaCl.....	48
Tabel 4.1	Daftar Volume HCl Peekat pada Sampel	54
Tabel 4.2	Daftar Massa NaCl.....	55
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM	58
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Sampel Larutan HCl	59
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Sampel Larutan NaCl	60
Tabel 4.6	Hasil Analisis <i>Response Time</i> Sensor QCM.....	66
Tabel 4.7	Analisis Deteksi Limit Sensor QCM	75
Tabel 4.8	Analisis Regresi Linear Sensor QCM Perak Murni pada HCl.....	79
Tabel 4.9	Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran pada HCl....	80
Tabel 4.10	Analisis Regresi Linear Sensor QCM Perak Murni pada NaCl.....	82
Tabel 4.11	Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran pada NaCl..	83
Tabel 4.12	Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM.....	85

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Penelitian
- Lampiran 3 Data Hasil Analisis Regresi Linear
- Lampiran 4 Grafik *Residual Plots*
- Lampiran 5 Pengujian Menggunakan *Software* openQCM 1.2
- Lampiran 6 *Sketch* Pemrograman Arduino
- Lampiran 7 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Ummah, Auliya Rahmatul. 2018. **Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Oleyl Alkohol terhadap Respon HCl dan NaCl**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: *Quartz Crystal Microbalance*, Membran Lipid, *Response Time*, Deteksi Limit, Sensitivitas

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) banyak digunakan untuk berbagai macam penelitian salah satunya untuk sensor rasa. Pengembangan sensor rasa dilakukan untuk dapat mengetahui zat kimia yang tidak dapat dideteksi langsung oleh lidah manusia. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan karakteristik sensor meliputi *response time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor. Variasi sensor yang digunakan yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan lapisan membran lipid. *Output* sensor yang dianalisis berupa frekuensi osilasi sensor. Metode yang digunakan untuk analisis data yaitu metode analisis regresi linear. Hasil *response time* sensor QCM dengan membran lebih cepat merespon sensor dengan nilai sebesar 11 s pada HCl dan 10 s pada NaCl. Deteksi limit sensor QCM tanpa membran dapat bekerja pada konsentrasi sampel yang lebih kecil dari pada sensor QCM dengan membran yaitu 200 mM pada HCl dan 800 mM pada NaCl. Sensor QCM dengan membran lebih sensitif terhadap HCl dengan nilai sensitivitas 4929.4 Hz/mM lebih besar dari pada NaCl yang memiliki nilai sensitivitas sebesar 633.4 Hz/mM. Data tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM dengan lapisan membran lipid Oleyl Alkohol lebih selektif terhadap rasa asam dari pada rasa asin.

ABSTRACT

Ummah, Auliya Rahmatul. 2018. **Characterization of Quartz Crystal *Microbalance* (QCM) Sensors with Oleyl Alcohol Lipid Coated Membrane on HCl and NaCl Response**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords: Quartz Crystal *Microbalance*, Lipid Membranes, Response Time, Detection Limit, Sensitivity

Quartz Crystal *Microbalance* (QCM) sensors are widely used for various kinds of research, one of them is for taste sensor. The taste sensor development is used for finding out chemicals that cannot be detected directly by the human tongue. The purpose of this study is to determine characteristics of sensors including response time, detection limit and sensor sensitivity. The sensor variation that used are QCM sensor with pure silver electrode and QCM sensor with lipid coated membrane. Output of sensor that being analyzed is oscillation frequency sensor. The method that used for data analysis is linear regression analysis method. The result of response time, QCM sensor with membrane responds more quickly with a value of 11 s in HCl and 10 s in NaCl. Detection limit of QCM sensor without membrane can work at a smaller sample concentration than the QCM sensor with a membrane, that is 200 mM on HCl and 800 mM in NaCl. The QCM sensor with membrane is more sensitive to HCl with sensitivity value of 4929.4 Hz/mM bigger than NaCl which has sensitivity value of 633.4 Hz/mM. These data indicate that the QCM sensor with Oleyl alcohol lipid coated membrane is more selective towards sour taste than salty taste.

ملخص البحث

الأمة ، أولياء رحمة. 2018. توصيف رقابة *Quartz Crystal Microbalance (QCM)* مع طلاء الغشاء الدهنية لاوليل الكحول على استجابة **HCl** و **NaCl**. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك الإسلامية الحكومية مالانج. الاشراف: (الاول) الدكتور إمام تازي ، الماجستير (الثاني) أحمد أبطحي ، الماجستير

الكلمات الرئيسية: الرقابة، أغشية الدهون، واللسان الإلكتروني ، الحمض ، الملح

تستخدم الرقابة *Quartz Crystal Microbalance (QCM)* في كثير الابحاث المختلفة، واحدة منها هي الرقابة الذوق. يجري تطوير الرقابة الذوق لان يحدد على المواد الكيميائية التي لا تمكن تكتشفها مباشرة من اللسان البشري. الاهداف البحث فهي تحديد خصائص الرقابة يعنى زمن الاستجابة (*response time*) ، وكشف الحد وحساسية الرقابة. تعبر الرقابة هو الرقابة *QCM* بالقطب الكهربائي الفضة النقية والرقابة *QCM* مع طبقة الغشاء الدهنية. يحلل خرج الرقابة في شكل تردد التذبذب الرقابة. الطريقة هي طريقة تحليل الانحدار الخطي. وتستجيب نتائج زمن الاستجابة لرقابة *QCM* مع الغشاء الاسرع بقيمة 11 س في **HCl** و 10 ثانية في **NaCl**. الكشف الحد الرقابة *QCM* بدون الغشاء يمكن ان يعمل عند تركيز العينة الأصغر من الرقابة *QCM* مع غشاء 200 م م في **HCl** و 800 م م في **NaCl**. الرقابة *QCM* مع الغشاء الاحساسى على **HCl** بقيمة حساسية هي 4929.4 هـ ز/م م التي لها أكبر من **NaCl** مع قيمة حساسية فهي 633.4 هـ ز/م م. دلت هذه البيانات إلى أن الرقابة *QCM* مع طبقة الغشاء الدهنية لاوليل الكحول هي أكثر انتقائية على الذوق الحمض من الذوق الملح.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panca indera merupakan bagian tubuh manusia yang dinilai sangat penting. Hal tersebut dikarenakan panca indera berfungsi sebagai organ tubuh yang mampu mengetahui kondisi luar di sekitarnya. Adapun panca indera manusia terdiri dari indera penglihatan, indera penciuman, indera perasa, indera pendengaran dan indera peraba. Indera yang dapat berinteraksi dengan bahan kimia secara langsung yaitu indera perasa. Organ tubuh yang berfungsi sebagai indera perasa yaitu lidah. Lidah dikendalikan oleh neuron sensorik atau sel-sel saraf yang dapat mendeteksi bahan kimia dalam makanan. Bahan kimia dalam makanan tersebut dapat menimbulkan rasa yang dideteksi oleh lidah. Terdapat lima rasa dasar yang dideteksi oleh lidah yaitu rasa manis, rasa asam, rasa pahit, rasa asin dan umami. Kelima rasa tersebut memiliki komponen bahan kimia yang berbeda-beda sehingga dapat mengklasifikasi setiap bahan kimia.

Adapun rasa yang biasanya terdapat pada makanan yaitu rasa asam dan rasa asin. Rasa asam biasa disebabkan oleh bahan kimia yang bersifat asam. Begitupun dengan rasa asin disebabkan oleh zat yang mengandung garam. Pendeteksian rasa tersebut tidak dianjurkan dengan cara mencicipinya secara langsung karena banyak diantaranya zat asam dan zat garam yang dapat merusak kulit dan bahkan dapat bersifat racun. Hal tersebut menyebabkan perlunya alat yang dapat mendeteksi kandungan zat asam dan zat garam supaya kandungan zat pada rasa dapat diidentifikasi tanpa harus mencicipinya secara langsung (Indira, 2015).

Asam merupakan suatu sifat kimia yang biasanya disebabkan oleh terlepasnya ion H^+ . Beberapa senyawa asam yang biasanya terdapat dalam kandungan makanan dan obat-obatan diantaranya asam asetat (CH_3COOH), asam klorida (HCl), asam askorbat ($C_6H_8O_6$), asam sitrat ($C_6H_8O_7$), dan asam laktat ($C_3H_6O_3$). Senyawa-senyawa asam tersebut biasanya terdapat dalam kandungan buah-buahan, cuka makanan, keju, obat-obatan dan minuman berkarbonisasi. Rasa asam yang dapat dideteksi oleh lidah disebabkan oleh ion hidrogen dari beberapa senyawa diantaranya HCl , asam asetat (CH_3COOH) dan asam sitrat ($C_6H_8O_7$). Beberapa sensor rasa yang telah dikembangkan saat ini menggunakan senyawa HCl untuk pengujian rasa asam. Hal tersebut disebabkan HCl merupakan senyawa asam dasar yang dapat menunjukkan kandungan asam apabila diujikan pada sensor (Toko, 1998).

Garam adalah suatu senyawa yang dihasilkan dari reaksi asam dan basa. Senyawa garam yang biasanya terdapat pada makanan yaitu $NaCl$. Garam juga dapat dikatakan sebagai unsur yang paling penting dalam olahan makanan, sehingga memiliki standar khusus yang biasa disebut standar garam industri. Industri garam di Indonesia masuk ke dalam komoditas yang harus selalu tersedia di pasaran. Hal tersebut menyebabkan perlunya peningkatan kualitas produksi garam. Penentuan kualitas produksi garam tentunya membutuhkan alat identifikasi kandungan garam yang akurat dan optimal (Nur dkk., 2013).

Perkembangan teknologi saat ini telah mendorong ilmuan-ilmuan untuk menciptakan alat yang dapat memudahkan aktivitas manusia. Telah dijelaskan

dalam firman Allah pada al-Qur'an surah al-Baqarah (2) ayat 269 yang dipaparkan sebagai berikut:

يُؤْتِي الْحِكْمَةَ مَنْ يَشَاءُ وَمَنْ يُؤْتَ الْحِكْمَةَ فَقَدْ أُوتِيَ خَيْرًا كَثِيرًا ۗ وَمَا يَذَّكَّرُ إِلَّا أُولُو الْأَلْبَابِ ﴿٢٦٩﴾

“Dia (Allah) memberikan Al-hikmah kepada siapapun yang dikehendaki. Barang siapa yang diberikan Al-hikmah maka sesungguhnya dia telah diberi karunia yang banyak. Dan tidak ada yang dapat mengambil pelajaran selain orang-orang yang berakal” (QS. al-Baqarah[2]:269).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia telah dikaruniai “al-hikmah” oleh Allah SWT. Kata “al-hikmah” dapat dimaknai sebagai suatu kemampuan berpikir yang hasilnya dapat menciptakan teknologi yang bermanfaat bagi manusia (Rohman, 1996). Salah satu perkembangan teknologi saat ini yaitu terciptanya alat yang fungsinya sama dengan organ tubuh manusia dan indera manusia. Alat tersebut dapat berupa sensor yang mampu menggantikan fungsi indera manusia. Teknologi duplikat organ tubuh manusia diciptakan di laboratorium riset untuk dikembangkan supaya dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Sensor yang telah berkembang menggantikan fungsi organ tubuh manusia diantaranya mata elektronik (E-eye), hidung elektronik (E-Nose) dan lidah elektronik (E-Tongue). Adapun manfaat sensor tersebut dalam bidang industri yaitu dapat mendeteksi bahaya bahan kimia, mendeteksi adanya komponen peledak dan lain sebagainya (Rattanawarinchai dkk., 2017).

Sensor lidah elektronik salah satunya yang tengah dikembangkan oleh ilmuan saat ini. Sensor lidah elektronik dapat membedakan sampel cairan yang kompleks dan dapat mengetahui karakteristik sampel tersebut. Pola-pola respon sensor tersebut dapat berinteraksi dengan sifat-sifat rasa yang sangat bermanfaat di bidang industri pangan dan industri farmasi. Hal tersebut dikarenakan rasa adalah faktor

utama yang menentukan kualitas ketersediaan bidang pangan dan farmasi, sehingga telah berkembang beberapa aplikasi sensor lidah elektronik dalam beberapa tahun terakhir (Wesoły dkk., 2017).

Salah satu komponen dasar penyusun sensor lidah yang saat ini sedang dikembangkan yaitu sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Sensor QCM merupakan sensor serbaguna dibidang fisika, kimia dan biologi. Diantara kelebihan dari sensor QCM yaitu mempunyai resolusi tinggi, biaya terjangkau serta tingkat sensitivitas sensing yang tinggi. Sensor QCM dinilai serbaguna karena dapat disesuaikan untuk mendeteksi analisis dengan membran pelapis yang berbeda secara mudah (Casteleiro-Roca dkk., 2014).

Perkembangan sensor QCM saat ini telah mengalami peningkatan diantaranya penelitian tentang identifikasi uap dan berat molekul menggunakan QCM Virtual Sensor Array (VSA). Pada penelitian tersebut didapatkan hasil data dengan akurasi yang sangat baik berupa korelasi antara parameter f dan temperatur $^{\circ}\text{C}$ untuk perkiraan berat molekul alkohol. Selain itu, metode tersebut juga menghasilkan data yang akurat untuk diskriminasi uap fase isomer (Speller dkk., 2017). Sensor QCM juga dapat digunakan untuk sensor kelembaban dan sensor tekanan gas. Sensor QCM tersebut diberikan lapisan senyawa *polyethylenedioxythiophene:polystyrene sulfonate* (PEDOT:PSS) untuk mendeteksi kelembaban dan tekanan gas H_2O . Kombinasi antara QCM dan PEDOT:PSS tersebut menghasilkan sensor yang dapat digunakan untuk multiinput sensor dengan tingkat error sebesar $<4\%$ (Muckley dkk., 2016).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dipaparkan, dapat diketahui bahwa sensor QCM merupakan sensor yang multifungsi dan memiliki akurasi data yang baik. Selain itu, sensor QCM juga memungkinkan untuk pengujian sampel dengan berbagai fase dan berbagai variasi pelapisan kristal kuarsanya. Oleh sebab itu, penelitian ini akan menggunakan sensor QCM untuk mengetahui karakteristiknya melalui pengujian senyawa asam klorida dan natrium klorida dengan lapisan membran lipid Oleyl Alkohol.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana *response time* sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl?
2. Bagaimana deteksi limit dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk dapat memaparkan bagaimana *response time* sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl.
2. Untuk dapat memaparkan bagaimana deteksi limit dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl.

3. Untuk dapat memaparkan bagaimana sensitivitas dari sensor QCM dengan bahan aktif dari membran lipid Oleyl Alkohol yang dapat merespon senyawa kimia HCl dan NaCl.

1.4 Batasan Penelitian

1. Sampel yang digunakan hanya HCl dan NaCl.
2. Sampel yang digunakan berfasa cair.
3. Membran yang digunakan hanya membran lipid oleyl Alkohol.
4. Konsentrasi sampel HCl yang digunakan hanya kisaran 100 mM-550 mM dikarenakan adanya batas korosi yang dapat terjadi pada holder dan keterbatasan alat ukur sampel.
5. Konsentrasi sampel NaCl yang digunakan hanya kisaran 100 mM-2000 mM dikarenakan keterbatasan alat ukur sampel.
6. Perbandingan sensor dilakukan pada sensor QCM dengan elektroda perak murni dan perak dengan lapisan membran lipid Oleyl Alkohol.
7. Pelapisan membran lipid menggunakan teknik *spin coating* dengan volume pelapisan yang sesuai dengan literatur dan tidak sampai pada analisis ketebalan membran, namun hanya sampai pengujian dapat terdeteksi atau tidak menggunakan rangkaian osilator openQCM.
8. Penelitian ini tidak membahas analisis karakteristik membran terlalu dalam, hanya sebatas pengaruhnya terhadap output sensor.
9. Rangkaian prosesor dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produksi dari pabrik yang sudah terkalibrasi.

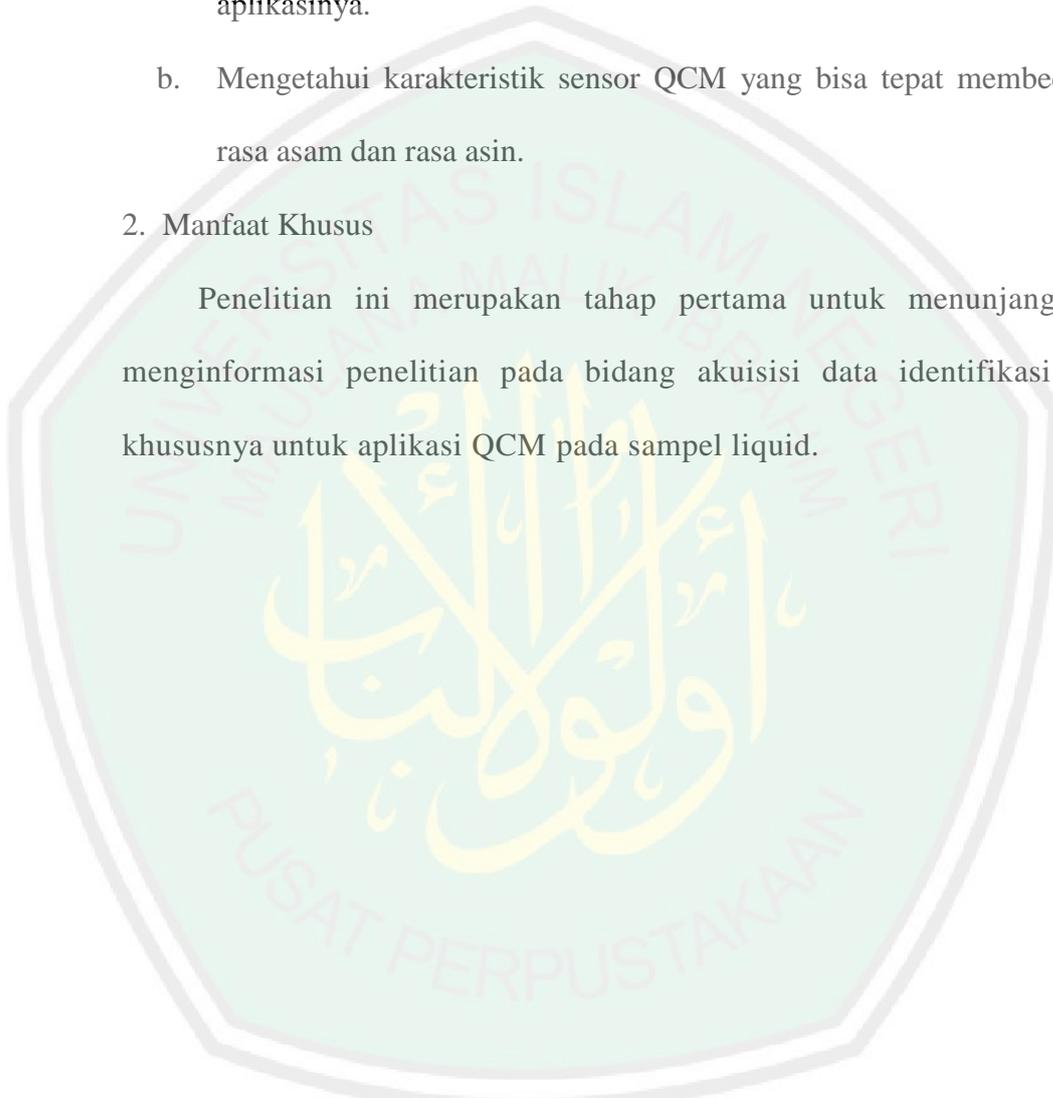
1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Umum

- a. Mengetahui teknik pengujian sensor rasa berbasis QCM serta aplikasinya.
- b. Mengetahui karakteristik sensor QCM yang bisa tepat membedakan rasa asam dan rasa asin.

2. Manfaat Khusus

Penelitian ini merupakan tahap pertama untuk menunjang dan menginformasi penelitian pada bidang akuisisi data identifikasi rasa khususnya untuk aplikasi QCM pada sampel liquid.



BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sensor QCM telah banyak digunakan untuk berbagai jenis penelitian. Diantaranya yaitu penggunaan sensor QCM untuk karakterisasi kuantitatif pada resin alkyd pada pelapisan film padat. Penggunaan sensor QCM pada penelitian tersebut untuk pengukuran *time-independent* sifat mekanik dari resin alkyd. Resin alkyd digunakan sebagai cairan pembentuk film padat. Perubahan frekuensi sensor QCM digunakan untuk mengamati tiga daerah perubahan sifat mekanik resin alkyd. Hasil yang diperoleh yaitu perubahan properti mekanik terjadi pada frekuensi 15 MHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengukuran *time-independent* menggunakan sensor QCM dinilai lebih efektif daripada pengukuran manual (Sturdy dkk., 2016).

Penelitian tentang sensor QCM juga telah dilakukan untuk mendeteksi uap amina-alifatik. Uap tersebut direkayasa menggunakan polimer minyak kastor berbasis sensor QCM. Sensor QCM direkayasa dengan metode *dip-dry* dan pemanasan di bawah temperatur argon 100 °C untuk mendapatkan lapisan film yang sesuai dengan permukaan sensor QCM. Penyerapan uap oleh sensor QCM ditunjukkan dengan adanya perubahan frekuensi sensor. Perubahan frekuensi sensor QCM meningkat secara linear dengan konsentrasi uap antara 5 ppm sampai dengan 250 ppm pada suhu kamar. Morfologi permukaan sensor QCM sebelum dan setelah penyerapan uap ditandai dengan adanya AFM. AFM menunjukkan tingkat

perubahan ukuran ketebalan permukaan QCM setelah absorpsi uap amina alifatik (Das dkk., 2014).

Sensor QCM juga digunakan untuk analisis kualitas cokelat. Penelitian tersebut menggunakan dua jenis bahan yang digunakan untuk pelapisan permukaan QCM yaitu metaloid profirin dan partikel nano emas. Sampel cokelat yang digunakan yaitu cokelat hitam, cokelat putih dan cokelat susu. Analisis kualitas cokelat menggunakan *array gas sensor* tersebut menghasilkan diskriminan yang baik antara standar kualitas cokelat yang telah ditetapkan dan kualitas cokelat hasil pengukuran sensor. Lapisan yang memiliki hasil terbaik yaitu lapisan partikel nano emas dengan presentase keberhasilan lebih dari 90% sampel dianalisis sesuai dengan standar yang telah ditetapkan (Compagnone dkk., 2015).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Jazuly (2016) tentang pengujian array sensor lidah elektronik yang menggunakan 16 membran lipid pada elektroda kerja sensor lidah elektronik. Hasil yang didapatkan yaitu terdapat 8 sensor yang memiliki output sensor yang baik terhadap sampel HCl, NaCl, MSG dan kafein. Delapan sensor tersebut yaitu S1, S2, S6, S7, S9, S10, S12 dan S14. Membran lipid yang digunakan dalam sensor lidah elektronik ditunjukkan pada tabel sebagai berikut (Jazuly, 2016).

Tabel 2.1 Komposisi Membran (Jazuly, 2016)

No. Sensor	Material Aktif Lipid (3%)	Plazticizer (65%)	Matrix (32%)
S1	Oktadesilamina	2-NPOE	PVC
S2	Oleil Alkohol	2-NPOE	PVC
S3	Metiltrioktilammonium klorida	2-NPOE	PVC
S4	Asam oleat	2-NPOE	PVC
S5	Oktadesilamin	Bis(2-etilheksil) sebakat	PVC

S6	Oleil Alkohol	Bis(2-etilheksil) sebakat	PVC
S7	Metiltrioktilammonium klorida	Bis(2-etilheksil) sebakat	PVC
S8	Asam oleat	Bis(2-etilheksil) sebakat	PVC
S9	Oktadesilamin	Bis(2-etilheksil) fosfat	PVC
S10	Oleil Alkohol	Bis(2-etilheksil) fosfat	PVC
S11	Metiltrioktilammonium klorida	Bis(2-etilheksil) fosfat	PVC
S12	asam oleat	Bis(2-etilheksil) fosfat	PVC
S13	Oktadesilamin	Bis(1-butylpentil) adipat	PVC
S14	Oleil Alkohol	Bis(1-butylpentil) adipat	PVC
S15	Metiltrioktilammonium klorida	Bis(1-butylpentil) adipat	PVC
S16	Asam oleat	Bis(1-butylpentil) adipat	PVC

Adapun membran pada sensor yang memiliki respon terbaik pada penelitian Jazuly (2016) yaitu Oktadesilamin 2-NPOE, Oleyl Alkohol 2-NPOE, Oleyl Alkohol bis(2-etilheksil) sebakat, TOMA bis(2-etilheksil) sebakat, Oktadesilamin bis(2-etilheksil) fosfat, Oleyl Alkohol bis(2-etilheksil) fosfat, Asam Oleat bis(2-etilheksil) fosfat dan Oleyl Alkohol bis(1-butylpentil) adipat. Membran-membran tersebut dapat bekerja aktif ketika dilapiskan pada elektroda sensor yang berbahan emas murni dan perak murni. Hal tersebut yang mendasari penggunaan membran pada sensor QCM pada penelitian ini karena elektroda sensor QCM terbuat dari perak murni (Jazuly, 2016).

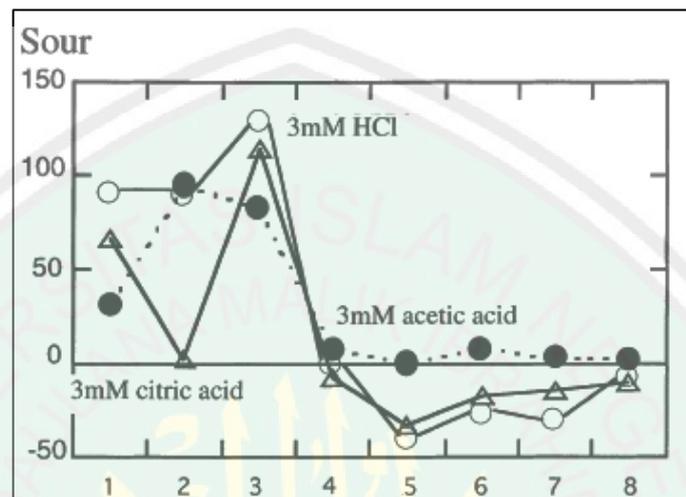
2.2 Rasa Asam

Rasa asam merupakan salah satu dari lima rasa dasar pada lidah. Timbulnya rasa asam disebabkan konsentrasi proton atau ion H. Timbulnya rasa asam pada lidah dipengaruhi oleh suatu senyawa golongan asam yang mengenainya. Konsentrasi ion hidrogen dan intensitas rasanya berbanding lurus dengan logaritma konsentrasi ion hidrogen. Suatu indera atau reseptor rasa memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap proton. Masuknya proton akan menyebabkan depolarisasi yang mengakibatkan neurotransmitter proton dilepaskan ke sinaps. Oleh sebab itu, semakin tinggi konsentrasi asam dari suatu senyawa akan menyebabkan sensasi rasa asam yang semakin kuat (Guyton & Hall, 2009).

Salah satu senyawa yang bersifat asam yaitu HCl. Senyawa HCl biasa disebut asam klorida. Adapun sifat-sifat fisika dari senyawa HCl diantaranya yaitu memiliki berat molekul 36,5 gr/mol, memiliki densitas 1,19 gr/ml, konsentrasi di pasaran sekitar 37%, memiliki titik didih 50,5 °C, memiliki titik didih -25 °C, tekanan uap sebesar 16 kPa, cairan berwarna bening dan berbau tajam. Senyawa HCl juga diproduksi di dalam tubuh manusia. HCl diproduksi secara alami oleh lambung yang berfungsi sebagai penghancur makanan yang akan diteruskan ke usus. HCl biasanya digunakan pada proses pembentukan gelatin dan bahan aditif pada makanan. HCl juga biasanya digunakan sebagai kontrol limbah zat cair pada industri sebelum dibuang ke lingkungan (ScienceLab, 2009).

Rasa asam dihasilkan dari ion-ion hidrogen yang terdapat dalam beberapa senyawa asam diantaranya HCl, asam asetat (CH_3COOH) dan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). Salah satu senyawa yang telah diujikan pada sensor lidah yang dinilai sebagai

senyawa sederhana yang mewakili rasa asam yaitu asam klorida (HCl). Ketiga senyawa asam tersebut sudah diujikan pada sensor lidah yang hasilnya ditunjukkan pada gambar 2.1 (Toko, 1998):



Gambar 2.1 Hasil Pengujian Senyawa Asam pada Sensor Rasa (Toko, 1998)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa asam klorida (HCl) merupakan senyawa asam yang memiliki hasil uji yang lebih tinggi dari pada asam asetat (CH_3COOH) dan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), sehingga asam klorida (HCl) dapat digunakan sebagai sampel senyawa asam untuk pengujian sensor rasa dalam bentuk lain (Toko, 1998).

Tabel 2.2 Ambang Batas Pengenalan Rasa pada Lidah Manusia (Toko, 1998)

Rasa	Molekul	Ambang batas	Ambang batas pengenalan rasa
Manis	Sukrosa	10 mM	170 mM
Asin	NaCl	10 mM	30 mM
Asam	HCl	0,9 mM	-
Pahit	<i>Quinine</i>	8 μM	30 μM
<i>Umami</i>	MSG	2 mM	-

2.3 Rasa Asin

Rasa asin disebabkan oleh masuknya ion Na^+ yang dapat mengakibatkan tertutupnya ion K pembentuk rasa pahit. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya

depolarisasi pada indera atau reseptor. Depolarisasi akan mengakibatkan neurotransmitter keluar dan impuls dapat diterima oleh otak. Rasa asin juga ditimbulkan oleh garam yang terionisasi. Sensasi rasa asin akan berbeda untuk setiap jenis garam. Hal tersebut dikarenakan setiap jenis garam tidak hanya menimbulkan rasa asin saja (Guyton & Hall, 2009).

NaCl adalah senyawa garam yang paling banyak ditemukan pada makanan. NaCl murni berbentuk kristal kubik berwarna putih. Umumnya NaCl mengandung pengotor berupa magnesium klorida, magnesium sulfat, kalsium sulfat dan air. Keberadaan pengotor tersebut biasanya pada permukaan kristal maupun di dalam kisi kristal. Zat pengotor pada permukaan NaCl dapat dihilangkan dengan proses pencucian, sedangkan zat pengotor yang terdapat dalam kisi kristal NaCl dihilangkan dengan rekristalisasi. Rekristalisasi yaitu pelarutan kristal yang dilarutkan dengan mengkristalkannya kembali. Adapun sifat-sifat fisik NaCl murni ditunjukkan pada tabel 2.1 (Martina & Witono, 2014).

Tabel 2.3 Sifat-Sifat Fisik NaCl Murni (Othmer, 1969)

Parameter	Keterangan
Massa molekul	58,44 g/mol
Bentuk kristal	Kubik
Warna	Tidak berwarna-putih
Refraksi indeks	1,5442
Densitas	2,165 g/ml
Titik leleh	801°C
Titik didih	1413°C
Kekerasan	2,5 skala Mohs'
Kapasitas panas	0,853 J/g°C
Panas peleburan	517,1 J/g
Panas pelarutan pada 1 kg H ₂ O, 25 °C	3,757 kJ/mol
Kelembaban kritik pada 20 °C	75,3 %

2.4 Membran Lipid Oleyl Alkohol

Membran merupakan suatu zat yang bersifat selektif terhadap dua fase zat lain yang berbeda. Biasanya membran berfungsi untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran dan bentuk, menahan suatu komponen dari zat yang ukurannya lebih besar dari pori-pori membran serta untuk menyalurkan senyawa yang mempunyai ukuran pori-pori yang lebih kecil dari pori-pori membran tersebut (Agustina, 2006). Molekul lipid yang biasanya digunakan dalam penelitian bersifat polar berikatan dengan molekul protein. Molekul lipid terletak pada lapisan dalam dan tersusun sedemikian rupa, sedangkan bagian non polar terletak pada sisi dalam bersama dengan cairan yang terdapat pada lapisan tersebut. Adanya lapisan protein pada lapisan luar menyebabkan membran sel lipid bersifat hidrofilik atau dapat menyatu dengan molekul air (Pudjiaji, 1990).

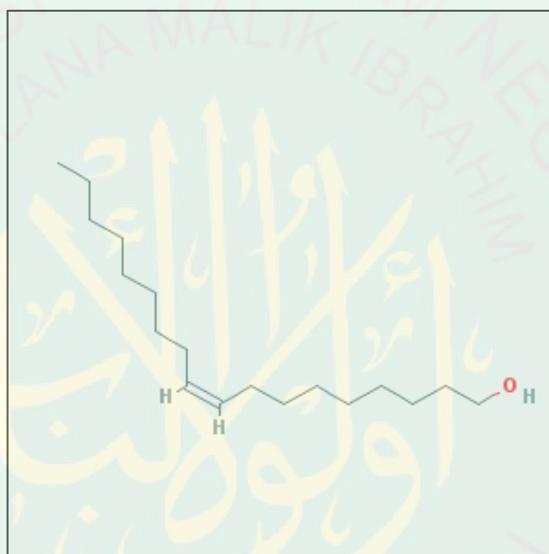
Oleyl Alkohol merupakan salah satu cabang dari senyawa Alkohol yang memiliki rumus molekul $C_{18}H_{36}O$. Massa molekul Oleyl Alkohol sebesar 268.485 g/mol. Oleyl Alkohol biasa digunakan untuk agen antifoam dan pemotong zat pelumas. Titik didih dari Oleyl Alkohol yang berfase liquid sebesar 182-184 °C dan titik lelehnya 13-14 °C (Salimon dkk., 2015).

Oleyl Alkohol dapat diproduksi dengan cara hidrogenasi ester $C_{18}H_{34}O_2$ (asam oleat) yang dapat diperoleh secara alami dari lemak daging sapi, minyak ikan dan minyak zaitun. Produksi oleyl Alkohol menggunakan metode reduksi *Bouveault-Blanc* dari senyawa etil oleat atau ester n-butil oleat ditemukan oleh Louis Bouveault pada tahun 1904. Oleyl Alkohol berfungsi sebagai surfaktan non-ionik, pengemulsi, pengental krim kulit, lotion, shampo dan kondisioner rambut.

Oleyl Alkohol juga dapat digunakan sebagai pembawa obat-obatan melalui selaput kulit, selaput lendir dan paru-paru (Kreutzer, 1984). Adapun struktur kimia dari Oleyl Alkohol ditunjukkan pada gambar 2.2 dan gambar 2.3 :



Gambar 2.2 Struktur 1 Dimensi Oleyl Alkohol (Reid dkk., 1949)

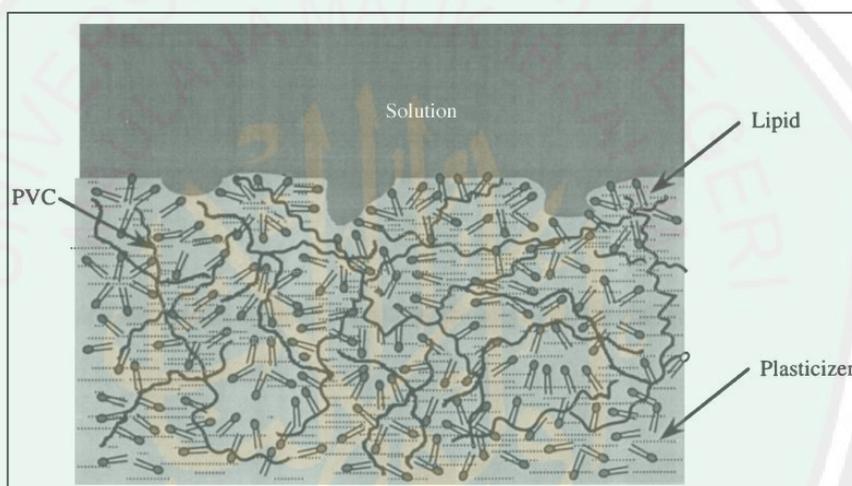


Gambar 2.3 Struktur 2D Oleyl Alkohol (Reid dkk., 1949)

Sensor rasa yang tengah berkembang saat ini menggunakan teknik *pulse voltammetry* yang dapat menampilkan informasi sampel melalui jaringan saraf tiruan. Teknik tersebut memiliki kelebihan diantaranya menawarkan kontrol kualitas yang efektif, namun tidak sesuai untuk klasifikasi rasa pada makanan karena tidak dapat mengklasifikasi rasa berdasarkan ion spesifik. Hal tersebut menyebabkan perlunya teknik lain yang dapat menggantikan teknik *pulse voltammetry*. Salah satunya yaitu dengan pelapisan membran lipid pada elektroda

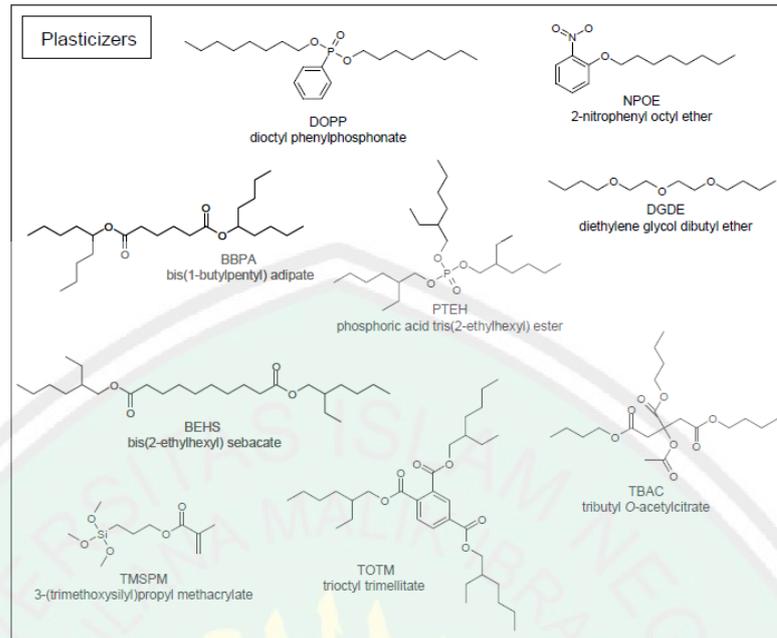
sensor. Sensor rasa tersebut memiliki korelasi dengan persepsi rasa pada makhluk hidup dengan menggunakan lipid buatan sebagai transduser (Kobayashi dkk., 2010).

Campuran bahan yang digunakan dalam pembuatan membran yaitu lipid, *polyvinyl chloride* (PVC), *plasticizer* dan *tetrahydrofuran* (THF). Bahan-bahan tersebut menghasilkan membran lipid yang transparan, tidak berwarna dan memiliki tekstur yang lembut. Adapun struktur membran dari komposisi tersebut ditunjukkan pada gambar 2.4 (Toko, 1998).



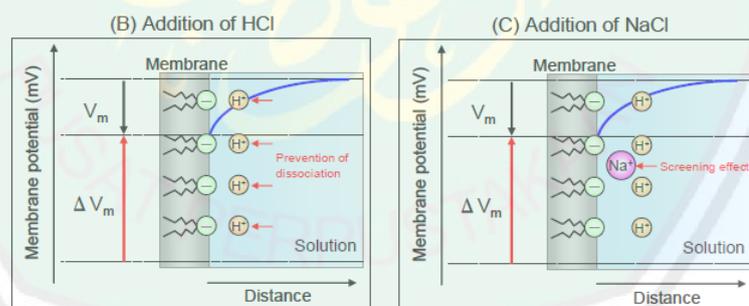
Gambar 2.4 Struktur Permukaan Membran Lipid (Toko, 1998).

Lipid yang terkandung dalam membran berfungsi sebagai bahan aktif yang berinteraksi langsung dengan sampel. PVC dan *plasticizer* hanya berfungsi sebagai bahan pembuatan membran supaya dapat dilakukan pelapisan pada membran. THF berfungsi sebagai pelarut dari ketiga bahan tersebut. Adapun beberapa jenis *plasticizer* yang biasanya digunakan sebagai bahan campuran membran yaitu sebagai berikut (Kobayashi dkk., 2010):



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

Pengujian sampel rasa pada sensor yang telah dilapisi membran telah dilakukan dengan hasil yang dinilai cukup baik. Hasil pengujian lapisan membran ditunjukkan pada gambar 2.6 (Kobayashi dkk., 2010).



Gambar 2.6 Interaksi Membran dengan HCl dan NaCl (Kobayashi dkk., 2010)

Gambar 2.6 menunjukkan respon sampel HCl dan NaCl pada lapisan membran lipid. Respon terhadap bahan asam menunjukkan bahwa respon membran bermuatan negatif terhadap HCl sesuai dengan hasil teoritis. Hal tersebut dikarenakan zat asam mencegah disosiasi molekul lemak dan mengubah potensial

membran. Respon sensor terhadap NaCl juga sesuai dengan hasil teoritis yang menunjukkan bahwa zat garam mempengaruhi lapisan ganda listrik pada permukaan sensor yang menyebabkan perubahan potensial membran (Kobayashi dkk., 2010).

2.5 Sensor *Quartz Crystal Microbalance*

Sensor adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah besaran fisika dan besaran kimia menjadi besaran listrik. Besaran listrik yang dihasilkan dapat digunakan pada rangkaian listrik tertentu untuk dianalisis datanya. Adapun besaran-besaran fisika yang dapat diubah menjadi besaran listrik oleh sensor diantaranya yaitu temperatur, tekanan, gaya, medan magnet, cahaya dan pergerakan suatu benda. Salah satu besaran kimia yang dapat diubah menjadi besaran listrik oleh sensor yaitu konsentrasi suatu zat (Wahab & La Nafie, 2014).

Sebuah sensor tidak dapat bekerja atau difungsikan sendiri. Sensor membutuhkan piranti-piranti lain untuk dapat berfungsi. Adapun alat-alat yang biasanya dihubungkan dengan sensor diantaranya yaitu beberapa detektor, pengondisi sinyal, pemroses sinyal, memori, penyimpan data dan aktuator. Sensor bersifat fleksibel sesuai dengan tujuan sensing yang diharapkan. Penempatan sensor dapat berada di bagian luar alat atau di bagian dalam alat menyesuaikan fungsinya. Sensor tersebut yang menjadi bagian dari sebuah sistem akuisisi data (Fraden, 2010).

Quartz Crystal Microbalance adalah sebuah osilator elektromekanis yang terdiri dari sepotong kristal kuarsa *AT-cut* tipis dengan elektroda logam yang diendapkan pada kedua permukaannya. Apabila suatu bahan kimia yang sensitif

diendapkan pada elektroda QCM tersebut akan berinteraksi dengan *analyte* yang dapat menyebabkan penurunan frekuensi osilasi yang berbanding lurus dengan massa absorpsinya. Hal tersebut dijelaskan pada persamaan Sauerbrey sebagai berikut (Bearzotti dkk., 2017) :

$$\Delta f = \frac{-C_f f_0^2 \Delta m}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

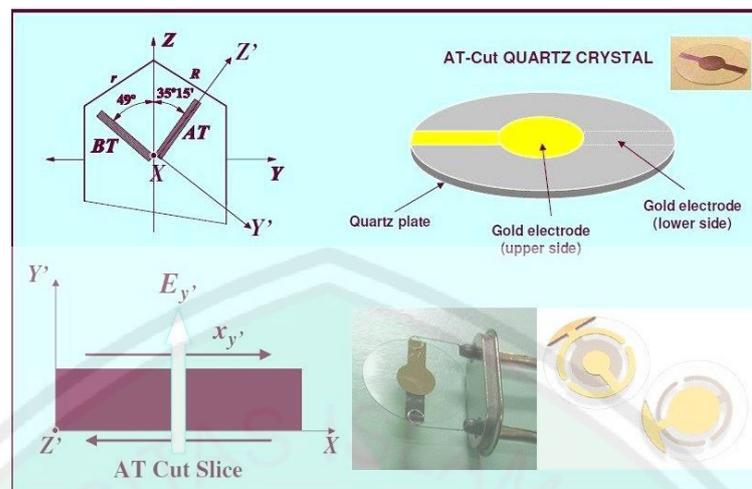
- Δf = perubahan frekuensi (Hz)
- C_f = konstanta sensitivitas massa
- f_0 = frekuensi resonansi awal elektroda (Hz)
- A = luas permukaan elektroda (m^2)
- Δm = perubahan massa (kg)

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 elektrode logam pada kedua sisinya. Permukaan lapisan kristal kuarsa sensor akan mengalami deformasi dan relaksasi ketika kedua elektrode 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 gravimetrik dan viskoelastisitas permukaan kristal (Sharma dkk., 2015).

Prinsip kerja dari sensor QCM yaitu berdasarkan pada efek invers-piezoelektrik yang dapat menimbulkan deformasi pada material tertentu sehingga dapat menyebabkan timbulnya medan listrik. Sensor QCM menggunakan kristal kuarsa tipe *AT-cut* dikarenakan tipe tersebut merupakan tipe kristal yang dinilai paling stabil, memiliki mode osilasi *shear-thickness*, dan memiliki kualitas presisi yang tinggi. Adapun struktur rangkaian sensor QCM ditunjukkan pada gambar 2.7 (Casteleiro-Roca dkk., 2014):



Gambar 2.7 Bentuk Potongan AT Kristal Kuarsa (Casteleiro-Roca dkk., 2014)

Setelah diketahui bahwa sensor QCM digunakan sebagai sensor massa suatu zat yang memiliki fase liquid, kemudian sensor tersebut memiliki kekurangan tidak dapat mendeteksi massa partikel gas. Hal tersebut menyebabkan perlunya pelapisan polimer yang digunakan sebagai medium penangkap molekul gas dari sampel yang diberikan. Pelapisan polimer pada permukaan elektroda QCM juga berfungsi sebagai reseptor molekul gas. Lapisan polimer yang telah ditambahkan dapat menyebabkan penurunan frekuensi resonansi dari QCM sehingga pelapisan polimer tersebut dinilai memiliki nilai stabilitas kontrol frekuensi yang tinggi apabila pelapisannya sesuai dengan petunjuk penggunaan (Szwacki dkk., 2006).

Pelapisan polimer pada QCM memiliki dua teknik yaitu teknik *electropolymerisation* dan teknik *spin-coating*. Metode *electropolymerisation* memanfaatkan beda potensial yang dialirkan pada elektroda QCM sedangkan teknik *spin-coating* memanfaatkan gerakan memutar yang terdapat pada sensor QCM. Lapisan polimer memiliki sifat *viscoelastic* dan memiliki pengaruh terhadap sensitivitas sensor QCM. Setiap jenis polimer mempunyai pengaruh yang berbeda-

beda sehingga pemilihan jenisnya diharapkan tepat dengan sampel yang diujikan supaya memperoleh hasil yang maksimal. Hasil yang maksimal akan didapatkan ketika sensor memiliki tingkat sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap molekul gas sampel. Selain itu, lapisan polimer yang telah diberikan pada sensor QCM juga berfungsi sebagai transduser yang mengubah data massa molekul gas menjadi data frekuensi resonansi (Szwacki dkk., 2006).

2.6 Osilator

Osilator merupakan suatu rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal pada rangkaian elektronika dengan mengubah tegangan DC menjadi gelombang pulsa. Perubahan siklus pada gelombang sinyal akan terjadi setiap detik yang disebut frekuensi osilator. Osilator dapat membangkitkan beberapa jenis gelombang. Adapun gelombang yang dapat dibangkitkan oleh osilator yaitu gelombang sinus, gelombang kotak dan gelombang segitiga. Terdapat beberapa jenis osilator dalam rangkaian elektronika diantaranya yaitu osilator *Wien-Bridge*, osilator RC, osilator Colpitts, osilator LC dan osilator kristal kuarsa. Osilator-osilator tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda (Fuada, 2013).

Beberapa osilator memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Teknologi osilator terbaru harus memiliki output frekuensi yang stabil, namun fakta menunjukkan bahwa rangkaian osilator yang dibutuhkan yaitu rangkaian yang dapat diubah-ubah frekuensinya. Hal tersebut menunjukkan bahwa osilator yang baik yaitu rangkaian yang dapat diubah-ubah output frekuensinya dan frekuensi tersebut dapat stabil apabila diubah. Teknologi *wireless* yang tengah berkembang saat ini menggunakan rangkaian osilator kristal kuarsa. Kristal kuarsa adalah salah

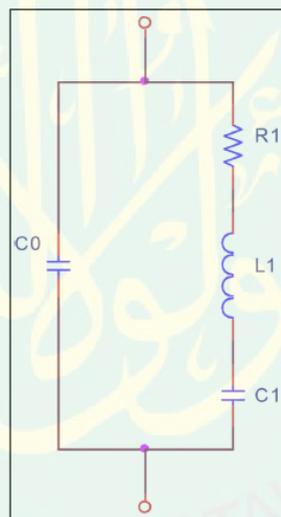
satu bahan yang dapat menghasilkan frekuensi stabil. Terdapat berbagai jenis kristal di alam yang dapat menunjukkan efek piezoelektrik. Kristal yang digetarkan dapat membangkitkan tegangan AC. Begitupun ketika kristal dialiri tegangan AC maka kristal akan bergetar dengan frekuensi yang sebanding dengan besar frekuensi tegangan masukan. 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).

Kristal kuarsa dinilai memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis kristal lain yang digunakan sebagai osilator. Beberapa kelebihan kristal kuarsa yaitu memiliki efek piezoelektrik stabil, tersedia di alam bebas dan biaya terjangkau. Adapun bentuk alami 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 X, potongan Y, potongan XY dan potongan AT. Jenis potongan yang digunakan pada sensor QCM yaitu potongan AT seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya (Malvino, 1982).

Sensor QCM memanfaatkan perubahan frekuensi untuk analisis data. Rangkaian yang digunakan membangkitkan frekuensi yaitu rangkaian Buuterworth-van Dyke (BvD). Rangkaian listrik BvD terdiri dari cabang kapasitor statis yang terhubung pada QCM. Kapasitor tersebut tersusun secara parallel dengan tiga komponen lain yaitu resistor, kapasitor dan induktor. Tiga komponen

terakhir itu tersusun secara seri. Rangkaian tersebut sesuai untuk perubahan mekanik, hubungan antara induktansi dan massa, kapasitansi dan kompliansi, serta resistansi dan friksi menggunakan prinsip elektromekanik dan factor k (Muckley dkk., 2016).

Rangkaian BvD memiliki dua cabang yang tersusun secara parallel. Rangkaian BvD digunakan dalam osilator QCM karena memiliki pendekatan yang lebih baik serta dapat mengaproksimasi penggunaan QCM pada kasus yang spesifik. Adapun Rangkaian BvD ditunjukkan pada gambar sebagai berikut (Casteleiro-Roca dkk., 2014).



Gambar 2.8 Rangkaian Butterworth-van Dyke (Casteleiro-Roca dkk., 2014)

Cabang pertama terdiri dari sebuah kapasitor statis (C_0) yang nilainya tergantung pada jenis QCM yang digunakan. Cabang kedua terdiri dari rangkaian RLC yang terhubung secara seri. Nilai C_0 , C_1 , L_1 dan R_1 ditunjukkan pada persamaan 2.2, 2.3, 2.4 dan 2.5 sebagai berikut (Casteleiro-Roca dkk., 2014).

$$C_0 = \frac{\varepsilon_{22}A}{h} \quad (2.2)$$

$$C1 = \frac{8K_0^2 C0}{(N\pi)^2} \quad (2.3)$$

$$L1 = \frac{1}{\omega_s^2 C1} \quad (2.4)$$

$$R1 = \frac{\eta_q}{c_{66} C1} \left(\frac{\omega}{\omega_s} \right)^2 \quad (2.5)$$

Keterangan :

- C0 : Kapasitansi Statis (F)
- ϵ : Permittivitas Bahan QCM
- A : Luas Permukaan Elektroda (m)
- h : Ketebalan Kristal (m)
- K₀ : Konstanta Elektromekanik
- ω_s : Frekuensi Resonansi Angular
- η : Viskositas QCM (Pa.s)
- c₆₆ : Konstanta Elastisitas QCM

Persamaan 2.2 menunjukkan karakteristik fisik dari QCM. Karakteristik fisik yang dimaksud yaitu jenis material dan dimensi kristalnya. Adapun persamaan 2.3 – 2.5 menyatakan hubungan nilai *output* QCM dengan komponen RLC yang terhubung. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa jenis kristal yang digunakan menentukan keluaran sensor. Perubahan nilai rangkaian RLC tergantung pada nilai C0 yang diberikan. Apabila nilai C0 konstan maka rangkaian RLC pada cabang kedua akan konstan juga. Hal tersebut yang menyebabkan rangkaian BvD dinilai stabil untuk digunakan sebagai rangkaian osilator sensor QCM (Casteleiro-Roca dkk., 2014).

2.7 OpenQCM

OpenQCM adalah sebuah alat *scientific* berbasis teknologi QCM yang memanfaatkan efek *piezoelectric*. Alat tersebut menggunakan arus AC untuk membangkitkan vibrasi mekanik dari kristal kuarsa dalam kisaran MHz. OpenQCM

merupakan salah satu proyek QCM terbuka dan fleksibel dengan menggunakan *board* elektronik Arduino sebagai inti (prosesor) dari alat tersebut. *Hardware* dari openQCM terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Arduino Micro board*, *QCM Arduino Shield*, dan *temperature shield*. Ketiga komponen tersebut berfungsi sebagai mikrokontroler, osilator, pencacah frekuensi dan pengukur temperatur. Hasil pengukuran frekuensi dan suhu ditampilkan berupa grafik pada *software* openQCM 1.2 dan data disimpan secara otomatis di dalam data logger openQCM.

2.7.1 Arduino Micro

Arduino micro adalah sebuah mikrokontroler yang menjadi inti dari openQCM dan berukuran kecil sehingga dapat sesuai dengan ukuran desain alat. Jenis mikrokontroler yang digunakan yaitu ATmega32u4 dengan CPU 8-bit yang beroperasi dengan frekuensi maksimal sebesar 16 MHz. Power supply yang dibutuhkan yaitu 5 VDC dengan penghubung berupa kabel penghubung *micro* USB. Kecepatan clock senilai 16 MHz. Pin 3.3 V digunakan sebagai *channel* masukan data analog dengan arus DC sebesar 50 mA. Komunikasi menggunakan *micro* USB memungkinkan kemudahan bagi berbagai pengguna dan berbagai kebutuhan riset (Novaetech, 2016).

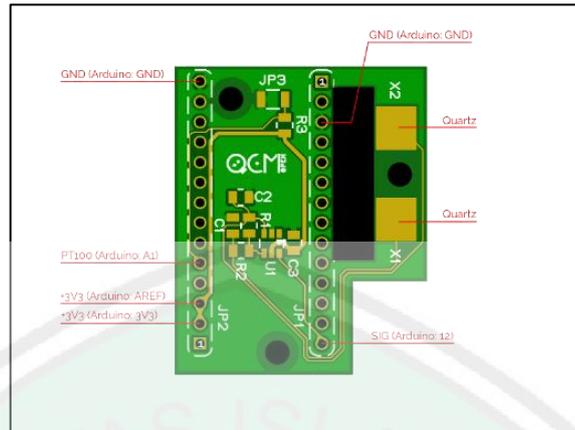


Gambar 2.9 *Arduino Micro* (Novaetech, 2016)

Source code dari openQCM-Arduino dapat diunduh pada *repository* openQCM-Arduino. OpenQCM-Arduino menggunakan *library FreqCount* eksternal untuk sinyal digital dengan menghitung jumlah sinyal selama pengukuran secara *real time*. Library ini dibangun oleh Paul Stoffregen yang terbukti bekerja secara *massive*. *Arduino timer* menyebabkan library dapat bekerja dengan menggunakan 16 MHz *Arduino clock* untuk perhitungan sinyal TTL dan penentuan interval waktu pengukuran. Sinyal digital yang diproses oleh *Arduino micro* didapatkan dari osilator. Jenis sinyal yang dikirim berupa sinyal TTL kompatibel dan interval waktu pengukuran sebesar 1 s yang memungkinkan untuk pengukuran sensor QCM dengan resolusi frekuensi sebesar 1 Hz (Novaetech, 2016).

2.7.2 QCM Arduino Shield

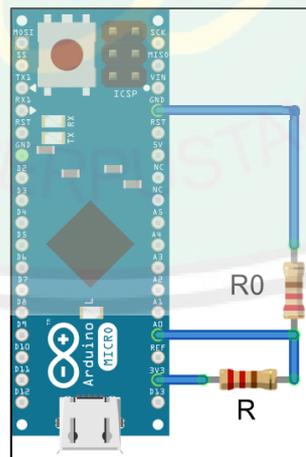
OpenQCM mempunyai modul khusus berupa *QCM Arduino shield* yang dapat digunakan sebagai penghubung sensor dengan *Arduino mikro*. Modul ini berfungsi sebagai osilator QCM. Sirkuit dari modul ini didesain untuk penggunaan analisis frekuensi QCM dengan jangkauan yang luas. Desain tersebut dapat meningkatkan stabilitas frekuensi dan efektivitas penggunaan *power supply*. Terdapat sensor pengukur temperatur pada rangkaian sirkuit *QCM Arduino shield*. Komponen tersebut dinilai penting untuk mengetahui stabilitas temperatur pada alat. Pengukuran data frekuensi dan suhu pada openQCM dapat menjadi informasi yang penting untuk berbagai penelitian (Novaetech, 2016).



Gambar 2.10 Rangkaian Sirkuit QCM Arduino Shield (Novaetech, 2016)

2.7.3 Sensor Pengukur Temperatur (*Temperature Sensor*)

Sensor temperatur yang digunakan dalam rangkaian openQCM yaitu *Resistance Temperature Detector* (RTD) PT100. RTD terhubung langsung dengan temperatur alat melalui prediksi hubungan linear. PT100 dihubungkan pada *voltage* yang terhubung secara linear. Resistansi PT100 dapat dihitung oleh pin 1 Arduino mikro dengan mengukur nilai *voltage*nya. Adapun gambar rangkaian RTD PT100 ditunjukkan pada gambar 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2.11 Rangkaian Sensor Temperatur (Novaetech, 2016)

Resistansi PT100 ditunjukkan sebagai R0 pada gambar. Resistor R pada rangkaian bernilai sebesar 100 ohm. Output rangkaian dihubungkan pada pin Vcc

Arduino mikro 3,3 V. Adapun tegangan yang diukur oleh analog pin A0 yaitu tegangan V0 pada Arduino mikro. *Source code* openQCM-Arduino yang menunjukkan pengukuran temperatur yaitu fungsi `getTemperature()`. Fungsi yang menunjukkan komunikasi data temperatur yaitu `dataPrint()`. Data string dapat terbaca oleh Arduino mikro ditunjukkan dengan tampilan “RAWMONITOR” pada awal *sketch*. Fungsi selanjutnya berfungsi untuk menampilkan data dengan nilai 255-bit yang diatur pada bagian akhir data transfer (Novaetech, 2016).

2.8 Pencacah Frekuensi (*Frequency Counter*)

Frekuensi adalah jumlah suatu objek khusus yang terjadi pada satu periode waktu. Salah satu instrumen elektronika yaitu *frequency counter* yang digunakan untuk mengukur jumlah frekuensi suatu sinyal elektronika. *Frequency counter* biasanya terbuat dari sebuah mikrokontroler dengan inputan berupa *timer* dan *counter* yang dapat digunakan untuk mengukur lebar sinyal, mengendalikan tegangan secara PWM (*Pulse Width Modulation*), dan diaplikasikan pada remote kontrol infra merah. *Frequency counter* bekerja dengan sebuah pencacah yang memiliki akumulasi jumlah kejadian dalam satu periode waktu. Nilai *counter* ditransfer pada display setelah periode frekuensi ditentukan, kemudian *counter* direset ke nol. Frekuensi *clock* osilator yang digunakan harus bernilai lebih besar dari frekuensi kejadian yang diukur supaya didapatkan hasil pengukuran frekuensi yang stabil. Ketelitian pengukuran frekuensi berbanding lurus dengan banyaknya jumlah siklus yang diukur (Afniza, 2008).

Salah satu komponen *frequency counter* yaitu basis pewaktu (*time base*). *Timebase* berpengaruh terhadap ketelitian *frequency counter*. Semakin tinggi

tingkat ketelitian *frequency counter* maka semakin tinggi pula ketelitian sirkuit *timebase* yang dibutuhkan. Salah satu sirkuit *timebase* dengan ketelitian tinggi dibangun dengan komponen kristal kuarsa (*quartz crystal*) yang bekerja pada sebuah ruang terisolasi dengan suhu yang terkontrol. Rangkaian tersebut dianggap memiliki ketelitian yang tinggi untuk mengukur suatu perubahan frekuensi (Afniza, 2008).

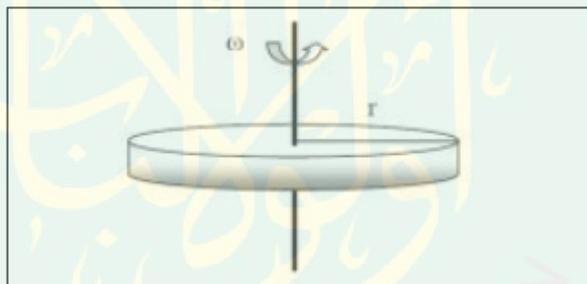
Frequency counter dapat digunakan sebagai *timer* dan *counter* sesuai dengan sinyal inputan yang digunakan. Apabila *frequency counter* memiliki sinyal input yang sudah diketahui nilainya, maka *frequency counter* bekerja sebagai *timer* karena waktu operasi dapat ditentukan secara pasti. Apabila *frequency counter* memiliki sinyal input yang tidak diketahui nilainya, maka *frequency counter* bekerja sebagai *counter* karena kedudukannya hanya menyatakan jumlah sinyal yang diterima oleh *frequency counter* tersebut (Afniza, 2008).

Terdapat dua metode yang digunakan untuk mengukur frekuensi yaitu dengan mengukur frekuensi itu sendiri dan dengan mengukur periode sinyal input. 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. 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. Salah satu komponen utama dari *frequency counter* yaitu sebuah prosesor. Fungsi dari prosesor tersebut yaitu melakukan proses pencacahan

dan operasi aritmatika. Jenis prosesor dapat disesuaikan dengan objek yang akan diukur frekuensinya (Kurniawan, 2009).

2.9 Spin Coating

Metode *spin coating* adalah metode pembentukan lapisan tipis melalui *spin* (pemutaran) bahan yang akan dilapisi. Bahan yang digunakan sebagai lapisan tipis dibuat dalam fase liquid atau berbentuk larutan. Larutan tersebut diteteskan pada substrat (dalam hal ini yaitu sensor QCM) yang terpasang pada piringan dengan kecepatan putar yang tinggi. Larutan yang diteteskan akan tertarik ke pinggir dan tersebar merata ke seluruh permukaan substrat karena adanya gaya sentripetal (Hidayat dkk., 2014).



Gambar 2.12 Sketsa Metode *Spin Coating* (Hidayat dkk., 2014)

Pembuatan lapisan tipis dengan metode *spin coating* dilakukan dengan menuangkan larutan diatas gelas substrat yang diletakkan di atas *spin coater*. Proses pelapisan dilakukan dengan memutar *coater* berkecepatan tinggi dan dalam waktu tertentu. Semakin cepat putaran *coater* akan diperoleh lapisan yang semakin homogen. Prinsip kerja metode *spin coating* terbagi menjadi tiga bagian yaitu tahap penetasan larutan (*dispense*), tahap percepatan *spin coater* dan tahap pengeringan (Purwanto & Prajitno, 2013).

Tahap penetasan pada metode *spin coating* dibagi menjadi dua yaitu *static dispense* dan *dynamic dispense*. *Static dispense* yaitu proses disposisi sederhana yang dilakukan pada larutan di atas pusat substrat, sedangkan *dynamic dispense* yaitu proses disposisi dengan kecepatan putar sekitar 500 rpm. Tahap percepatan *spin coating* dilakukan setelah tahap proses penetasan. Peningkatan kecepatan putar *coater* dilakukan supaya gaya sentrifugal meningkat dan terjadi turbulensi larutan. Nilai kecepatan yang digunakan antara 1500-6000 rpm bergantung pada sifat cairan. Durasi putar alat yang digunakan antara 1-10 menit. Setelah peningkatan kecepatan putar yaitu tahap pengeringan. Pengeringan substrat dapat dilakukan secara alami atau menggunakan bantuan alat pengering. Metode pengeringan dapat disesuaikan dengan jenis larutan lapisan dan ketebalan lapisan (Purwanto & Prajitno, 2013).



Gambar 2.13 Vacuum Spin Coater VTC-100 (Equipmentimes, 1994)

Spin coater yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.3 sebagai berikut (Equipmentimes, 1994).

Tabel 2.4 *Data Sheet Vacuum Spin Coater* (Equipmentimes, 1994)

Spesifikasi	Keterangan
Model	VTC-100 <i>Vacuum Spin Coater</i>
Pengantar Singkat	VTC-100 <i>Vacuum Spin Coater</i> biasa digunakan untuk pembentukan film di laboratorium; memanfaatkan mesin putar dengan kecepatan putar yang tinggi; dapat digunakan untuk melapisi larutan dalam fase sol-gel dan larutan dengan viskositas tinggi pada permukaan sampel; dapat digunakan untuk penelitian dengan jangkauan luas dalam skala laboratorium, universitas dan pabrik.
Fitur Utama	<ul style="list-style-type: none"> - Terdapat dua segmen kontrol kecepatan putar yang terprogram; - <i>Vacuum</i> dapat mengencangkan substrat, mudah untuk digunakan; - Bahan utama terbuat dari aluminium yang stabil dan <i>noise</i> rendah
Parameter Teknik	<ul style="list-style-type: none"> - Pengaturan kecepatan: dua segmen pengatur kecepatan antara 500-8000 rpm; - Pengaturan waktu putar: dua segmen antara 1-30 s; - Kecepatan aliran pompa vakum : lebih dari 60L/m - Power: 70W
Spesifikasi	Ukuran alat: 400mm x 300mm x 200mm, Berat: 20 Kg
Aksesoris Standar	<ul style="list-style-type: none"> - Vakum chuck dengan diameter 25 mm, 50mm, 100 mm; - <i>Slurry feeder</i>: 1 pc; - <i>Power cord</i>: 1 pc; - Pompa vakum Oilless 70L/m
Aksesoris Opsional	<ul style="list-style-type: none"> - Pompa Vakum minyak senilai 60L/m - <i>Particular vacuum chuck</i>
Paket Standar	- Carton untuk transpor jarak jauh

2.10 Sensor dalam Al-Quran

Perkembangan teknologi saat ini ditunjukkan dengan banyaknya hasil-hasil penelitian dalam berbagai bidang. Perkembangan teknologi sensor juga mengalami peningkatan yang pesat. Terciptanya teknologi sensor tersebut tidak lepas dari peran ilmuan yang selalu meningkat kinerjanya dalam penelitian-penelitian tentang sensor. Hal tersebut ditunjukkan dengan firman Allah dalam al-Qur'an Surah Ali Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا
وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا تُسَبِّحُكَ فَقِنَا
عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, pergantian siang dan malam terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata) Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia, Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka” (QS. Ali Imran[3] : 190-191).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah memberikan anugerah berupa kefahaman tentang kebesarannya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian siang dan malam kepada orang-orang yang berakal (Ulil Albab). Ulil Albab dalam ayat tersebut dapat diartikan sebagai orang-orang berakal yang senantiasa bertafakur akan ciptaan-ciptaan Allah dan fenomena-fenomena alam semesta. Orang-orang tersebut termasuk ilmuwan-ilmuan atau ahli dalam berbagai bidang yang dikaruniai pemahaman tentang ciptaan Allah. Karunia tersebut dapat diaplikasikan untuk menciptakan teknologi-teknologi terbaru sesuai kebutuhan manusia saat ini (Rohman, 1996). Tujuan dari adanya kemajuan teknologi yaitu untuk memudahkan aktivitas manusia dan meningkatkan kesejahteraan manusia. Anjuran Allah untuk saling memudahkan dan berbuat baik ditunjukkan dalam al-Qur'an Surah al-Isra ayat 7 sebagai berikut :

إِنْ أَحْسَنْتُمْ أَحْسَنْتُمْ لِأَنْفُسِكُمْ وَإِنْ أَسَأْتُمْ فَلَهَا فَإِذَا جَاءَ وَعْدُ الْآخِرَةِ لِيَسُوءَ وُجُوهَكُمْ وَلِيَدْخُلُوا الْمَسْجِدَ
كَمَا دَخَلُوهُ أَوَّلَ مَرَّةٍ وَلِيُتَبِّرُوا مَا عَلَوْا تَتْبِيرًا ﴿٧﴾

“Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan jika kamu berbuat jahat, maka (kejahatan) itu bagi dirimu sendiri dan apabila datang saat hukuman bagi (kejahatan) yang kedua, (kami datangkan orang-orang lain) untuk menyuramkan muka-muka kamu dan mereka masuk ke dalam masjid sebagaimana musuh-musuhmu memasukinya pada kali pertama dan untuk

membinasakan sehabis-habisnya apa saja yang mereka kuasai” (QS. al-Isra’[17] : 7).

Perlu digaris bawahi untuk keterangan berbuat baik bagi orang lain berarti berbuat baik kepada diri sendiri. Makna dari berbuat baik dapat berupa memudahkan urusan orang lain karena sesungguhnya kebaikan yang dilakukan untuk orang lain akan kembali pada diri sendiri (Rohman, 1996). Terciptanya teknologi sensor merupakan salah satu upaya memudahkan aktivitas manusia. Sensor yang telah berkembang saat ini berjumlah banyak dengan berbagai macam kegunaan. Salah satunya yaitu sensor pengecap atau sensor lidah elektronik. Sensor lidah elektronik merupakan salah satu teknologi pengganti fungsi organ tubuh manusia. Allah SWT telah menganugerahi manusia dengan panca indera yang harus dijaga dan digunakan sesuai dengan fungsinya. Hal tersebut ditunjukkan oleh firman Allah SWT dalam al-Qur’an Surah al-Balad ayat 8-9 yaitu:

أَلَمْ جَعَلْ لَّهُ عَيْنَيْنِ ﴿٨﴾ وَلِسَانًا وَشَفَتَيْنِ ﴿٩﴾

“Bukankah kami telah memberikan kepadanya dua buah mata, lidah dan dua buah bibir?” (QS. al-Balad[90]:8-9)

Indera penglihatan dan perasa yang ada pada manusia merupakan salah satu nikmat yang bermanfaat sehingga dapat tercipta pengetahuan-pengetahuan baru dari indera tersebut. Panca indera yang telah dianugerahkan oleh Allah SWT harus dijaga dan digunakan sesuai dengan fungsinya. Mata digunakan untuk melihat dan lidah digunakan untuk merasakan suatu zat. Organ tersebut memiliki keterbatasan dalam melakukan fungsinya. Organ lidah pun memiliki keterbatasan dalam mendeteksi zat-zat tertentu. Hal tersebut yang menyebabkan perlunya pembuatan sensor lidah karena tidak semua zat dapat langsung dicicipi oleh lidah karena zat

yang berbahaya tidak dapat diidentifikasi menggunakan panca indera secara langsung. Ayat tersebut juga menunjukkan hikmah yang dapat menjadi inspirasi para peneliti untuk menciptakan suatu alat. Arti ayat “*bukankah kami telah*” menunjukkan bahwa manusia diperintah untuk mengingat sesuatu yang telah dianugerahkan Allah kepadanya. Hal tersebut dapat menjadi dasar atau inspirasi sehingga dapat terciptanya teknologi sensor (Rohman, 1996).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang karakterisasi sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol terhadap respon HCl dan NaCl ini dilaksanakan pada 2 Juli 2018 sampai selesai di Laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika Material Maju dan Plasma fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-Alat Penelitian

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Spesifikasi
1	Holder QCM	1	Panjang 13,46 mm
2	Kristal Kuarsa	2	Elektroda Perak Diameter 8.9 mm
3	Gelas Beaker	5	Ukuran 100 ml
4	Open QCM	1	Serangkaian
5	Mikro Pipet Tetes	1	Ukuran 100-1000 μ L
6	Botol Semprot	2	Ukuran 500 ml
7	Pot Sampel Plastik	10	Ukuran 100 ml
8	Pot Sampel Kaca	20	Ukuran 20 ml
9	Pot Sensor Plastik	2	Ukuran 20 ml
10	Neraca	1	Neraca digital
11	Personal Computer	1	PC Windows 8
12	Software QCM	1	<i>Available for Windows</i>
13	Microsoft Excel	1	Versi 2016
14	Spatula	1	Bahan Logam
15	Gelas Ukur	2	Ukuran 5 ml
16	Gelas Ukur	1	Ukuran 100 ml
17	Kertas Label	Secukupnya	
18	Kabel Jumper	2	Penjepit Buaya
19	<i>Blue Tip</i>	30	100-1000 μ L
20	Kabel USB	1	<i>Micro USB</i>

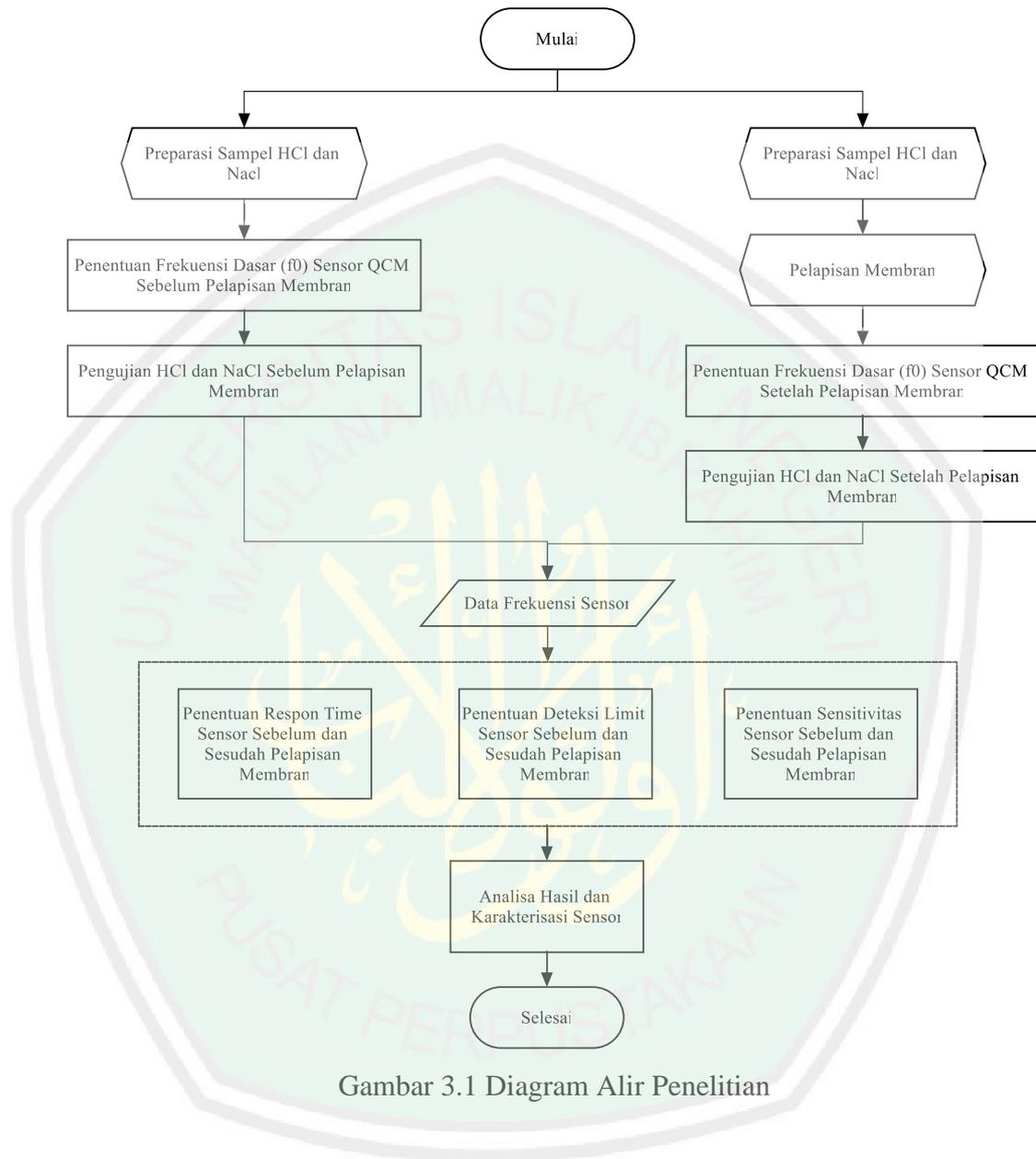
21	<i>Vacuum Spin Coater</i>	1	VTC-100
22	Pinset	1	Ukuran 10 cm
23	Masker Wajah	Secukupnya	
24	Sarung Tangan	Secukupnya	Ukuran L
25	OriginPro	1	Versi 2017
26	OpenQCM 1.2	1	<i>Compatible for Windows</i>

3.2.2 Bahan-bahan Penelitian

Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi
1	HCl	Fase Cair Konsentrasi 10-550 mM
2	NaCl	Fase Kristal Konsentrasi 10-2000 mM
3	Oleyl Alkohol	Fase Cair
4	Aquades	Kemurnian 99%
5	Tetrahydrofuran (THF)	Fase Cair
6	Polyvinyl Chlorida (PVC)	Fase Cair
7	Plasticizer: 2-NPOE	Fase Cair

3.3 Diagram Alir Penelitian

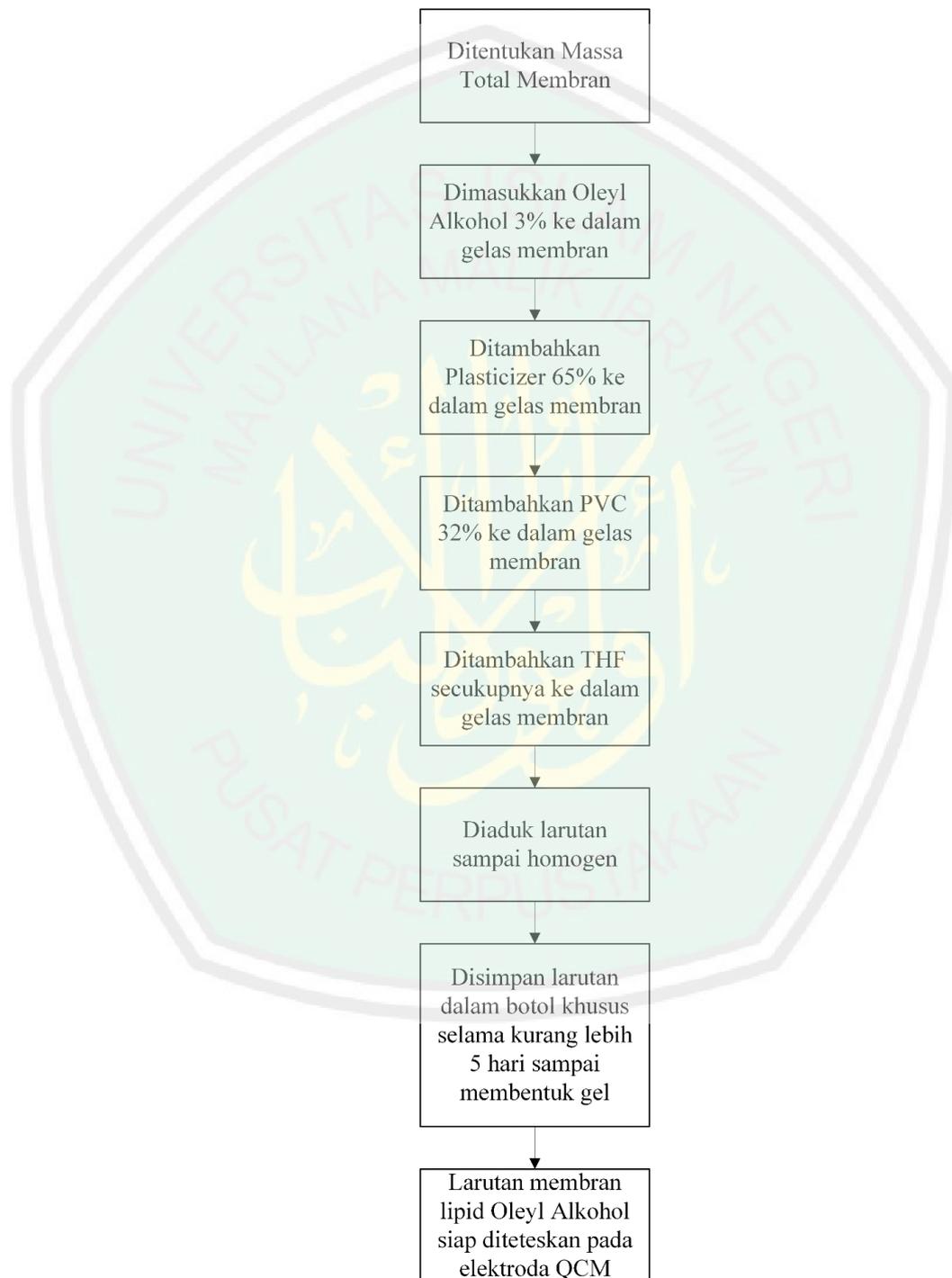


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahap Persiapan

- 1) Dilakukan pembuatan membran lipid Oleyl Alkohol dengan proses pembuatan ditunjukkan pada keterangan dan gambar berikut:
 - a. Disiapkan komponen membran lipid yang terdiri dari Oleyl Alkohol, *plasticizer*:2-NPOE, *polivinyll chloride* (PVC) dan *tetrahydrofuran* (THF).
 - b. Ditentukan massa total membran yang akan digunakan.
 - c. Dilakukan pengukuran komposisi bahan membran sesuai dengan massa total dengan presentase bahan oleyl Alkohol sebanyak 3%, *plasticizer*:2-NPOE sebanyak 65%, *polivinyll chloride* (PVC) sebanyak 32 % dan *tetrahydrofuran* (THF) secukupnya.
 - d. Ditempatkan lipid oleyl Alkohol sebanyak 3% pada gelas membran yang berfungsi sebagai bahan aktif membran yang berinteraksi langsung dengan sampel.
 - e. Ditambahkan PVC sebanyak 32% dari massa total ke dalam gelas membran.
 - f. Ditambahkan *plasticizer*:2-NPOE sebanyak 65% dari massa total ke dalam gelas membran yang berfungsi sebagai pemlastis membran.
 - g. Ditambahkan Tetrahydrofuran (THF) secukupnya pada gelas membran yang berfungsi sebagai pelarut antara oleyl Alkohol, *plasticizer*:2-NPOE dan PVC.
 - h. Dilakukan pengadukan pada campuran membran sampai homogen.

- i. Dibiarkan campuran membrane selama 5 hari sehingga membentuk gel dan disimpan dalam botol khusus.
- j. Membran siap digunakan untuk tahap pelapisan.



Gambar 3.2 Proses Pembuatan Membran

- 2) Dilakukan pengukuran HCl menggunakan gelas ukur dan NaCl menggunakan neraca analitik yang digunakan sebagai sampel sesuai dengan variasi konsentrasi sesuai rencana penelitian. Adapun HCl yang digunakan berupa larutan pekat sehingga harus diencerkan, sedangkan NaCl yang digunakan berupa kristal yang harus dilarutkan.
- 3) Dilakukan pengenceran HCl dan pelarutan NaCl dengan aquades sesuai dengan variasi konsentrasi sampel yang digunakan.
- 4) Dilakukan pemasangan sensor QCM pada holder QCM.

3.5 Tahap Pelapisan Membran

Dilakukan persiapan pelapisan elektroda menggunakan metode *spin coating* yaitu sebagai berikut:

- 1) Dilakukan pengenceran membran yang telah disimpan selama 24 jam kembali menggunakan THF dengan perbandingan 1:1 pada botol lain dan ditunggu selama 10 menit sampai homogen.
- 2) Disiapkan mesin *spin coater* tipe VTC-100 dengan menyalakan tombol power dan pompa vakum.
- 3) Dilakukan vakum pada mesin selama kurang lebih 2 menit.
- 4) Dilakukan penutupan dinding sekitar *rotary spin coater* menggunakan aluminium foil untuk melindungi dinding dari larutan yang diteteskan.
- 5) Dipasangkan sensor QCM beserta holdernya pada chuck *spin coater*.
- 6) Ditutup ruang *rotary spin coater* sebelum alat dijalankan.
- 7) Dilakukan pengukuran besar kecepatan dan waktu putar. Terdapat dua kecepatan putar dan dua waktu putar. Kecepatan putar awal yaitu 500 rpm

selama 10 s sebagai persiapan. Kecepatan putar selanjutnya yaitu 3000 rpm selama 60 s.

- 8) Ditekan tombol "Run" pada mesin untuk menjalankan alat. Mesin akan berputar pada kecepatan awal sebesar 500 rpm dengan durasi T_1 selama 10 s.
- 9) Diambil larutan membran sebanyak 50 μL ketika mesin berputar pada T_1 dan ditempatkan diatas sensor QCM.
- 10) Dilakukan penetes larutan pada sensor QCM ketika mesin sudah mengalami peningkatan kecepatan putar atau pada T_2 dengan sekali tetes.
- 11) Ditunggu sampai mesin berhenti berputar.
- 12) Diambil sensor QCM secara perlahan menggunakan pinset.
- 13) Dikeringkan sensor QCM selama 24 jam dan siap digunakan untuk pengujian sampel.

3.6 Tahap Pengambilan Data

3.6.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar

- 1) Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran dihubungkan dengan openQCM.
- 2) Holder dan sensor QCM ditempatkan pada botol sensor, kemudian dihubungkan dengan openQCM menggunakan kabel jumper.
- 3) Dijalankan *software* openQCM 1.2 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 rata-rata dan analisis data sehingga didapatkan frekuensi dasar sensor (f_0) yang akan dicantumkan seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Kontrol

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

3.6.2 Tahap Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran

- 1) Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran dipasangkan pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor dan dihubungkan pada openQCM menggunakan kabel jumper.
- 2) Sampel HCl diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.4.
- 3) *Software* openQCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.
- 4) Sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl menggunakan aquades.
- 5) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.

- 6) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel dengan format tabel seperti tabel 3.4.

Tabel 3.4 Rencana Data HCl Sebelum Pelapisan

Konsentrasi (mM)	HCl dengan Elektroda Perak Murni	
	Waktu (s)	Frekuensi(Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		

3.6.3 Tahap Pengambilan Data NaCl Sebelum Pelapisan Membran

- 1) Sensor QCM dengan elektroda perak tanpa lapisan membran dipasang pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor dan dihubungkan pada openQCM menggunakan kabel jumper.
- 2) Sampel NaCl diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.5.
- 3) *Software* openQCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.
- 4) Sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel NaCl menggunakan aquades.
- 5) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.

- 6) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel dengan format tabel seperti pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Rencana Data NaCl Sebelum Pelapisan

Konsentrasi (mM)	NaCl dengan Elektroda Perak Murni	
	Waktu (s)	Frekuensi(Hz)
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		
1100		
1200		
1300		
1400		
1500		
1600		
1700		
1800		
1900		
2000		

3.6.4 Tahap Pengambilan Data HCl

- 1) Sensor QCM yang telah dilapisi membran lipid Oleyl Alkohol dipasang pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor dan dihubungkan pada openQCM menggunakan kabel jumper.
- 2) Sampel HCl diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.6.
- 3) *Software* openQCM dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.

- 4) Sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl menggunakan aquades.
- 5) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.
- 6) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft Excel dengan format tabel seperti tabel 3.6.

Tabel 3.6 Rencana Variasi Sampel HCl

Konsentrasi (mM)	HCl dengan Membran Lipid	
	Waktu (s)	Frekuensi(Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		

3.6.5 Tahap Pengambilan Data NaCl

- 1) Sensor QCM yang telah dilapisi membran lipid Oleyl Alkohol dipasangkan pada holder QCM, kemudian ditempatkan pada botol sensor dan dihubungkan pada openQCM menggunakan kabel jumper.
- 2) Sampel NaCl diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada tabel 3.7.
- 3) *Software* openQCM dijalankan dan ditunggu selama 5 menit.
- 4) Sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel NaCl menggunakan aquades.

- 5) *Software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan.
- 6) Seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsof Excel dengan format tabel sesuai tabel 3.7.

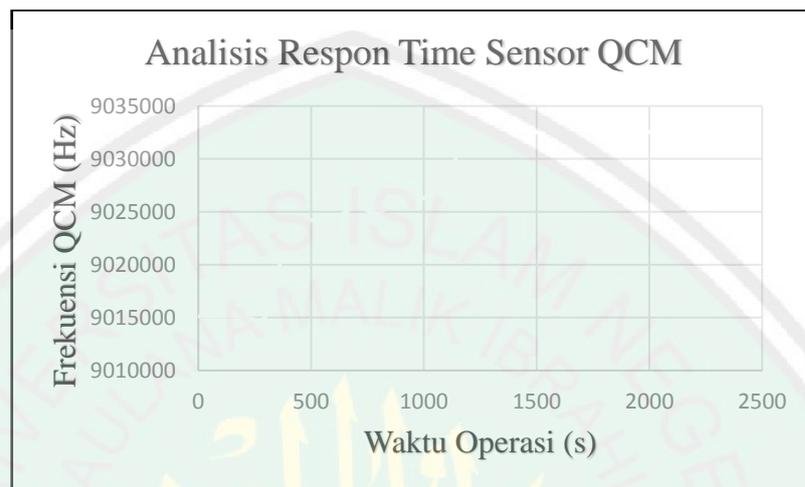
Tabel 3.7 Rencana Variasi Sampel NaCl

Konsentrasi (mM)	NaCl dengan QCM Membran Lipid	
	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		
1100		
1200		
1300		
1400		
1500		
1600		
1700		
1800		
1900		
2000		

3.7 Tahap Pengolahan Data

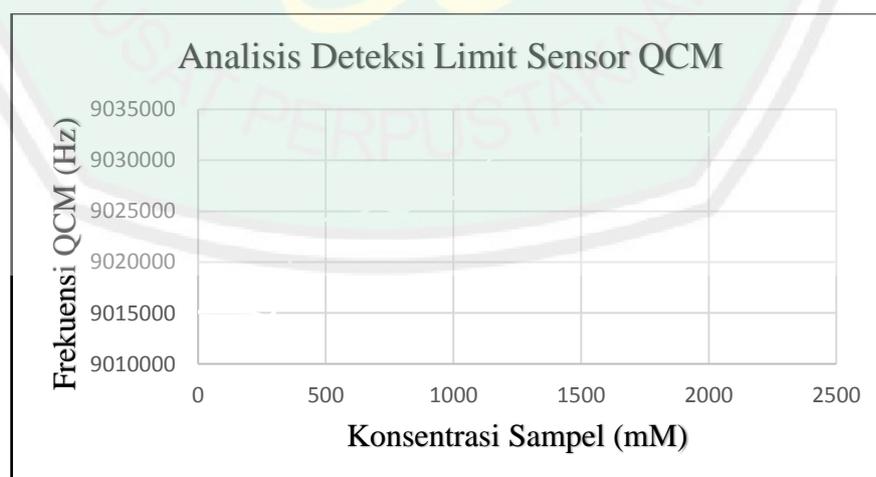
- 1) Dilakukan penentuan frekuensi dasar (f_0) pada sensor QCM sebelum dan sesudah pelapisan membran dengan melakukan percobaan minimal 5 kali untuk mendapatkan frekuensi dasar sensor dalam keadaan *steady state*.

- 2) Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel antara variabel waktu dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui tingkat *response time* sensor menggunakan *software* OriginPro 2017 yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rencana Analisis *Response Time* Sensor

- 3) Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel antara variabel konsentrasi sampel dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui deteksi limit sensor menggunakan *software* OriginPro 2017 yang ditunjukkan pada gambar 3.4



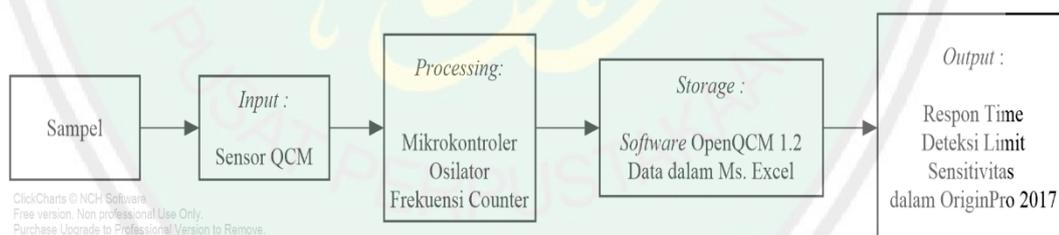
Gambar 3.4 Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor

- 4) Dilakukan analisis grafik deteksi limit dengan menentukan daerah mati, daerah kerja dan daerah saturasi sensor.
- 5) Dilakukan regresi grafik pada bagian daerah kerja sensor menggunakan *fit linear* untuk mengetahui nilai linearitas dan sensitivitas sensor.
- 6) Dilakukan analisis hasil berupa karakterisasi dan sensitivitas sensor.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor QCM yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah sebuah sensor elektromekanik yang memanfaatkan efek *piezoelectric* untuk pengujian sampel. Penelitian tentang sensor QCM dapat dikembangkan untuk sensor rasa pada makanan. Adapun *output* yang dianalisis berupa perubahan frekuensi sensor. Sistem sensor QCM terdiri dari *hardware* dan *software* yang memiliki fungsinya masing-masing. Terdapat beberapa komponen *hardware* penyusun sistem sensor diantaranya kristal kuarsa, holder QCM, beberapa komponen elektronika dan prosesor yang diproduksi oleh openQCM. *Software* yang digunakan dalam sistem sensor QCM yaitu *software* openQCM 1.2 yang dibangun menggunakan aplikasi pemrograman java. Sensor QCM dijalankan dan dikontrol menggunakan PC sehingga menghasilkan *output* yang tersimpan di dalam data logger. Adapun tahap penggunaan sistem sensor QCM ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Akuisisi Data Sensor QCM

Sistem sensor QCM secara garis besar terbagi menjadi empat bagian yaitu bagian masukan (*input*), bagian pemrosesan data (*processing*), bagian *storage* dan bagian keluaran (*output*). Sampel yang digunakan untuk pengujian sensor yaitu HCl dan NaCl. Sampel HCl diuji untuk mewakili rasa asam, sedangkan NaCl diuji untuk

mewakili rasa asin. Bagian *input* terdiri atas sensor QCM yang menggunakan dua variasi elektroda. Elektroda yang digunakan sebagai variasi yaitu elektroda perak murni dan elektroda perak dengan lapisan membran lipid. Penggunaan dua variasi elektroda bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dan selektivitas sensor.

Bagian pemrosesan data pada sensor secara garis besar terdiri atas mikrokontroler, osilator dan *frequency counter*. Ketiga komponen tersebut diproduksi oleh openQCM sehingga langsung bisa digunakan secara praktis. Komponen penyusun openQCM terdiri dari Arduino *micro*, QCM Arduino *Shield* dan sensor temperatur.

Bagian *storage* sistem terdiri atas *software* openQCM 1.2 dan data logger frekuensi dan suhu. *Software* openQCM 1.2 menampilkan grafik frekuensi dan suhu selama pengujian secara *real time*. *Software* tersebut dibangun menggunakan aplikasi Javascript yang dapat digunakan pada *Platform* Windows, Linux dan Mac OS X. Data hasil uji sampel yang telah diuji akan tersimpan di dalam *data logger* sensor untuk dilakukan analisis. Ekstensi file yang digunakan untuk data logger yaitu .txt supaya tersimpan pada *Microsoft Excel* secara otomatis.

Bagian keluaran (*output*) yaitu karakteristik sensor berupa *response time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor yang diolah menggunakan *software* OriginPro 2017. *Response time* sensor ditentukan dengan plot grafik antara waktu dan frekuensi keluaran sensor. Deteksi limit dan sensitivitas sensor ditentukan dengan plot grafik antara konsentrasi dan frekuensi osilasi sensor. Analisis yang digunakan untuk menentukan sensitivitas yaitu analisis regresi linear.

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Preparasi dan Proses Pengujian Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel larutan asam klorida (HCl) dan larutan natrium klorida (NaCl). Konsentrasi larutan HCl yang digunakan sebanyak 10 variasi konsentrasi dengan kisaran antara 100-550 mM interval 50 mM. Konsentrasi larutan NaCl berjumlah 20 variasi konsentrasi kisaran 100-2000 mM dengan interval konsentrasi sebesar 100 mM. Adapun proses preparasi sampel akan dipaparkan sebagai berikut.

Sampel asam klorida (HCl) digunakan untuk mewakili zat asam pada suatu produk. Variasi konsentrasi larutan yang digunakan berjumlah 10 konsentrasi yaitu 100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM, 300 mM, 350 mM, 400 mM, 450 mM, 500 mM dan 550 mM. Penggunaan variasi konsentrasi sampel tersebut bertujuan untuk mengetahui respon sensor terhadap konsentrasi zat yang bernilai sangat kecil. Semakin kecil konsentrasi sampel yang dapat direspon oleh sensor, maka semakin tinggi sensitivitas yang dimiliki sensor tersebut .

Sampel larutan HCl dibuat dengan pengenceran larutan pekat HCl dengan presentase kadar kepekatan sebesar 32% dan nilai molaritas sebesar 10.53 M. Sepuluh variasi konsentrasi dibuat dengan menggunakan rumus pengenceran sebagai berikut.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2 \quad (4.1)$$

Keterangan	:	
M_1	:	Konsentrasi HCl pekat
V_1	:	Volume HCl pekat
M_2	:	Konsentrasi pengenceran yang diinginkan
V_2	:	Volume pengencer (aquades) yang digunakan

Volume HCl pekat yang digunakan sesuai dengan konsentrasi pengenceran yang digunakan. Konsentrasi larutan yang diencerkan sesuai dengan variasi konsentrasi sampel yaitu 100 mM-550 mM dengan interval konsentrasi sebesar 50 mM. Zat pengencer yang digunakan yaitu aquades dengan volume sebesar 100 ml. Adapun jumlah volume HCl pekat pada masing-masing konsentrasi sampel berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Daftar Volume HCl Pekat pada Sampel

No.	Konsentrasi M_2 (mM)	Volume V_1 (L)
1	100	0.000949668
2	150	0.001424501
3	200	0.001899335
4	250	0.002374169
5	300	0.002849003
6	350	0.003323837
7	400	0.00379867
8	450	0.004273504
9	500	0.004748338
10	550	0.005223172

Volume HCl pekat yang telah ditentukan kemudian diencerkan sesuai dengan daftar sampel yang digunakan. Proses pengenceran dilakukan dengan menggunakan peralatan yang sesuai dengan SOP laboratorium. Jumlah volume HCl pekat yang sangat kecil diukur menggunakan mikropipet supaya mendapatkan konsentrasi sampel yang presisi. Sampel yang telah dibuat kemudian ditempatkan dalam botol sampel yang sudah disediakan.

Natrium klorida (NaCl) yang digunakan memiliki fase padatan (kristal). Pembuatan sampel yang diujikan pada sensor QCM menggunakan proses pelarutan. Terdapat 20 variasi konsentrasi larutan NaCl yang akan diujikan yaitu 100 mM-2000 mM dengan interval konsentrasi sebesar 100 mM. Penentuan jumlah NaCl

dalam setiap konsentrasi sampel menggunakan persamaan pelarutan sebagai berikut.

$$M = \frac{m}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (4.2)$$

Keterangan :
 M : Konsentrasi sampel yang dilarutkan (M)
 m : Massa NaCl setiap sampel (gr)
 Mr : Massa molekul relatif NaCl (58,5 g/mol)
 V : Volume pelarut (ml)

Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan 20 variasi konsentrasi sampel yang diujikan. Adapun pelarut yang digunakan yaitu aquades dengan volume sebesar 10 ml untuk setiap sampel. Perhitungan massa untuk setiap sampel dengan persamaan diatas ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Daftar Massa NaCl

No.	Konsentrasi Larutan (mM)	Massa NaCl (gram)
1	100	0.06
2	200	0.12
3	300	0.17
4	400	0.23
5	500	0.29
6	600	0.38
7	700	0.41
8	800	0.47
9	900	0.53
10	1000	0.58
11	1100	0.64
12	1200	0.7
13	1300	0.76
14	1400	0.82
15	1500	0.88
16	1600	0.94
17	1700	1.00
18	1800	1.05
19	1900	1.12
20	2000	1.17

Proses pelarutan NaCl dilakukan dengan alat ukur yang sesuai SOP laboratorium. Massa NaCl untuk setiap sampel diukur menggunakan neraca digital, sedangkan jumlah pelarut diukur menggunakan gelas ukur. Setiap sampel dilarutkan dalam *beaker glass* dan diaduk sampai larutan menjadi homogen. Setelah proses pelarutan selesai kemudian sampel disimpan dalam botol tertutup supaya tidak keruh.

Proses pengujian sampel dilakukan setelah kedua sampel siap. Masing-masing sampel diuji pada sensor QCM dengan cara meneteskan satu persatu secara bergantian dengan volume 100 μ l. Pengujian sampel dapat dilakukan setelah preparasi sampel. Sensor QCM ditempatkan dalam wadah tertutup supaya tidak terkena gangguan seperti udara dan tekanan yang berlebihan. Kemudian sensor QCM dihubungkan dengan rangkaian openQCM menggunakan kabel jumper. Rangkaian openQCM dan sensor QCM dihubungkan dengan PC menggunakan kabel USB. *Software* openQCM 1.2 dijalankan untuk memulai dan mengakhiri proses akuisisi data.

Sensor QCM dengan elektroda perak murni dijalankan untuk mengetahui frekuensi dasar (f_0) yang dimiliki sensor. Proses pengambilan data f_0 dilakukan selama 5 menit dan dilakukan pengulangan sebanyak lima kali. Hasil pengulangan selama proses akuisisi data kemudian dirata-rata untuk mendapatkan f_0 yang dijadikan sebagai kontrol dalam pengujian sampel.

Pengujian sampel dimulai dengan konsentrasi paling rendah menuju konsentrasi paling tinggi. Setiap konsentrasi sampel diujikan dengan cara diteteskan pada permukaan sensor QCM sebanyak 100 μ l menggunakan

mikropipet. Diamati *response time* sensor selama sistem dijalankan. Durasi yang digunakan dalam pengambilan data selama 5 menit. Hal tersebut dikarenakan nilai *response time* sensor yang didapatkan kurang dari 1 menit, sehingga untuk mendapatkan data yang stabil dapat menggunakan durasi selama 5 menit. Kemudian dilakukan pengulangan sebanyak lima kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Sensor QCM dibersihkan dengan cara dibilas menggunakan aquades dan dikeringkan menggunakan blower setiap pergantian sampel. Pengujian f_0 harus selalu dilakukan setiap pergantian sampel. Hal tersebut merupakan proses kontrol dan kalibrasi sensor. Apabila nilai f_0 berubah setelah dicuci dan dikeringkan, maka sensor belum dapat digunakan pada pengujian selanjutnya. Sensor QCM harus ditunggu hingga benar-benar kering dan memiliki f_0 yang sama seperti sebelum pengujian sampel. Data frekuensi dan suhu selama proses pengujian disimpan dengan ekstensi file .txt. Ekstensi file tersebut digunakan supaya memudahkan dalam tahap selanjutnya. Pengujian sensor QCM dengan lapisan membran lipid juga dikenai perlakuan yang sama dengan sensor QCM elektroda perak murni.

Setelah semua sampel diujikan pada dua jenis sensor maka dilakukan pengolahan data. Adapun jumlah data yang didapatkan yaitu sebanyak 300 data dan diambil pada 200 data terakhir untuk dilakukan analisis. Data pengulangan setiap sampel dirata-rata dan digabungkan menjadi satu dalam *software* Ms. Excel 2016. Pengambilan data yang pertama kali dapat dianalisis dan diamati *response time* sensor. Selanjutnya data masing-masing sampel dimasukkan dalam *software* OriginPro 2017 untuk dilakukan *plotting* data. Kegiatan *plotting* data dilakukan

supaya dapat ditentukan deteksi limit dan sensitivitas sensor. Sensitivitas sensor dapat diketahui setelah ditentukan daerah kerja sensor. Daerah kerja sensor kemudian dianalisis menggunakan regresi linear pada *software* OriginPro 2017. Analisis regresi linear menghasilkan persamaan kemiringan kurva $y = a \pm bx$, dimana a menunjukkan nilai garis potong (*intercept*) kurva dan b menunjukkan nilai kemiringan (*slope*) kurva.

4.1.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor

Data yang dihasilkan dari pengujian sensor QCM yaitu frekuensi osilasi sensor. Semakin besar konsentrasi sampel yang diujikan maka data hasil pengujian sensor menunjukkan penurunan frekuensi osilasi sensor. Terdapat dua jenis sampel yang diujikan yaitu sampel HCl dan sampel NaCl. Setiap sampel diujikan sebanyak dua kali pada dua jenis sensor. Sensor yang pertama yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni, sedangkan sensor yang kedua yaitu sensor QCM dengan elektroda perak berlapis membran lipid Oleyl Alkohol. Sebelum pengujian terhadap sampel, sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan lapisan membran lipid diuji frekuensi dasarnya (f_0). Hasil pengujian f_0 ditunjukkan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM

Pengulangan Ke-	Frekuensi Sensor QCM dengan Elektroda Perak Murni (Hz)	Frekuensi Sensor QCM dengan Membran Lipid Oleyl Alkohol (Hz)
1	10136147.0193333	9999070.37766666
2	10008206.6173333	9999082.0193333
3	10008216.9386667	9999076.54966
4	10008218.005	9999080.91233333
5	10008208.78	9999081.441
Rata-Rata	10033799.4720667	9999078.25999866

Frekuensi dasar yang telah didapatkan kemudian digunakan sebagai kontrol ketika pengujian sensor. Setiap pergantian sampel uji sensor harus memiliki frekuensi dasar yang sama dengan data pada tabel 4.3 untuk memastikan tidak ada sampel sebelumnya yang tersisa. Adapun hasil pengujian sampel HCl ditunjukkan pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sampel Larutan HCl

No.	Konsentrasi (mM)	Volume HCl dalam Larutan (ml)	Frekuensi Output (Hz)	Response Time (s)
Sensor QCM dengan Elektroda Perak Murni				
1	0	0	15999997.48	14
2	100	0.000949668	15925800.57	
3	150	0.001424501	15825755	
4	200	0.001899335	13520394.53	
5	250	0.002374169	12658431.15	
6	300	0.002849003	12412443.5	
7	350	0.003323837	12051251.57	
8	400	0.00379867	11712201.74	
9	450	0.004273504	11588768.37	
10	500	0.004748338	11406340.45	
11	550	0.005223172	11362326.12	
Sensor QCM dengan Elektroda Perak Berlapis Membran Lipid Oleyl Alkohol				
12	0	0	15996149.09	11
13	100	0.000949668	15845491.96	
14	150	0.001424501	15843257.96	
15	200	0.001899335	15796214.36	
16	250	0.002374169	12327893.93	
17	300	0.002849003	12079817	
18	350	0.003323837	11485611.82	
19	400	0.00379867	11305541.71	
20	450	0.004273504	11271479.19	
21	500	0.004748338	11013397.4	
22	550	0.005223172	10809826.39	

Sampel yang kedua yaitu larutan NaCl dengan variasi konsentrasi antara 100 mM – 2000 mM. NaCl yang digunakan sebagai sampel pada awalnya memiliki fase padatan berupa kristal. Hal tersebut yang menyebabkan perlu dilakukannya

pelarutan NaCl dengan aquades sesuai dengan konsentrasi yang dibuat. Berikut adalah tabel hasil pengujian sampel NaCl menggunakan sensor QCM elektroda perak murni dan sensor QCM elektroda perak berlapis membran lipid Oleyl Alkohol.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sampel Larutan NaCl

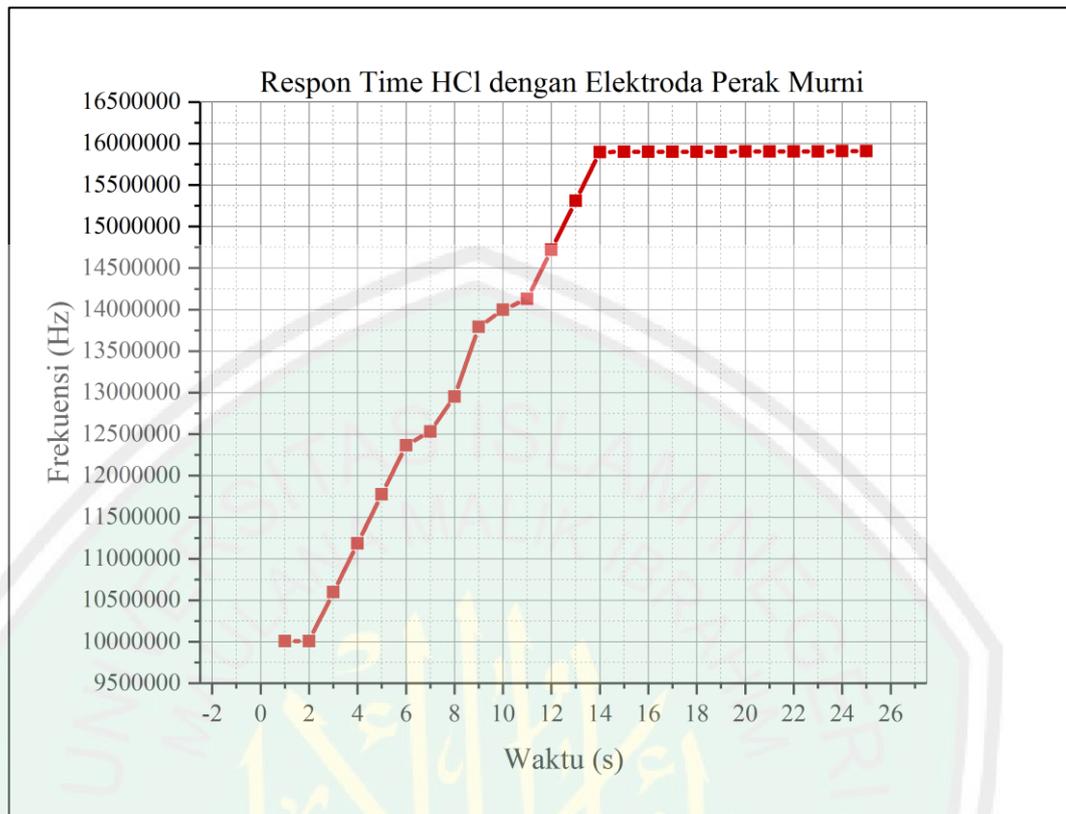
No.	Konsentrasi (mM)	Massa NaCl dalam Larutan (gr)	Frekuensi Output (Hz)	Respon Time (s)
Sensor QCM dengan Elektroda Perak Murni				
1	0	0	15999997.48	15
2	100	0.06	15881021.39	
3	200	0.12	15880259.33	
4	300	0.17	15861875.74	
5	400	0.23	15875862.47	
6	500	0.29	15950438.61	
7	600	0.38	15832881.28	
8	700	0.41	15951056.66	
9	800	0.47	12897135.3	
10	900	0.53	12353796.75	
11	1000	0.58	12584506.43	
12	1100	0.64	12363369.28746	
13	1200	0.7	12381367.7677333	
14	1300	0.76	12011665.45227	
15	1400	0.82	11980177.5856667	
16	1500	0.88	11953371.5675333	
17	1600	0.94	11774141.7048	
18	1700	1.00	11692397.3949333	
19	1800	1.05	11291703.4125229	
20	1900	1.12	11354792.5533333	
21	2000	1.17	10982349.6632485	
Sensor QCM dengan Elektroda Perak Berlapis Membran Lipid Oleyl Alkohol				
23	0	0	15996149.09	10
24	100	0.06	15990966.64	
25	200	0.12	15973117.68	
26	300	0.17	15951279.95	
27	400	0.23	15924657.22	
28	500	0.29	15919035.71	
29	600	0.38	15923075.1	
30	700	0.41	15854894.8	
31	800	0.47	11752691.15	
32	900	0.53	11855789.43	

33	1000	0.58	12026003.26
34	1100	0.64	12003620.65
35	1200	0.7	11914291.12
36	1300	0.76	11816499.74
37	1400	0.82	11869384.38
38	1500	0.88	11694749.79
39	1600	0.94	11611310.26
40	1700	1.00	11585399.18
41	1800	1.05	11564370.3
42	1900	1.12	11505959.58
43	2000	1.17	11384473.25

Data hasil pengujian sampel menggunakan sensor QCM kemudian dianalisis karakteristik sensornya menggunakan *software* OriginPro 2017. Terdapat tiga karakteristik sensor yang akan dianalisis yaitu waktu tanggap sensor (*response time*), deteksi limit sensor dan sensitivias sensor.

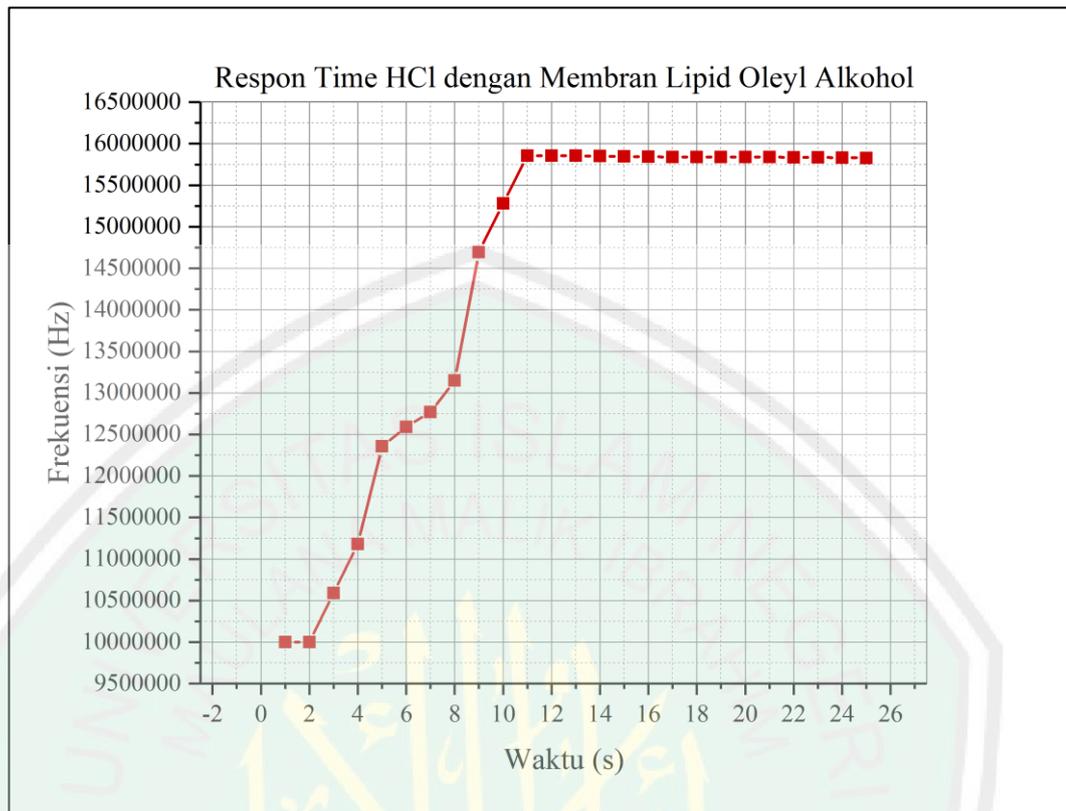
4.1.3 Data Hasil Pengujian *Response Time*

Salah satu karakteristik penting yang harus diketahui untuk memilih sensor yaitu jumlah waktu tanggap sensor (*response time*). Waktu tanggap sensor adalah waktu yang menunjukkan seberapa cepat tanggapan sensor terhadap perubahan *input*. Sensor yang bagus adalah sensor yang memiliki waktu tanggap yang kecil. Semakin kecil *response time* yang dimiliki oleh sensor, maka semakin baik kualitas sensor tersebut. *Response time* sensor diambil ketika sampel pada konsentrasi 100 mM mulai diujikan. Nilai *response time* ditentukan sebelum *output* sensor berada dalam keadaan stabil (*steady state*). *Response time* sensor QCM dengan elektroda perak murni ditunjukkan pada gambar 4.2 sebagai berikut.



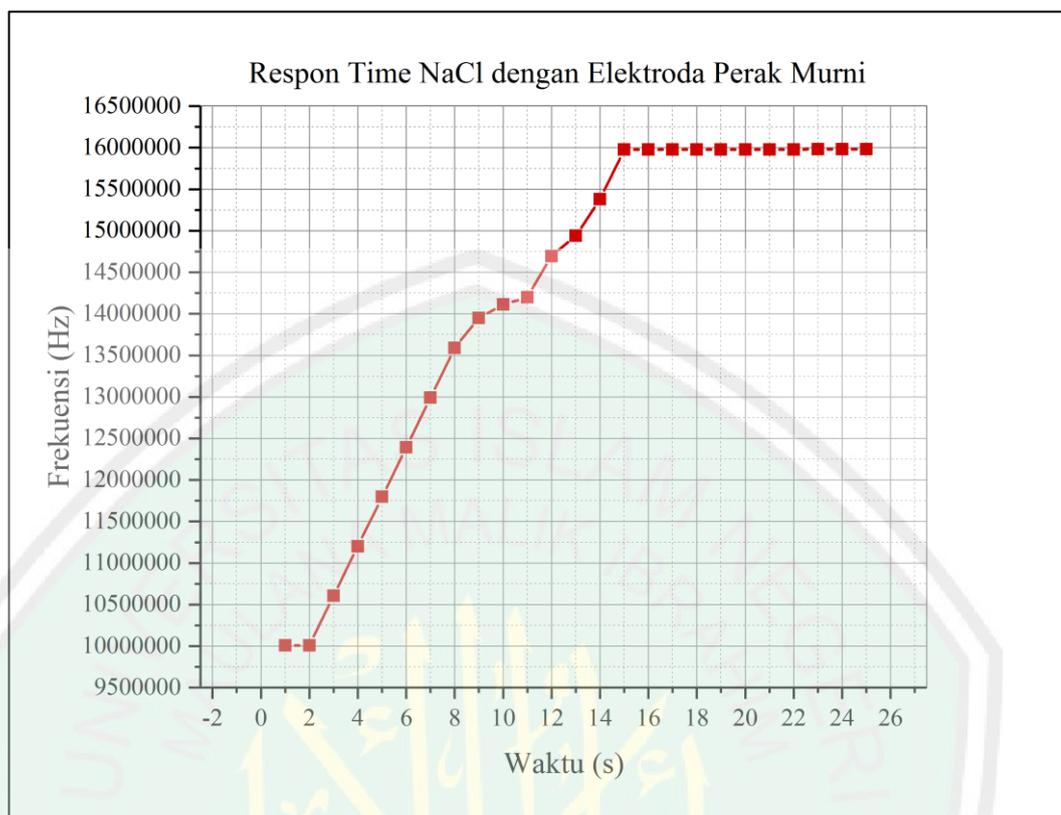
Gambar 4.2 *Response Time* Sensor QCM terhadap Sampel HCl

Sensor QCM dengan elektroda perak murni mulai merespon sampel HCl setelah 2 detik. Kemudian sensor mengalami peningkatan frekuensi pada detik 3 sampai detik ke 14. Keadaan stabil berada pada detik ke 14 sampai detik ke 300 (batas waktu pengujian). Data frekuensi yang dianalisis adalah data *output* sensor ketika berada dalam keadaan stabil (*steady state*). Sensor QCM dengan elektroda perak murni dapat dikatakan sensitif terhadap sampel HCl karena memiliki waktu respon yang dinilai cepat yaitu sebesar 14 detik.



Gambar 4.3 *Response Time* Sensor QCM terhadap Sampel HCl

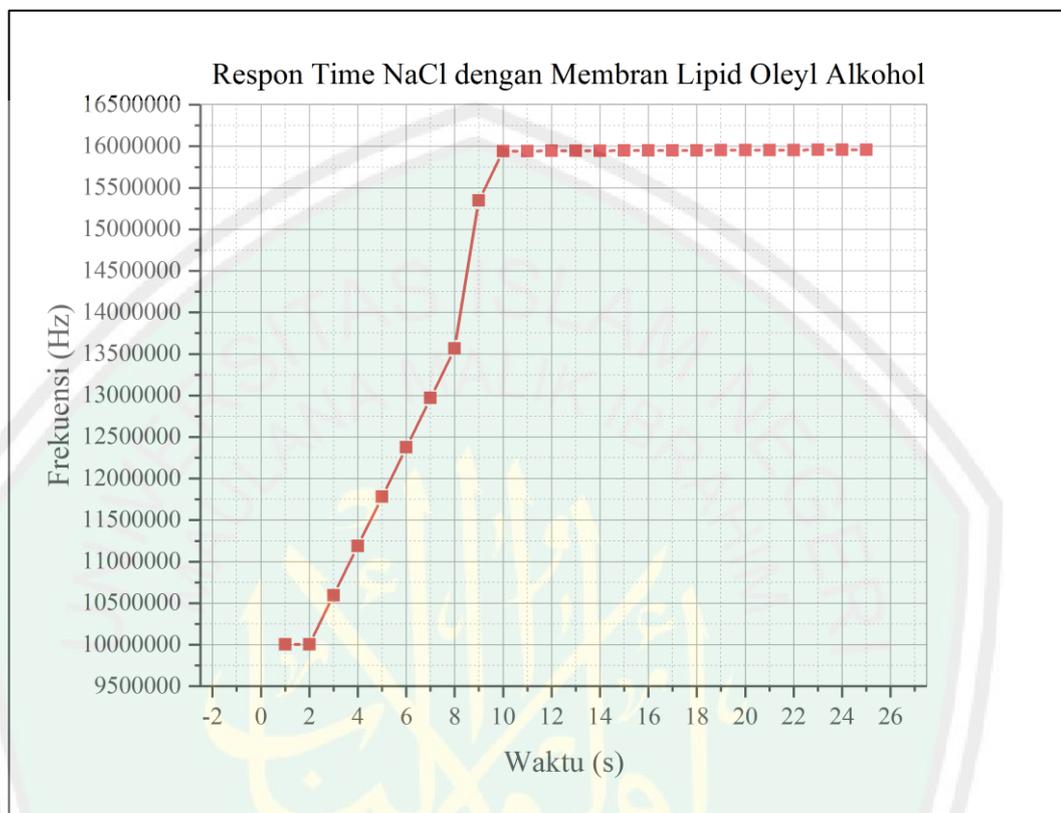
Sensor QCM dengan elektroda perak berlapis membran lipid Oleyl Alkohol memiliki *response time* terhadap sampel HCl seperti yang ditampilkan pada gambar 4.3. Sensor mulai mengalami kenaikan nilai frekuensi osilasi pada detik ke 3. Keadaan stabil sensor (*steady state*) dimulai pada detik ke 11. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM dengan pelapisan membran lipid lebih cepat merespon sampel asam dibandingkan dengan sensor QCM yang tidak dilapisi membran meskipun hanya memiliki selisih sebesar 3 detik.



Gambar 4.4 *Response Time* Sensor QCM terhadap Sampel NaCl

Sampel kedua yang diujikan pada sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid yaitu sampel NaCl. Sampel NaCl diujikan untuk mewakili rasa asin. Sama seperti pengujian sampel HCl, sensor mengalami kenaikan frekuensi pada detik ke 3. Keadaan stabil sensor (*steady state*) dimulai pada detik ke 15. Waktu tersebut menunjukkan bahwa respon sensor QCM terhadap sampel NaCl dinilai lebih rendah dari pada respon sensor terhadap sampel HCl meskipun memiliki selisih waktu hanya sebesar 1 detik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kenaikan frekuensi sensor terjadi secara linear pada detik ke 3 sampai pada detik ke 9. Kemudian mengalami kenaikan kecil pada detik ke 10 dan sebelas yang dapat menjadi stabil, namun sensor mengalami kenaikan yang tinggi kembali pada detik

ke 12 sampai detik ke 15. Hal tersebut menunjukkan bahwa keadaan stabil yang nilai frekuensinya dapat dianalisis berada pada waktu ke 15.



Gambar 4.5 *Response Time* Sensor QCM terhadap Sampel NaCl

Pengujian sampel NaCl juga dilakukan pada sensor QCM berlapis membran lipid Oleyl Alkohol. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa sensor merespon sampel selama 8 detik dimulai pada kenaikan frekuensi pada detik ke 3 dan berada pada keadaan stabil pada detik ke 10. Kenaikan frekuensi yang terjadi dinilai linear dan cepat berada pada keadaan stabil. Pengujian sampel NaCl menggunakan sensor QCM dengan membran lipid dinilai memiliki respon lebih cepat dibandingkan dengan pengujian menggunakan sensor elektroda perak murni. Adapun selisih waktu tanggap pengujian NaCl menggunakan dua variasi elektroda sensor hanya

sebesar 5 detik. Selisih waktu tersebut menunjukkan adanya pengaruh pelapisan membran terhadap respon sensor sampel.

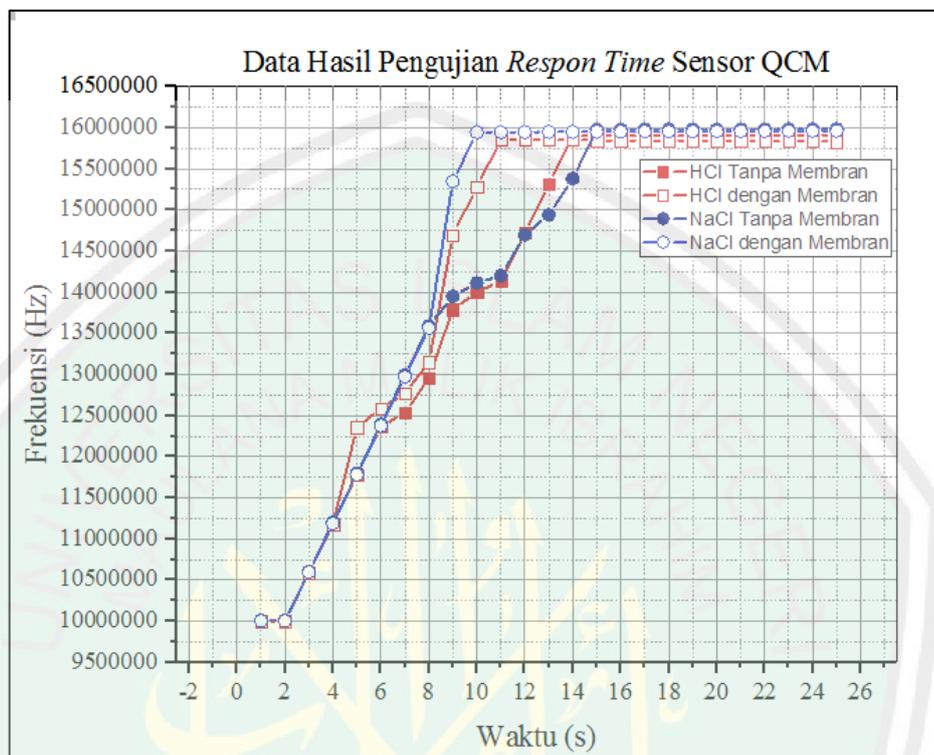
Data empat pengujian *response time* menunjukkan hasil waktu *steady state* yang berbeda-beda. Perbedaan yang terjadi dipengaruhi oleh jenis sampel dan elektroda yang berbeda. Meskipun perbedaan waktu yang terjadi tidak lebih dari 5 detik, namun hasil tersebut menunjukkan pemberian lapisan membran lipid pada elektroda dinilai memiliki pengaruh dalam menentukan tingkat selektivitas sensor. Adapun rincian data hasil penentuan *response time* ditunjukkan pada tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Hasil Analisis *Response Time* Sensor QCM

No.	Jenis Sampel dan Elektroda	Waktu Naik	Waktu <i>Steady State</i>
1	HCl dengan elektroda perak murni	Detik ke 3	Detik ke 14
2	HCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	Detik ke 3	Detik ke 11
3	NaCl dengan elektroda perak murni	Detik ke 3	Detik ke 15
4	NaCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	Detik ke 3	Detik ke 10

Tabel 4.6 menunjukkan perbedaan nilai *response time* untuk setiap pengujian. Apabila dibandingkan untuk sampel yang sama, maka dapat diketahui bahwa nilai *response time* sensor QCM dengan lapisan membran lipid Oleyl Alkohol dinilai lebih baik dari pada sensor QCM tanpa membran lipid. Hal tersebut menunjukkan bahwa pelapisan membran lipid pada elektroda sensor berpengaruh pada tingkat kecepatan sensor dalam merespon sampel. Sensor QCM tanpa lapisan membran lebih cepat merespon sampel HCl dari pada NaCl meskipun hanya memiliki selisih 1 detik. Sebaliknya sensor QCM dengan lapisan membran lipid lebih cepat

merespon sampel NaCl dari pada sampel HCl. Adapun grafik perbandingan pada empat pengujian ditunjukkan pada gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Hasil *Response Time* Sensor QCM

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa sensor QCM dengan lapisan membran memiliki nilai *response time* yang lebih baik dari pada sensor QCM tanpa lapisan membran. Ke empat pengujian memiliki waktu naik yang sama yaitu pada detik ke 3. Hal tersebut disebabkan oleh rangkaian pemrosesan data diproduksi oleh pabrik yang sudah terkalibrasi, namun waktu *steady state* yang dihasilkan berbeda-beda tergantung jenis sensor dan sampel yang diujikan.

Setelah penentuan nilai *response time* dari empat pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol memiliki *response time* yang lebih baik dari pada sensor QCM tanpa membran lipid

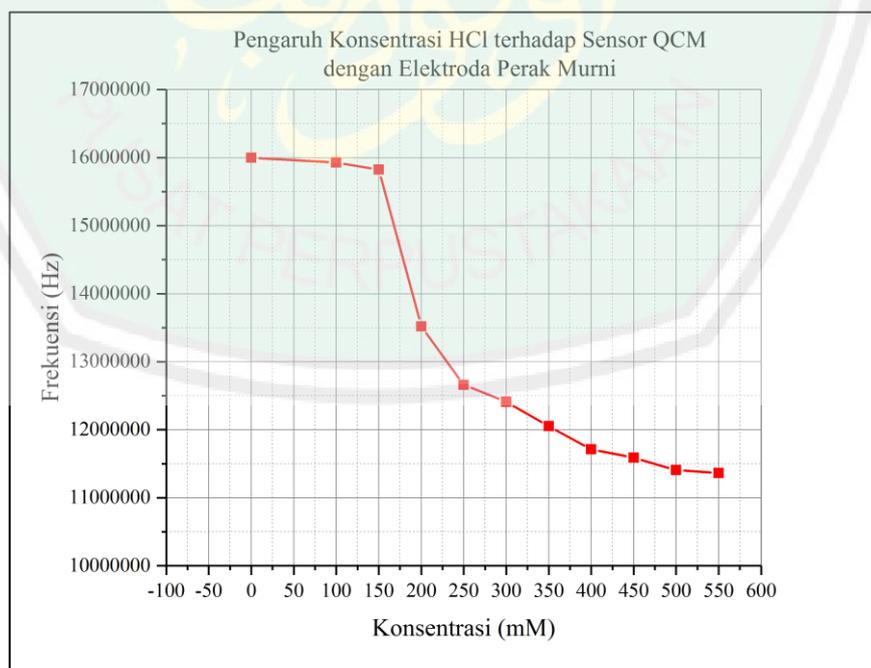
Oleyl Alkohol. Adapun sampel rasa yang diujikan pada sensor QCM yang dilapisi membran lebih cepat merespon sampel NaCl dari pada sampel HCl meskipun hanya dengan selisih waktu sebesar 1 detik. Penelitian tentang sensor QCM yang dilapisi membran lipid Oleyl Alkohol dengan sampel HCl dan NaCl mengalami interaksi protonasi saja dan tidak sampai mengalami reaksi yang mengubah struktur kimia lipid. Perbedaan hasil *response time* pada kedua sampel berhubungan dengan laju reaksi. Laju reaksi suatu senyawa dipengaruhi oleh nilai konsentrasi senyawa tersebut. Semakin besar nilai konsentrasi senyawa yang diujikan maka semakin besar nilai laju reaksi dan waktu reaksinya semakin kecil. *Response time* sampel NaCl bernilai lebih cepat dari pada HCl dikarenakan konsentrasi NaCl yang diujikan lebih besar dari pada konsentrasi HCl.

4.1.4 Data Hasil Pengujian Deteksi Limit

Karakteristik sensor yang perlu diketahui untuk pengguna sensor yaitu deteksi limit sensor. 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. Limit atas dan limit bawah sensor menunjukkan daerah kerja yang dapat dideteksi oleh sensor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan limit bawah sensor. Hal tersebut menunjukkan bahwa limit atas sensor tidak dibahas dalam penelitian ini karena limit atas dapat terjadi pada sampel

dengan kepekatan yang tinggi. Penentuan limit berdasarkan selisih frekuensi dari masing-masing konsentrasi. Hasil frekuensi dari suatu konsentrasi yang mengalami perubahan secara drastis dari konsentrasi sebelumnya maka konsentrasi tersebut yang dianggap sebagai limit bawah sensor. Penelitian yang dilakukan merupakan tahap awal pengembangan sensor rasa sehingga dilakukan pembatasan sampel uji. Sampel uji yang digunakan memiliki nilai konsentrasi yang sangat kecil yaitu mulai 0.1 M untuk memungkinkan penentuan limit bawah sensor.

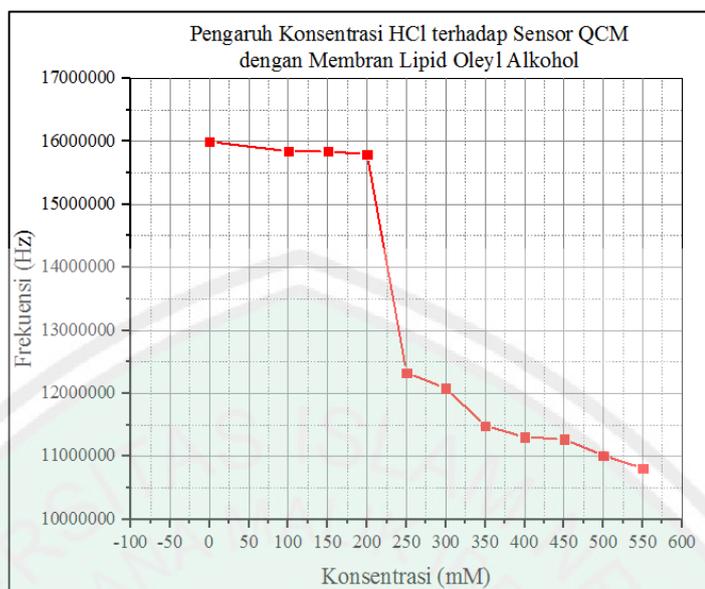
Adapun pengujian sampel yang pertama yaitu sampel larutan HCl pada sensor QCM dengan elektroda perak murni. Data hasil pengujian HCl pada sensor QCM dengan elektroda perak murni ditunjukkan pada tabel 4.4. Data pada tabel 4.4 kemudian diplot grafik dengan konsentrasi sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y. Adapun grafik pengujian larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni ditunjukkan pada gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM Perak Murni

Gambar 4.7 menunjukkan nilai frekuensi sensor QCM mengalami penurunan frekuensi. Penurunan frekuensi osilasi sensor terjadi pada konsentrasi 0 mM sampai konsentrasi 150 mM, namun penurunan frekuensi yang terjadi tidak mengalami penurunan secara berarti dengan nilai frekuensi antara 15.8 MHz sampai 15.9 MHz. Ketiga konsentrasi tersebut dapat ditentukan sebagai daerah mati sensor. Penurunan frekuensi secara signifikan mulai terjadi pada konsentrasi 200 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13.5 MHz. Konsentrasi sampel selanjutnya yaitu pada konsentrasi 250 mM sampai dengan konsentrasi 550 mM sensor telah merespon sampel dengan baik ditunjukkan dengan terjadinya penurunan frekuensi osilasi sensor yang signifikan. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa daerah kerja sensor terjadi pada konsentrasi larutan HCl 200 mM sampai konsentrasi akhir penelitian yaitu 550 mM. Limit bawah pengujian sampel terjadi pada konsentrasi 200 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13.52 MHz.

Pengujian kedua yaitu pengujian larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol. Adapun data hasil pengujian sampel ditunjukkan pada tabel 4.4. Penentuan deteksi limit sensor dilakukan dengan *plotting* data hasil pengujian menjadi grafik hubungan antara konsentrasi sampel dan frekuensi osilasi sensor. Konsentrasi sampel larutan HCl sebagai sumbu x dan nilai frekuensi osilasi sensor sebagai sumbu y pada grafik. Adapun grafik pengujian sampel larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol ditunjukkan pada gambar 4.8 sebagai berikut.

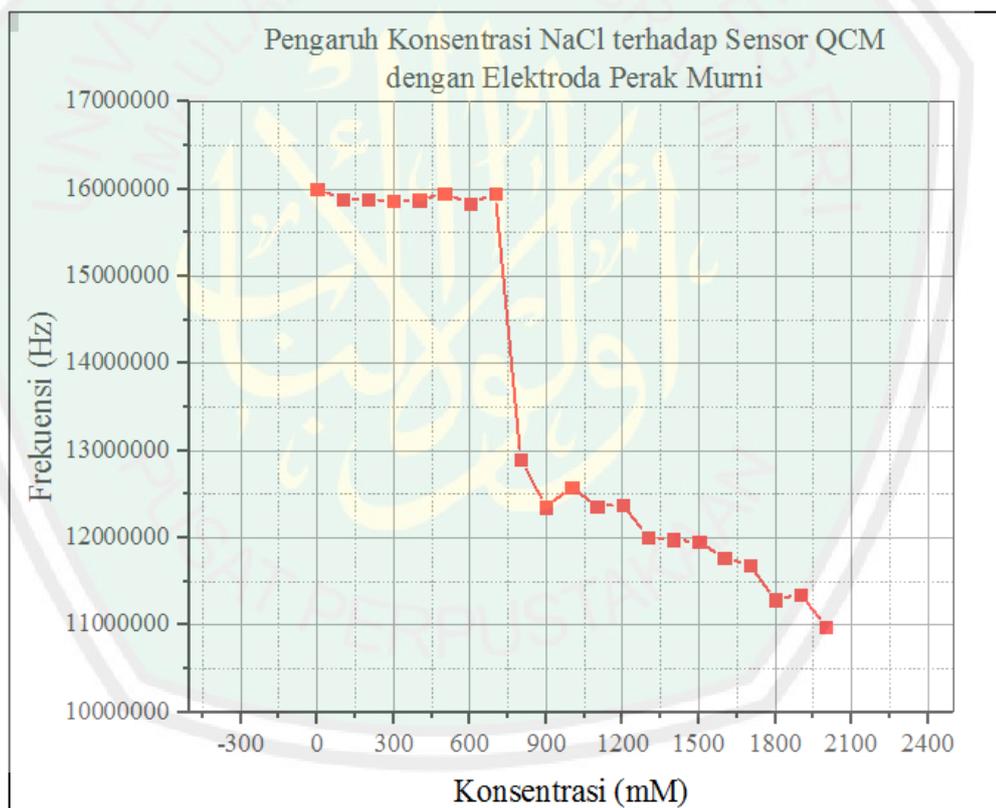


Gambar 4.8 Pengaruh HCl terhadap Frekuensi Sensor QCM dengan Lipid

Grafik hasil pengujian larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol pada gambar 4.8 menunjukkan daerah mati (*dead band*) dan daerah kerja sensor. Daerah mati sensor ditunjukkan pada konsentrasi 0 mM sampai pada konsentrasi 200 mM. Konsentrasi 0 mM-200 mM disebut sebagai *dead band* sensor karena pada konsentrasi tersebut nilai frekuensi yang didapatkan tidak mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan perubahan konsentrasi larutan. Nilai frekuensi yang ditunjukkan sensor dalam kisaran frekuensi antara 15.7 MHz - 15.9 MHz. Konsentrasi setelah 200 mM yaitu 250 mM menunjukkan perubahan frekuensi yang besar yaitu 12.33 MHz. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa sensor mulai merespon terhadap adanya perubahan konsentrasi sampel. Data frekuensi osilasi setelah konsentrasi 250 mM sampai konsentrasi 550 mM juga mengalami penurunan yang signifikan. Data yang telah dilakukan *plotting* menjadi grafik pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa daerah kerja sensor berada pada konsentrasi 250 mM sampai 550 mM. Limit bawah

sensor berada pada konsentrasi 250 mM dengan nilai frekuensi osilasi sensor sebesar 12327893.93 Hz.

Pengujian ketiga yaitu pengujian larutan NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni. Data hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.5. Penentuan deteksi limit sensor dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi dan frekuensi sensor menggunakan data yang telah didapatkan. Adapun grafik hasil pengujian larutan NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni ditunjukkan pada gambar 4.9 sebagai berikut.

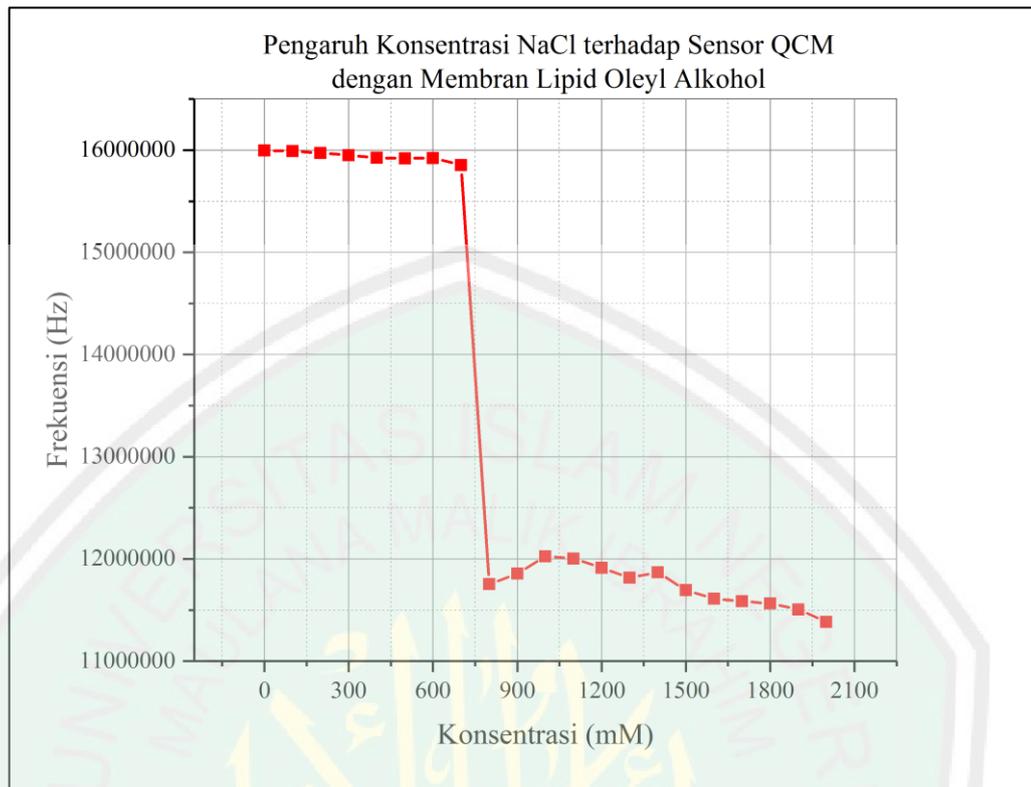


Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM Perak Murni

Grafik pada gambar 4.9 menunjukkan daerah mati (*dead band*) sensor dan daerah kerja sensor dengan jelas. *Dead band* ditunjukkan pada konsentrasi larutan antara 0 mM sampai konsentrasi 700 mM. Konsentrasi tersebut memiliki nilai

perubahan frekuensi yang kecil antara 15.8 MHz – 15.9 MHz. Perubahan frekuensi yang kecil tersebut menyebabkan rentang konsentrasi 0 mM sampai 700 mM disebut sebagai *dead band* sensor. Adapun perubahan sensor yang sangat terlihat yaitu pada konsentrasi larutan 800 mM. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa sensor mulai merespon sampel. Penurunan frekuensi terjadi mulai dari frekuensi 15.8 MHz menjadi 12.89 MHz. Konsentrasi selanjutnya dimulai pada konsentrasi 900 mM sampai konsentrasi 2000 mM hasil frekuensi sensor menunjukkan penurunan nilai seiring dengan peningkatan konsentrasi yang diujikan. Hasil grafik pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa daerah kerja sensor berada pada konsentrasi 800 mM sampai konsentrasi 2000 mM. Adapun limit bawah sensor terhadap larutan HCl berada pada konsentrasi ke 800 mM dengan nilai frekuensi sebesar 12897135.3 Hz.

Pengujian keempat yaitu larutan NaCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.5. Data tersebut kemudian *diplot* menjadi grafik dengan konsentrasi sampel sebagai sumbu x dan frekuensi osilasi sensor sebagai sumbu y. Grafik hasil pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol ditunjukkan pada gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Pengaruh NaCl terhadap Frekuensi Sensor QCM dengan Lipid

Grafik pada gambar 4.10 menunjukkan adanya *dead band* dan daerah kerja sensor dengan jelas. Konsentrasi 0 mM sampai konsentrasi 700 mM sensor mengalami perubahan frekuensi yang sangat kecil. Sensor mengalami perubahan frekuensi yang sangat besar pada konsentrasi 800 mM sebesar 11.7 MHz. Konsentrasi 900 mM dan 1000 mM mengalami kenaikan frekuensi sehingga kedua konsentrasi itu dapat disebut sebagai *dead band* sensor. Daerah kerja sensor dimulai pada konsentrasi 1000 mM dengan nilai frekuensi sebesar 12.03 MHz. Penurunan secara signifikan terjadi mulai konsentrasi 1000 mM sampai konsentrasi 2000 mM. Daerah kerja sensor berada pada konsentrasi 1000 mM – 2000 mM karena pada konsentrasi 800 mM dan 900 mM sensor mengalami kenaikan frekuensi. Kedua konsentrasi tersebut termasuk dalam daerah mati karena pada pengujian

sebelumnya daerah kerja sensor mengalami penurunan frekuensi, bukan mengalami kenaikan frekuensi. Terdapat beberapa konsentrasi yang mengalami kenaikan frekuensi osilasi namun kenaikannya tidak melebihi nilai frekuensi pada awal daerah kerja, sehingga pada pengujian ini daerah kerja dimulai pada konsentrasi 1000 mM karena nilai frekuensi setelah konsentrasi tersebut tidak ada yang mengalami kenaikan melebihi nilai frekuensi pada konsentrasi 1000 mM. Limit bawah sensor berada pada konsentrasi 1000 mM dengan nilai frekuensi osilasi sensor sebesar 12026003.26 Hz.

Penentuan deteksi limit sensor pada empat pengujian yang telah dipaparkan kemudian disusun dalam tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Analisis Deteksi Limit Sensor QCM

No.	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (mM)	Frekuensi Limit Bawah (Hz)	Daerah Mati (<i>Dead Band</i>)	Daerah Kerja
1	HCl dengan elektroda perak murni	200	13520394.53	0 mM – 150 mM	200 mM – 550 mM
2	HCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	250	12327893.93	0 mM – 200 mM	250 mM – 550 mM
3	NaCl dengan elektroda perak murni	800	12897135.3	0 mM – 700 mM	800 mM – 2000 mM
4	NaCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	1000	12026003.26	0 mM – 900 mM	1000 mM – 2000 mM

Data pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan masing-masing pengujian. Sampel larutan HCl menunjukkan nilai limit bawah yang lebih rendah dari pada sampel larutan NaCl. Larutan HCl yang diujikan pada sensor QCM

dengan elektroda perak murni dan elektroda dengan lapisan membran lipid dapat merespon larutan dengan konsentrasi 200 mM dan 250 mM, sedangkan larutan NaCl yang diujikan pada sensor QCM dapat merespon larutan pada konsentrasi 800 mM dan 1000 mM. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM dinilai lebih baik dalam merespon sampel larutan HCl dari pada sampel larutan NaCl karena konsentrasi paling kecil yang dapat direspon oleh sensor terjadi pada larutan HCl dengan konsentrasi larutan sebesar 200 mM. Jenis elektroda yang digunakan menunjukkan perbedaan yang kecil, namun hasil pengujian menunjukkan bahwa deteksi limit yang baik terdapat pada sensor QCM dengan elektroda perak murni. Deteksi limit sensor dinilai baik ketika dapat merespon sampel dengan konsentrasi yang paling kecil.

Hasil pengujian sensor pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa konsentrasi sampel yang dapat direspon oleh sensor QCM dengan elektroda perak murni lebih kecil dari pada sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol pada semua sampel uji. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM dengan elektroda perak murni dinilai memiliki deteksi limit yang lebih baik dari pada sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol meskipun selisih konsentrasinya sangat kecil. Adapun selisih limit bawah sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol dalam merespon sampel larutan HCl sebesar 50 mM atau hanya 0.05 M, sedangkan pada sampel larutan NaCl hanya senilai 200 mM atau 0.2 M. Sampel HCl memiliki daerah kerja yang lebih kecil daripada sampel NaCl karena senyawa HCl dapat

terionisasi kuat dengan lipid Oleyl Alkohol sehingga sensor sudah dapat merespon pada konsentrasi yang kecil.

Daerah kerja sensor berada diantara daerah mati (*dead band*) dan daerah saturasi sensor. Penelitian ini membatasi sampel uji yaitu pada sampel larutan HCl sebesar 0 mM – 550 mM dan pada sampel larutan NaCl sebesar 0 mM – 2000 mM karena tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui limit bawah sensor, tidak untuk mengetahui limit atas sensor. Rentang konsentrasi yang digunakan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Toko (1998). Penentuan batas maksimal daerah kerja sensor pada penelitian ini sesuai dengan batas maksimal konsentrasi larutan sampel uji yang digunakan. Batas maksimal daerah kerja pengujian sampel larutan HCl yaitu 550 mM dan sampel larutan NaCl yaitu 2000 mM.

4.1.5 Data Hasil Pengujian Sensitivitas

Adapun karakteristik sensor yang dianalisis pada penelitian ini yaitu sensitivitas sensor. Sensitivitas adalah kepekaan sensor dalam menanggapi suatu masukan. Penentuan sensitivitas sensor dilakukan dengan menganalisis daerah kerja sensor. Daerah kerja sensor telah ditentukan pada deteksi limit sensor. Sensitivitas sensor dapat diketahui dengan melakukan analisis regresi linear pada daerah kerja sensor. Nilai sensitivitas sensor yaitu nilai kemiringan kurva daerah kerja pada sensor.

Penentuan sensitivitas sensor menggunakan analisis regresi linear ditunjukkan dengan fungsi transfer hubungan linear pada daerah kerja sensor. Adapun hubungan linear kurva ditunjukkan dengan persamaan 4.3 sebagai berikut.

$$y = a \pm bx \quad (4.3)$$

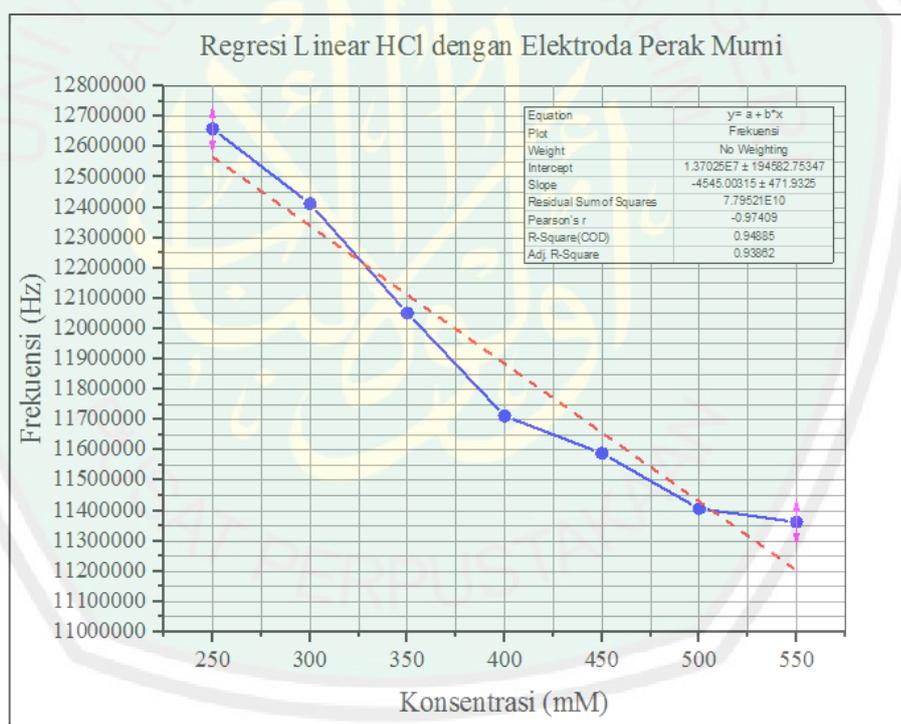
Variabel y adalah nilai *output* sensor yang pada penelitian ini berupa frekuensi osilasi sensor. a adalah nilai frekuensi osilasi (*output*) sensor ketika *input* (sampel uji) bernilai nol. a biasa disebut *intercept* (gelinciran) pada analisis regresi linear. b adalah nilai kemiringan suatu garis lurus atau sensitivitas. Nilai b biasa disebut sebagai *slope* pada analisis regresi linear. Variable x pada persamaan tersebut adalah nilai masukan sensor yang pada penelitian ini berupa variasi konsentrasi larutan sampel. 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. Penggunaan analisis regresi linear pada penelitian ini disebabkan daerah kerja yang telah ditentukan memiliki kemiringan kurva yang linear sehingga tidak cocok untuk dianalisis secara logaritmik atau eksponensial.

Pengujian larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni memiliki daerah kerja sensor pada konsentrasi 200 mM sampai konsentrasi 550 mM. Data hasil frekuensi osilasi pada rentang konsentrasi tersebut kemudian *diplot* dan dilakukan regresi linear menyesuaikan daerah kerja sensor QCM dengan membran lipid. Penyesuaian *plot* grafik dilakukan supaya kedua variasi sensor dapat dibandingkan. Data hasil analisis regresi linear ditunjukkan pada tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Analisis Regresi Linear Sensor QCM Perak Murni pada HCl

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	1.37025E7±194582.75347
Slope	-4545.00315±471.9325
Residual Sum of Squares	7.79521E10
Pearson's r	-0.97409
R-Square (COD)	0.94885
Adj. R-Square	0.93862

Adapun grafik yang telah dilakukan regresi linear ditunjukkan pada gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Regresi Linear HCl menggunakan Sensor QCM Perak Murni

Hasil analisis regresi linear pada pengujian larutan HCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni memperoleh persamaan $y = 1.37025E7 - 4545.00315x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.94885$. Nilai sensitivitas sensor

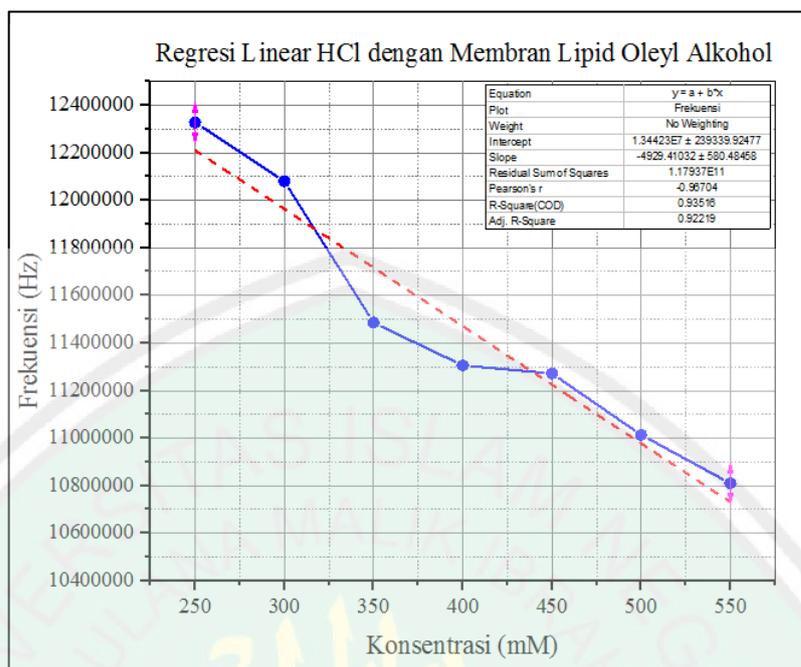
terhadap sampel larutan HCl yaitu 4545 Hz/mM, sedangkan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 94.88%.

Pengujian kedua yaitu larutan HCl dengan elektroda berlapis membran lipid Oleyl Alkohol yang memiliki daerah kerja antara 250 mM sampai 550 mM. Kurva hubungan antara konsentrasi dan frekuensi osilasi sensor pada daerah tersebut kemudian dianalisis menggunakan regresi linear seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran pada HCl

Parameter	Keterangan
<i>Equation</i>	$y = a + b \cdot x$
<i>Plot</i>	Frekuensi
<i>Weight</i>	<i>No Weighting</i>
<i>Intercept</i>	1.34423E7±239339.92477
<i>Slope</i>	-4929.41032±580.48458
<i>Residual Sum of Squares</i>	1.17937E11
<i>Pearson's r</i>	-0.96704
<i>R-Square (COD)</i>	0.93516
<i>Adj. R-Square</i>	0.92219

Adapun grafik analisis sensitivitas sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol ditunjukkan pada gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.12 Regresi Linear HCl dengan Sensor QCM Membran Lipid

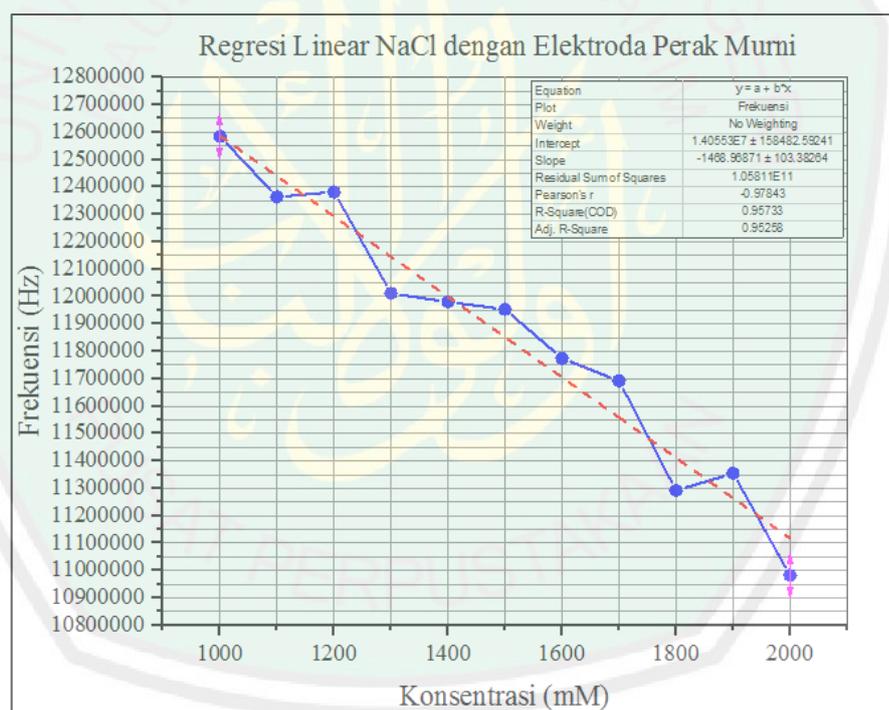
Sensitivitas sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol ditunjukkan pada persamaan hubungan linear kurva daerah kerja sensor. Nilai persamaan hubungan linear kurva yaitu $y = 1.34423E7 - 4929.41032x$. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa sensitivitas sensor QCM berlapis membran lipid Oleyl Alkohol terhadap sampel HCl sebesar 4929.41032 Hz/mM . Pengaruh pengujian larutan HCl terhadap sensor senilai 0.93516 atau sebanyak 93.52% .

Pengujian larutan NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni memiliki daerah kerja antara konsentrasi 800 mM sampai pada konsentrasi 2000 mM . Nilai frekuensi osilasi sensor pada rentang konsentrasi yang disesuaikan dengan pengujian NaCl menggunakan sensor QCM berlapis membran lipid kemudian *diplot* menjadi grafik yang akan diregresi linear. Data hasil regresi linear ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Analisis Regresi Linear Sensor QCM Perak Murni pada NaCl

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	1.40553E7±158482.59241
Slope	-1468.96871±103.38264
Residual Sum of Squares	1.05811E11
Pearson's r	-0.97843
R-Square (COD)	0.95733
Adj. R-Square	0.95258

Grafik hasil analisis regresi linear pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni ditunjukkan pada gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4.13 Regresi Linear NaCl dengan Sensor QCM Perak Murni

Persamaan regresi linear pada kurva daerah kerja pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni yaitu $y = 1.40553E7 - 1468.96871x$. Sensitivitas sensor pada pengujian tersebut sebesar 1468.96871

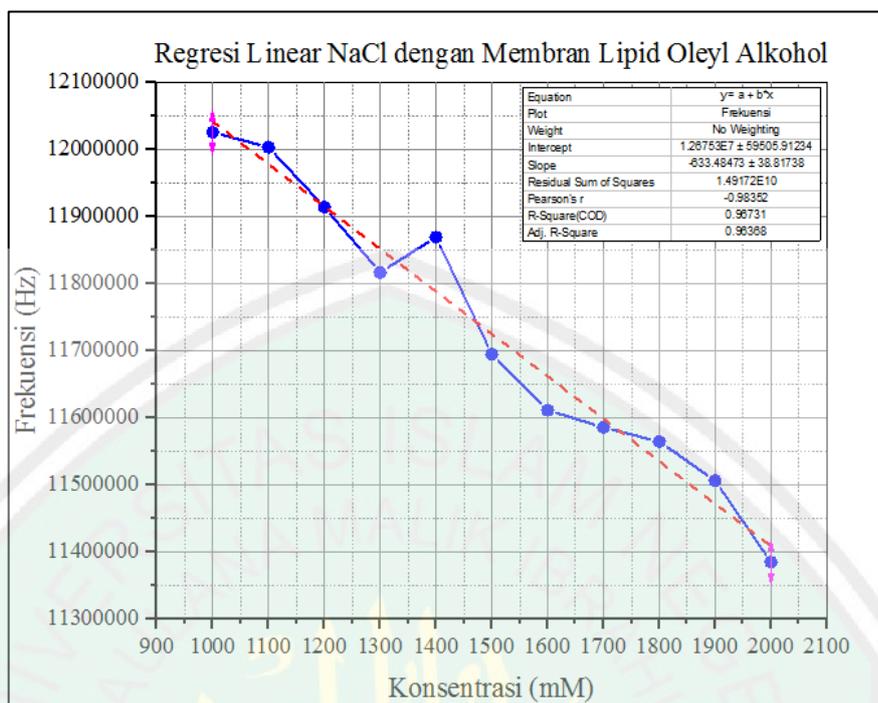
Hz/mM. Adapun nilai pengaruh pengujian sampel larutan NaCl pada sensor ditunjukkan pada koefisien determinasi persamaan (R^2). Pengaruh pengujian NaCl pada sensor QCM dengan elektroda perak murni sebesar 0.95733 atau 95.73%.

Pengujian larutan NaCl juga dilakukan pada sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol. Data hasil pengujian yang didapatkan telah ditentukan deteksi limit sensornya. Sensitivitas sensor dapat ditentukan dengan melakukan analisis terhadap daerah kerja sensor tersebut. Adapun daerah kerja pengujian larutan NaCl menggunakan sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol berada pada rentang konsentrasi antara 1000 mM sampai dengan 2000 mM. Nilai frekuensi osilasi pada rentang konsentrasi tersebut *diplot* dan dilakukan regresi linear dengan hasil data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11 Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran pada NaCl

Parameter	Keterangan
<i>Equation</i>	$y = a + b \cdot x$
<i>Plot</i>	Frekuensi
<i>Weight</i>	<i>No Weighting</i>
<i>Intercept</i>	1.26753E7±59505.91234
<i>Slope</i>	-633.48473±38.81738
<i>Residual Sum of Squares</i>	1.49172E10
<i>Pearson's r</i>	-0.98352
<i>R-Square (COD)</i>	0.96731
<i>Adj. R-Square</i>	0.96368

Grafik hasil analisis regresi linear pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan lapisan membran lipid ditunjukkan pada gambar 4.14 sebagai berikut.



Gambar 4.14 Regresi Linear NaCl dengan Sensor QCM Membran Lipid

Persamaan hubungan linear daerah kerja sensor memiliki nilai sebesar $y = 1.26753E7 - 633.48473x$ dan besar koefisien determinasi $R^2 = 0.96731$. Nilai kemiringan kurva (*slope*) menjadi nilai sensitivitas sensor. Persamaan hasil regresi pada gambar menunjukkan bahwa nilai sensitivitas sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol terhadap sampel larutan NaCl sebesar 633.48473 Hz/mM. Adapun pengaruh pengujian sampel larutan NaCl terhadap *output* sensor sebesar 0.96731 atau 96.73%.

Persamaan regresi linear dan nilai koefisien determinasi yang telah didapatkan dari empat macam pengujian sensor memiliki hasil yang berbeda-beda. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat merespon sampel dengan baik. Data persamaan regresi dan koefisien determinasi dari semua pengujian sampel ditunjukkan pada tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.12 Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM

No.	Jenis Pengujian	Persamaan Regresi Linear	Koefisien Determinasi (R^2)
1	HCl dengan elektroda perak murni	$y = 1.37025E7 - 4545.00315x$	0.94885
2	HCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	$y = 1.34423E7 - 4929.41032x$	0.93516
3	NaCl dengan elektroda perak murni	$y = 1.40553E7 - 1468.96871x$	0.95733
4	NaCl dengan elektroda perak berlapis membran lipid	$y = 1.26753E7 - 633.48473x$	0.96731

Data hasil analisis regresi linear pada tabel 4.12 menunjukkan bahwa nilai sensitivitas sensor QCM yang berbeda-beda. Pengujian sampel HCl menggunakan sensor QCM berlapis membran lipid Oleyl Alkohol menunjukkan nilai sensitivitas yang lebih tinggi dari pada menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni meskipun selisihnya sangat kecil apabila dibandingkan dengan *output* frekuensi osilasi sensor, namun pengujian sampel NaCl menunjukkan nilai sensitivitas sebaliknya. Adapun selisih sensitivitas pengujian HCl terhadap kedua jenis sensor QCM yaitu hanya sebesar 384.41 Hz/mM, sedangkan selisih sensitivitas pengujian NaCl terhadap kedua jenis sensor QCM yaitu hanya sebesar 835.48 Hz/mM. Data tersebut menunjukkan bahwa pemberian membran lipid Oleyl Alkohol memiliki pengaruh nilai sensitivitas yang lebih tinggi terhadap pengujian HCl daripada pengujian NaCl.

Sampel HCl yang diujikan pada sensor QCM dengan lapisan membran lipid berpengaruh terhadap nilai perubahan frekuensi osilasi sensor sebesar 0.93516 atau 93.52% lebih kecil dari pada pengujian menggunakan sensor QCM tanpa lapisan

membran yang berpengaruh sebesar 0.94885 atau 94.85%. Sampel NaCl yang diujikan pada sensor QCM dengan lapisan membran lipid juga berpengaruh terhadap nilai perubahan frekuensi osilasi sensor lebih besar yaitu 0.96731 atau 96.73% dari pada pengujian NaCl menggunakan sensor QCM tanpa lapisan membran yang berpengaruh sebesar 0.95733 atau 95.73%.

Uraian yang telah dipaparkan tentang sensitivitas sensor dan nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol lebih efektif digunakan untuk menguji sampel NaCl karena memiliki nilai ketepatan data yang lebih tinggi dari pada sensor QCM tanpa pelapisan membran.

Nilai sensitivitas sensor QCM dengan pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol pada pengujian sampel larutan HCl bernilai lebih tinggi yaitu sebesar 5756.43038 Hz/mM dari pada pengujian sampel larutan NaCl yang bernilai sebesar 633.48473 Hz/mM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM yang telah dilapisi membran lipid Oleyl Alkohol lebih sensitif terhadap sampel HCl (rasa asam) dari pada sampel NaCl (rasa asin).

4.2 Pembahasan

Sensor adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memilih sensor yang baik. Sensor yang baik untuk digunakan memiliki beberapa karakteristik yang harus terpenuhi. Karakteristik sensor yang harus diketahui diantaranya waktu tanggap (*response time*), deteksi limit, sensitivitas dan linearitas sensor. Data hasil pengujian sampel HCl dan sampel NaCl

yang telah dilakukan kemudian dianalisis untuk mengetahui kualitas sensor QCM apabila diaplikasikan untuk sampel *liquid*. Adapun analisis yang penting terhadap sensor meliputi waktu tanggap (*response time*), deteksi limit dan sensitivitas sensor.

Terdapat dua perbandingan data yang di analisis pada penelitian ini yaitu perbandingan antara variasi sensor QCM dan jenis sampel uji. Karakteristik yang ditentukan untuk perbandingan data meliputi *response time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor. Karakteristik sensor tersebut digunakan untuk mengetahui kualitas sensor QCM.

Hasil pengujian *response time* menunjukkan bahwa nilai frekuensi sensor QCM dengan membran lipid lebih cepat merespon sampel dari pada sensor QCM tanpa membran lipid. Hasil tersebut dikarenakan sensor QCM dengan membran lipid memiliki interaksi protonasi dengan kedua sampel. Interaksi protonasi adalah kemampuan suatu molekul untuk mengikat proton dari molekul lain. Membran lipid Oleyl Alkohol memiliki rumus kimia $C_{18}H_{36}O$ dan memiliki gugus fungsi luar yaitu OH yang ditunjukkan pada gambar 4.15 sebagai berikut.



Gambar 4.15 Struktur Oleyl Alkohol Satu Dimensi (Reid dkk., 1949)

Gugus OH dapat berubah menjadi O^- dan H^+ ketika berinteraksi dengan senyawa lain. Ion O^- pada membran dapat mengikat ion H^+ pada sampel HCl dan dapat mengikat ion Na^+ pada sampel NaCl. Adanya interaksi tersebut yang

menyebabkan sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol memiliki *response time* yang lebih cepat dari pada sensor QCM tanpa membran lipid.

Hasil *response time* sampel HCl dan NaCl memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan jumlah konsentrasi yang digunakan. Analisis *response time* berhubungan dengan laju reaksi suatu senyawa. Semakin besar jumlah konsentrasi yang digunakan, maka laju reaksinya juga semakin cepat. Jumlah konsentrasi NaCl yang diujikan lebih besar dari pada HCl sehingga menyebabkan nilai *response time* NaCl lebih cepat dari pada HCl.

Hasil limit bawah sensor QCM tanpa membran memiliki daerah kerja yang lebih rendah dari pada sensor QCM dengan membran. Limit ditentukan dengan perbedaan nilai frekuensi keluaran sensor QCM setiap konsentrasi. Sensor QCM dengan membran memiliki frekuensi keluaran yang lebih kecil dari pada sensor QCM tanpa membran. Sensor yang telah dilapisi membran lipid memiliki massa yang lebih besar dan menjadi lebih berat untuk berosilasi sehingga ketika dilakukan perubahan konsentrasi sampel uji. Hal tersebut menyebabkan limit bawah sensor QCM dengan membran lebih tinggi dari pada sensor QCM tanpa membran.

Nilai limit bawah HCl lebih rendah dari pada NaCl dikarenakan tingkat ionisasi senyawa. Senyawa HCl merupakan senyawa asam kuat yang sangat reaktif terhadap senyawa lain sehingga sensor dapat merespon HCl dengan konsentrasi yang kecil. Pengujian HCl pada sensor QCM tidak dianjurkan dengan konsentrasi yang besar seperti NaCl karena dapat menyebabkan korosi pada holder QCM.

Penentuan sensitivitas sensor berdasarkan pada daerah kerjanya. Sensitivitas berhubungan dengan perubahan sampel dan perubahan frekuensi keluaran sensor.

Nilai sensitivitas sensor QCM dengan membran memiliki nilai yang lebih besar dari pada sensor QCM tanpa membran untuk sampel HCl. Interaksi protonasi menyebabkan perubahan frekuensi osilasi yang tinggi karena tingkat ionisasi HCl yang lebih tinggi dari pada NaCl sehingga nilai sensitivitasnya lebih tinggi. Nilai sensitivitas dapat berubah sesuai dengan daerah kerja yang dianalisis. Perubahan sensitivitas akan dinilai lebih akurat ketika limit bawah dan limit atas sensor telah ditentukan.

4.3 Kajian Integrasi Islam

Penelitian menggunakan sensor QCM dilakukan sebagai langkah awal pengembangan sensor rasa. Pengembangan sensor rasa bertujuan untuk memudahkan manusia dalam menganalisis zat yang tidak dapat dideteksi langsung oleh inderanya. Perkembangan teknologi telah mendorong manusia untuk terus meningkatkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologinya. Sudah sewajarnya para peneliti terus mengembangkan penelitian supaya dapat bermanfaat bagi masyarakat umum. Pandangan al-Qur'an tentang teknologi merujuk pada ayat-ayat al-Qur'an yang berbicara tentang alam semesta. Terdapat sekitar 750 ayat al-Qur'an yang menyebutkan tentang alam, materi, fenomenanya dan perintah kepada manusia untuk memanfaatkannya. Al-Qur'an menyebutkan bahwa Allah SWT telah menciptakan dan menundukkan segala sesuatu di alam semesta ini untuk manusia secara tegas dan berulang-ulang seperti firman dalam surah al-Jatsiyah (45) : 13 sebagai berikut (Shihab, 1996).

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ ۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَآٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ ﴿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)

Ayat dalam surah al-Jatsiyah tersebut menunjukkan bahwa manusia diperintahkan untuk memanfaatkan segala sesuatu yang telah Allah ciptakan dan tundukkan untuknya. Pemanfaatan alam semesta bertujuan untuk kesejahteraan manusia itu sendiri. Salah satunya dengan pengembangan sensor rasa yang bertujuan untuk melindungi indera manusia dari zat berbahaya dan haram untuk dikonsumsi. Manusia dikaruniai Allah SWT berupa fisik yang sempurna tidak lain untuk dijaga dan digunakan sesuai fungsinya. Sudah selayaknya manusia menjaga karunia yang diberikan oleh Allah SWT yaitu kesehatan tubuh. Kesehatan tubuh manusia perlu dijaga supaya terhindar dari penyakit. Allah SW berfirman dalam surah al-Maidah ayat 32 yaitu sebagai berikut.

مِنَ أَجْلِ ذَلِكَ كَتَبْنَا عَلَىٰ بَنِي إِسْرَائِيلَ أَنَّهُ مَن قَتَلَ نَفْسًا بِغَيْرِ نَفْسٍ أَوْ فَسَادٍ فِي الْأَرْضِ فَكَأَنَّمَا قَتَلَ
النَّاسَ جَمِيعًا وَمَنْ أَحْيَاهَا فَكَأَنَّمَا أَحْيَا النَّاسَ جَمِيعًا وَلَقَدْ جَاءَتْهُمْ رُسُلُنَا بِالْبَيِّنَاتِ ثُمَّ إِنَّ كَثِيرًا مِّنْهُمْ بَعَدَ
ذَلِكَ فِي الْأَرْضِ لَمُتْرِفُونَ ﴿٣٢﴾

“Oleh karena itu Kami tetapkan (suatu hukum) bagi Bani Israil, bahwa: barangsiapa yang membunuh seorang manusia, bukan karena orang itu (membunuh) orang lain, atau bukan karena membuat kerusakan dimuka bumi, maka seakan-akan dia telah membunuh manusia seluruhnya. Dan barangsiapa yang memelihara kehidupan seorang manusia, maka seolah-olah dia telah memelihara kehidupan manusia semuanya. Dan sesungguhnya telah datang kepada mereka rasul-rasul Kami dengan (membawa) keterangan-keterangan yang jelas, kemudian banyak diantara mereka sesudah itu sungguh-sungguh melampaui batas dalam berbuat kerusakan dimuka bumi” (Q.S al-Maidah (5):32)

Kata أَحْيَاهَا bukan hanya diartikan sebagai “menghidupkan” atau “memelihara kehidupan”, namun dapat diartikan sebagai “memperpanjang harapan hidup” seseorang. Bagi peneliti atau ilmuwan yang mengembangkan penelitian tentang suatu alat yang dapat memelihara kehidupan manusia, maka dapat disebut seolah-olah memelihara kehidupan seluruh manusia. Salah satunya yaitu penelitian tentang sensor QCM sebagai pengembangan sensor rasa yang digunakan sebagai pengganti lidah manusia (Shihab, 1996).

Adapun karakterisasi yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu *response time* sensor, deteksi limit sensor dan sensitivitas sensor. *Response time* 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. Sensitivitas 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 karena setiap jenis sensor dan sampel memiliki ciri dan ukuran masing-masing seperti dalam firman Allah surah ar-Ra'd ayat 8 sebagai berikut.

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).

Kalimat “وَكُلُّ شَيْءٍ عِنْدَهُ بِمِقْدَارٍ” memiliki arti bahwa “dan segala sesuatu pada sisi-Nya ada ukurannya”. Segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah untuk manusia

memiliki ciri dan ukurannya masing-masing supaya manusia mudah untuk dapat mengamati dan mempelajarinya. Sesuai dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa 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 saat ini (Shihab, 1996).



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang sensor QCM yang telah dilakukan mendapatkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab IV. Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tentang sensor QCM yaitu.

- 1) *Response time* sensor QCM dengan elektroda perak murni pada pengujian HCl dan NaCl yaitu 14 s dan 11 s, sedangkan *response time* sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol pada pengujian HCl dan NaCl yaitu 15 s dan 10 s. Data tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol lebih cepat merespon sampel dari pada sensor QCM tanpa membran. Sensor QCM dengan membran lipid lebih cepat merespon sampel larutan NaCl dari pada sampel larutan HCl.
- 2) Deteksi limit sensor QCM dengan elektroda perak murni pada pengujian HCl dan NaCl memiliki daerah kerja yaitu 200-550 mM dan 800-2000 mM, sedangkan deteksi limit sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol pada pengujian HCl dan NaCl memiliki daerah kerja yaitu 250-550 mM dan 1000-2000 mM. Data tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM tanpa membran dapat mendeteksi konsentrasi sampel lebih kecil dari pada sensor QCM dengan membran lipid Oleyl Alkohol. Sensor QCM dengan membran lipid dapat mendeteksi konsentrasi sampel larutan HCl lebih baik dari pada sampel larutan NaCl.

- 3) Sensitivitas sensor QCM dengan membran pada pengujian HCl mendapatkan hasil yang lebih tinggi yaitu 4929.41032 Hz/mM dari pada sensor QCM dengan elektroda perak murni yang bernilai 4545.00315 Hz/mM, sedangkan sensitivitas sensor QCM dengan membran pada pengujian HCl mendapatkan hasil yang lebih rendah yaitu 633.48473 Hz/mM dari pada sensor QCM dengan elektroda perak murni yang bernilai 1468.96871 Hz/mM. Data tersebut menunjukkan bahwa pelapisan membran lipid Oleyl Alkohol lebih cocok untuk pengujian sampel HCl dari pada sampel NaCl.
- 4) Nilai ketepatan data (R^2) pengujian HCl menunjukkan bahwa sensor QCM tanpa membran bernilai 94.8% lebih besar dari pada sensor QCM dengan lapisan membran yang bernilai 93.5%, sedangkan nilai ketepatan data pengujian NaCl menunjukkan bahwa sensor QCM dengan lapisan membran bernilai 95.7% lebih besar dari pada sensor QCM tanpa membran yang bernilai 96.7%.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan setelah melakukan penelitian ini yaitu.

- 1) Konsentrasi sampel perlu ditingkatkan untuk mengetahui limit atas dan saturasi sensor.
- 2) Jenis sampel uji perlu ditambah sehingga dapat diketahui senyawa apa saja yang dapat direspon oleh sensor QCM.
- 3) Penggunaan jenis membran lipid perlu ditambah sehingga dapat diketahui membran apa saja yang lebih selektif terhadap sampel.

- 4) Botol sensor perlu dilakukan desain ulang supaya gangguan (*noise*) dapat diperkecil dan dapat menghasilkan data yang akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Afniza. 2008. *Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Agustina, S. 2006. *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jurnal Penelitian Riset Teknologi Lingkungan Kementrian Perindustrian RI, 1.
- Al-Qarni, 'aidh. 2017. *Tafsir Muyassar* (Jilid 4). Jakarta: Qisthi Press.
- Al-Quran. 2009. *Al-Quran dan Terjemahnya*. Jakarta: Departemen Agama RI.
- Bearzotti, A. dkk. 2017. *A Study of 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>.
- Casteleiro-Roca, J. L. dkk. 2014. *New Approach for The QCM Sensors Characterization*. Sensors and Actuators, A: Physical, 207, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.12.002>.
- Compagnone, D. dkk. 2015. *Quartz Crystal Microbalance Gas Sensor Arrays for The Quality Control of Chocolate*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 207(PB), 1114–1120. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.10.049>.
- Das, R. dkk. 2014. *Aliphatic Amines Vapours Detection by Quartz Crystal Microbalance Sensor*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 198, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.03.020>.
- Equipmentimes. 1994. VTC-100 Vacuum Spin Coater, (25).
- Fraden, J. 2010. *Handbook of Modern Sensor: Physics, Design and Applications* (4th ed.). New York: Springer.
- 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., & Hall, J. 2009. *Text Book of Medical Physiologi (Taste and Smell)* (11th ed.). Missisipi: Elsevier B.V.
- Hidayat, A. S. dkk. 2014. *Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating*

- Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂*. E-Preceeding of Engineering, 1(1), 497–510.
- Indira, C. 2015. *Pembuatan Indikator Asam Basa Karamunting*. Jurnal Kaunia, XI(1), 1–10.
- Jazuly, A. T. Al. 2016. *Pengujian Karakteristik dari 16 Array Sensor Lidah Elektronika untuk Identifikasi Empa Rasa Dasar*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Katsir, A. F. I. 1988. *Terjemah Singkat Tafsir Ibnu Katsier* (Jilid 4). Kuala Lumpur: Victory Agencie.
- Kobayashi, Y. dkk. 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>.
- Kreutzer, U. R. 1984. *Manufacture of Fatty Alcohols Based on Natural Fats and Oils*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(2), 343–348. <https://doi.org/10.1007/BF02678792>.
- Kurniawan, F. 2009. *Implementasi Mikrokontroler sebagai Pencacah Frekuensi Berbasis Pengukuran Periode Isyarat Masukan*. *Jurnal TELKOMNIKA*, 7(1), 57–64.
- Malvino, A. P. 1982. *Prinsip-Prinsip Dasar Elektronika* (2nd ed., Vol. 1). Jakarta: Erlangga.
- Martina, A., & Witono, J. R. 2014. *Pemurnian Garam dengan Metode Hidroekstraksi Batch*. *Pemurnian Garam Dengan Metode Hidroekstraksi Batch*.
- Muckley, E. S. dkk. 2016. *PEDOT:PSS/QCM-Based Multimodal Humidity and Pressure Sensor*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 236, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.05.054>.
- Novaetech. 2016. OpenQCM. Retrieved September 20, 2017, from <http://openqcm.com/openQCM/>.
- Nur, M. dkk. 2013. *Pengayaan Yodium dan Kadar NaCl pada Garam Krosok Enrichment of Iodium and Sodium Chloride in the Traditional Salt Become*. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 21(1), 1–6.
- Othmer, K. 1969. *Encyclopedia of Chemical Technology* (2nd ed.). USA: John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961>.

- Pudjaji, A. 1990. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.
- Purwanto, R., & Prajitno, G. 2013. *Variasi Kecepatan Putar dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (Garcinia Mangostana) sebagai Dye Sensitizer*. Jurnal Sains Dan Seni Pomits, 2(1), 1–7.
- Rattanawarinchai, P. dkk. 2017. *Electrochemical Sensor: Preparation Technique Based on Electronic Tongue in Fragrance*. Materials Today: Proceedings, 4(5), 6410–6414. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.146>.
- Reid, E. ., dkk. 1949. *Oleyl Alcohol*. Organic Syntheses, 29(September), 80. <https://doi.org/10.15227/orgsyn.029.0080>.
- Rohman, A. 1996. *Tafsir Kariim ar-Rahman*. Kairo: Dar Ibn Hazm.
- Salimon, J. dkk. 2015. *Lubricity and Tribological Properties of Dicarboxylic Acid and Oleyl Alcohol Based Esters*. Sains Malaysiana, 44(3), 405–412. <https://doi.org/10.17576/jsm-2015-4403-12>.
- ScienceLab. 2009. Msds HCl.
- Sharma, P. dkk. 2014. *Detection of Linalool in Black Tea Using a Quartz Crystal Microbalance Sensor*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 190, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.08.088>.
- Sharma, P. dkk. 2015. *Monitoring The Fermentation Process of Black Tea Using QCM Sensor Based Electronic Nose*. Sensors and 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. dkk. 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>.
- Sturdy, L. F. dkk. 2016. *Quantitative Characterization of Alkyd Cure Kinetics With The Quartz Crystal Microbalance*. Polymer, 103, 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2016.09.063>.
- Szwacki, J. dkk. 2006. *Polymer Membranes Loaded with Lipids for Taste Sensing: Electrochemical Impedance Spectroscopy Studies*. Desalination, 198(1–3), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.002>.
- 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).

Wahab, A. W., & La Nafie, N. 2014. *Buku Ajar Metode Pemisahan dan Pengukuran 2 : Elektrometri dan Spektrofotometri*. Makasar: Universitas Hasanudin.

Wesoły, M. dkk. 2017. *Tasting Cetirizine-Based Microspheres with an Electronic Tongue*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 238, 1190–1198. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.06.147>.





LAMPIRAN

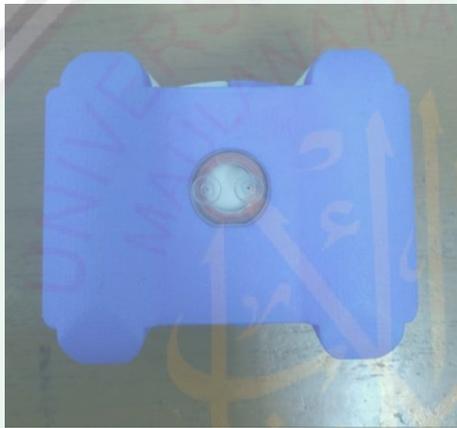
Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan



Alat dan Bahan Penelitian



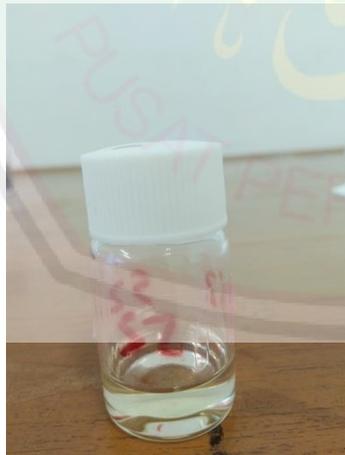
Sampel Penelitian



openQCM Tampak Atas



openQCM Tampak Dalam



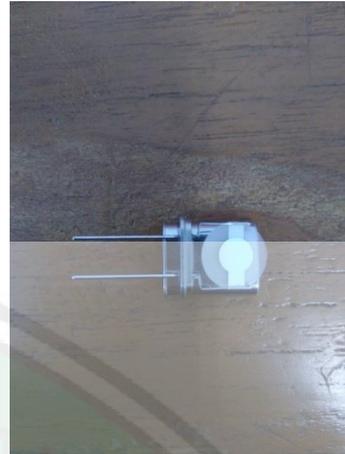
Membran Lipid Oleyl Alkohol



Tetrahydrofuran (THF)



Sensor QCM dengan Penutup



Sensor QCM tanpa Penutup



Vacuum Spin Coater VTC-100



Pelapisan Membran menggunakan Teknik Spin Coating



Proses Pengambilan Data

Lampiran 2 Data Hasil Penelitian

1. Pengujian HCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni

100 mM	150 mM	200 mM	250 mM	300 mM
15902784.3	15819683.58	13585305.71	12625913.55	12391806.31
15913940.75	15817552.56	13557816.33	12650483.49	12405008.31
15932352.47	15825401.63	13514646.55	12665088.75	12414683.28
15940815.23	15831078	13483347.07	12673190.47	12420734.94
15939110.13	15835059.25	13460856.97	12677479.51	12429984.65
350 mM	400 mM	450 mM	500 mM	550 mM
12058520.56	11664315.62	11556055.99	11351805.87	11337066.5
12069673.75	11701956.86	11584507.51	11369207.96	11356884.98
12084619.53	11719360.52	11594100.38	11412193.3	11368325.57
12011904.54	11731452.57	11601421.71	11445226.29	11373146.63
12031539.47	11743923.12	11607756.27	11453268.84	11376206.91

2. Pengujian HCl menggunakan sensor QCM dengan lapisan membran lipid

100 mM	150 mM	200 mM	250 mM	300 mM
15665366.53	15778263.55	15773803.28	12312793.26	12075180.88
15870445.19	15835108.08	15783337.35	12326777.41	12082685.09
15892381.88	15854034.8	15797086.16	12332652.63	12082907.45
15894773.54	15871023.56	15811242.22	12333263.93	12080057.17
15904492.64	15877859.8	15815602.81	12333982.41	12078254.42
350 mM	400 mM	450 mM	500 mM	550 mM
11479942.62	11302089.1	11267591.42	11002887.09	10811244.47
11484516.09	11304596.71	11272258.6	11014736.88	10810443.51
11487656.95	11306718.85	11273925.54	11017469.73	10810742.58
11487736.88	11306615.7	11272583.47	11016561.5	10808965.06
11488206.56	11307688.18	11271036.94	11015331.8	10807736.33

3. Pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan elektroda perak murni

100 mM	200 mM	300 mM	400 mM	500 mM
15885408.56	15885106.26	15864856.86	15850847.33	15936631.66
15875021.9	15874228.27	15874491.43	15890908.76	15952610.77
15880201.67	15883557.5	15852490.54	15887319.54	15954014.31
15880791.06	15885695.63	15852450.1	15877217.9	15954376.77
15883683.79	15872708.99	15865089.8	15873018.82	15954559.52
600 mM	700 mM	800 mM	900 mM	1000 mM
15783807.46	15953746.33	12903175.98	12372912.38	12603519.27
15782103.68	15955362.82	12900256.6	12366045.23	12592532.5
15812877.6	15950258.6	12897253.81	12355349.3	12583299.96
15897674.32	15948517.84	12892121.08	12341378.12	12574558.54
15862600.11	15947397.71	12892869.02	12333298.71	12568621.79

1100 mM	1200 mM	1300 mM	1400 mM	1500 mM
12393350.98	12389114.08	12000828.82	11966036.39	11958818.83
12372496.96	12385239.2	12023817.77	11982655.67	11956582.55
12360551.36	12380354.79	12017121.63	11985570.02	11953181.65
12350385.54	12377386.68	12010908.61	11984385.2	11949256.5
12340061.6	12374744.09	12005650.43	11982240.65	11949018.31
1600 mM	1700 mM	1800 mM	1900 mM	2000 mM
11780630.09	11703518.51	11292473.53	11360454.95	10984478.36
11777188.44	11696789.78	11294525.92	11357135.45	10984675.72
11774572.38	11692038.62	11294935.48	11354070.41	10982737.47
11770922.29	11686823.18	11290048.09	11350103.06	10981376.55
11767395.32	11682816.89	11286534.04	11352198.9	10978480.21

4. Pengujian NaCl menggunakan sensor QCM dengan lapisan membran lipid

100 mM	200 mM	300 mM	400 mM	500 mM
15995020.26	15973752.84	15962536.83	15926662.35	15919005.2
15992628.19	15973669.61	15953562.62	15925351.37	15919416.89
15990990.22	15972953.76	15948122.15	15924912.49	15918915.01
15988892.99	15972607.18	15940898.2	15923682.08	15919062.88
15987301.56	15972605.01	15570673.61	15922677.81	15918778.58
600 mM	700 mM	800 mM	900 mM	1000 mM
15923498.13	15862029.19	11758442.48	11869961.07	12036658.19
15923499	15860612.3	11753853.28	11859677.85	12031212.87
15923327.68	15854418.86	11753195.16	11853714.13	12027077.94
15922830.11	15850455.05	11750556.38	11848946.87	12020515.92
15922220.56	15846958.58	11747408.43	11846647.21	12014551.35
1100 mM	1200 mM	1300 mM	1400 mM	1500 mM
12003633.93	11913674.64	11430931.36	11858523.76	11685437.49
12009263.17	11914625.8	11919814.01	11870585.07	11695424.07
12005340.99	11915734.23	11909168.11	11872934.91	11698348.17
12001534.51	11914866.82	11910258.06	11872062.91	11698427.97
11998330.64	11912554.09	11912327.18	11872815.26	11696111.24
1600 mM	1700 mM	1800 mM	1900 mM	2000 mM
11622609.97	11584433.94	11556562.41	11487596.5	11375263.49
11608815.86	11587450.01	11568069.36	11507086.64	11385283.95
11607467.9	11586368.72	11567797.81	11514620.02	11387267.5
11606347.29	11585803.91	11565051.64	11514535.19	11387133.35
11606221.79	11582939.34	11565002.4	11514192.52	11387417.94

Lampiran 3 Data Hasil Analisis Regresi Linear

1. Pengujian HCl dengan Sensor QCM Perak Murni

Linear Fit (8/24/2018 21:20:00)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.37025E7	194582.75347	70.42011	1.09366E-8
	Slope	-4545.00315	471.9325	-9.63082	2.04705E-4

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).
Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	7
Degrees of Freedom	5
Residual Sum of Squares	7.79521E10
Pearson's r	-0.97409
R-Square(COD)	0.94885
Adj. R-Square	0.93862

Summary

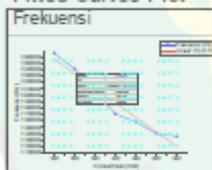
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.37025E7	194582.75347	-4545.00315	471.9325	0.93862

ANOVA

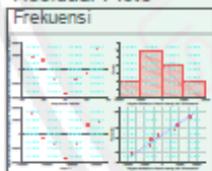
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	1.44599E12	1.44599E12	92.74887	2.04705E-4
	Error	5	7.79521E10	1.55904E10		
	Total	6	1.52395E12			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Fitted Curves Plot



Residual Plots



2. Pengujian HCl menggunakan Sensor QCM dengan membran lipid

Linear Fit (8/8/2018 22:53:44)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.34423E7	239339.92477	56.16304	3.38487E-8
	Slope	-4929.41032	580.48458	-8.49189	3.72244E-4

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).

Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	7
Degrees of Freedom	5
Residual Sum of Squares	1.17937E11
Pearson's r	-0.96704
R-Square(COD)	0.93516
Adj. R-Square	0.92219

Summary

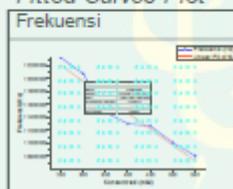
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.34423E7	239339.92477	-4929.41032	580.48458	0.92219

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	1.70094E12	1.70094E12	72.11217	3.72244E-4
	Error	5	1.17937E11	2.35874E10		
	Total	6	1.81887E12			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Fitted Curves Plot



Residual Plots



3. Pengujian NaCl dengan Sensor QCM Perak Murni

Linear Fit (8/24/2018 22:13:59)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.40553E7	158482.59241	88.68644	1.4877E-14
	Slope	-1468.96871	103.38264	-14.20905	1.80418E-7

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).
Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	1.05811E11
Pearson's r	-0.97843
R-Square(COD)	0.95733
Adj. R-Square	0.95258

Summary

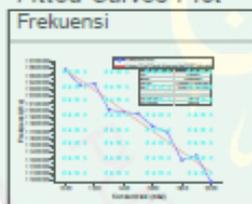
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.40553E7	158482.59241	-1468.96871	103.38264	0.95258

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	2.37366E12	2.37366E12	201.89698	1.80418E-7
	Error	9	1.05811E11	1.17568E10		
	Total	10	2.47947E12			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Fitted Curves Plot



Residual Plots



4. Pengujian NaCl menggunakan Sensor QCM dengan Membran Lipid

Linear Fit (8/8/2018 23:13:57)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.26753E7	59505.91234	213.00948	0
	Slope	-633.48473	38.81738	-16.31962	5.41279E-8

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).
Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	1.49172E10
Pearson's r	-0.98352
R-Square(COD)	0.96731
Adj. R-Square	0.96368

Summary

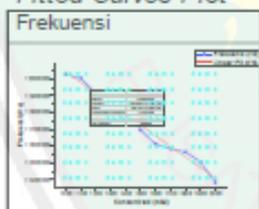
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.26753E7	59505.91234	-633.48473	38.81738	0.96368

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	4.41433E11	4.41433E11	286.3299	5.41279E-8
	Error	9	1.49172E10	1.65747E9		
	Total	10	4.5635E11			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

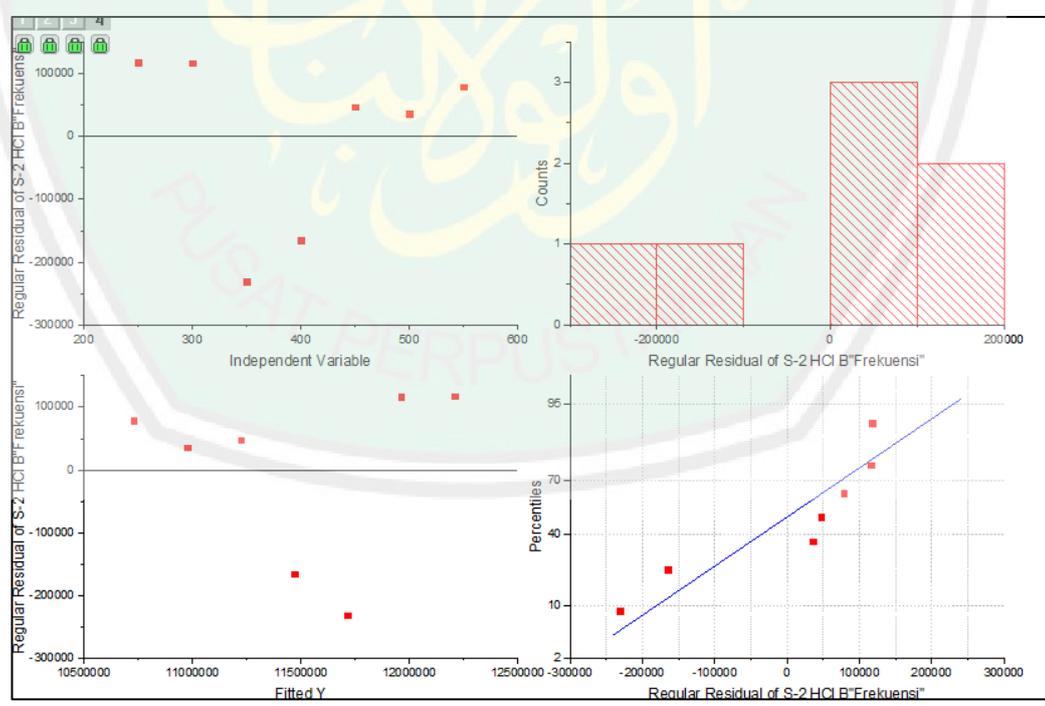
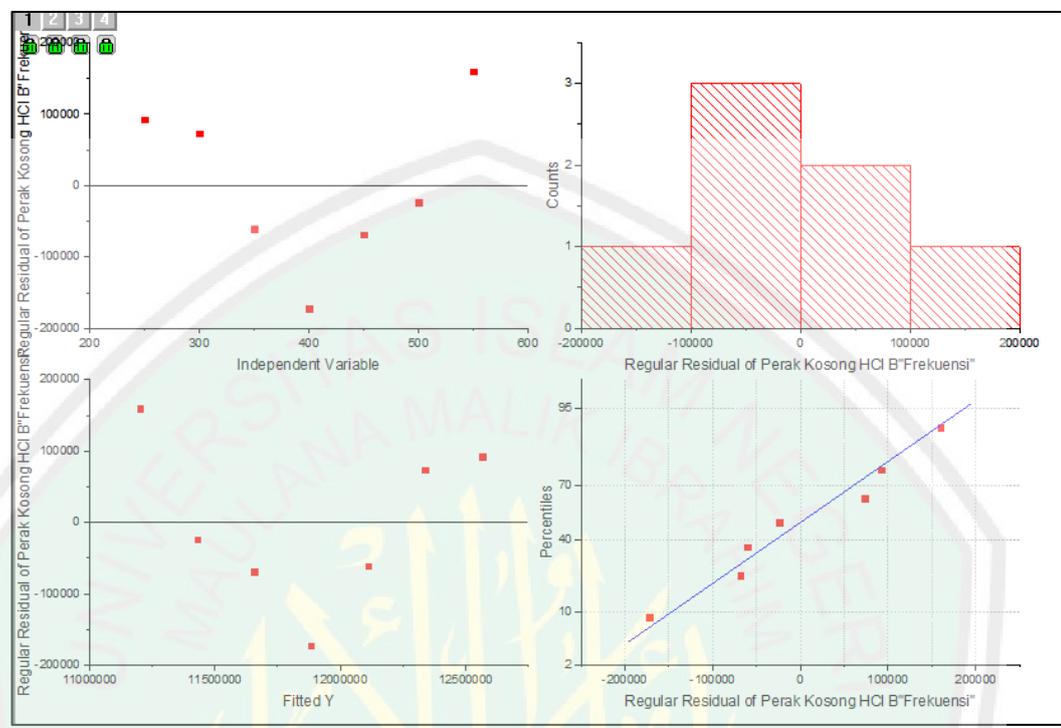
Fitted Curves Plot

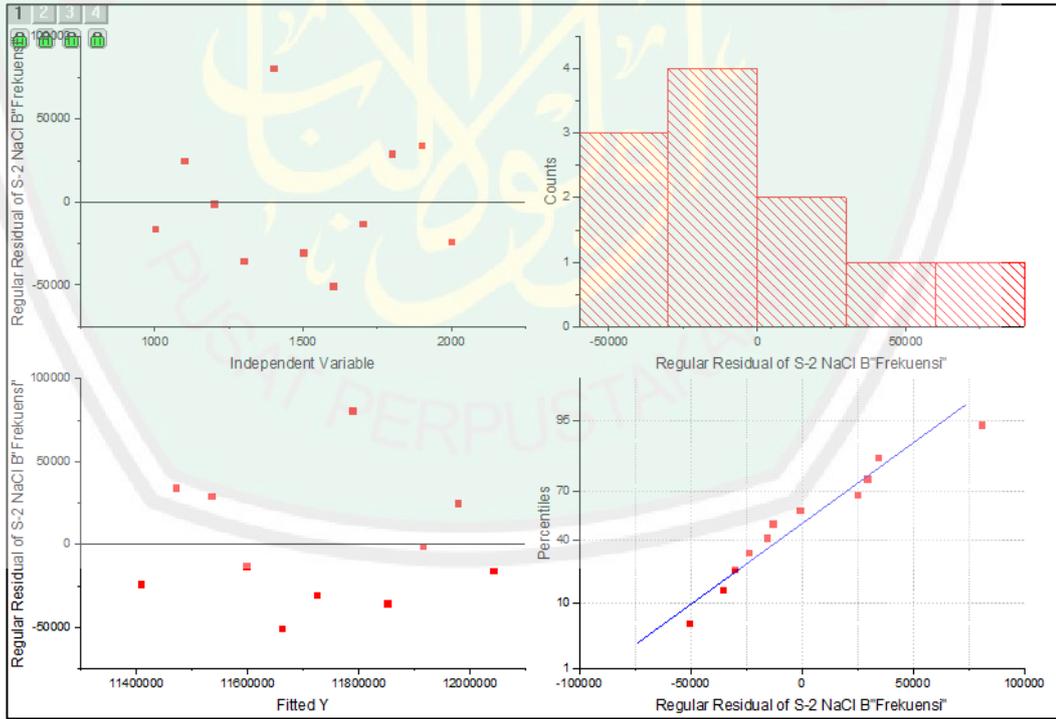
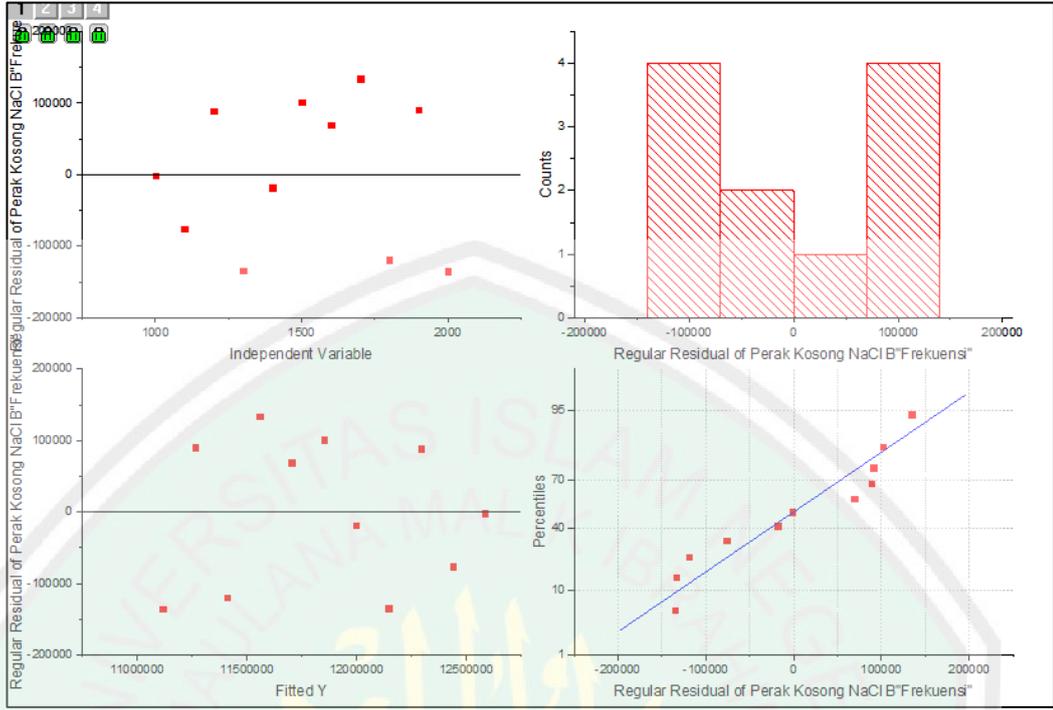


Residual Plots

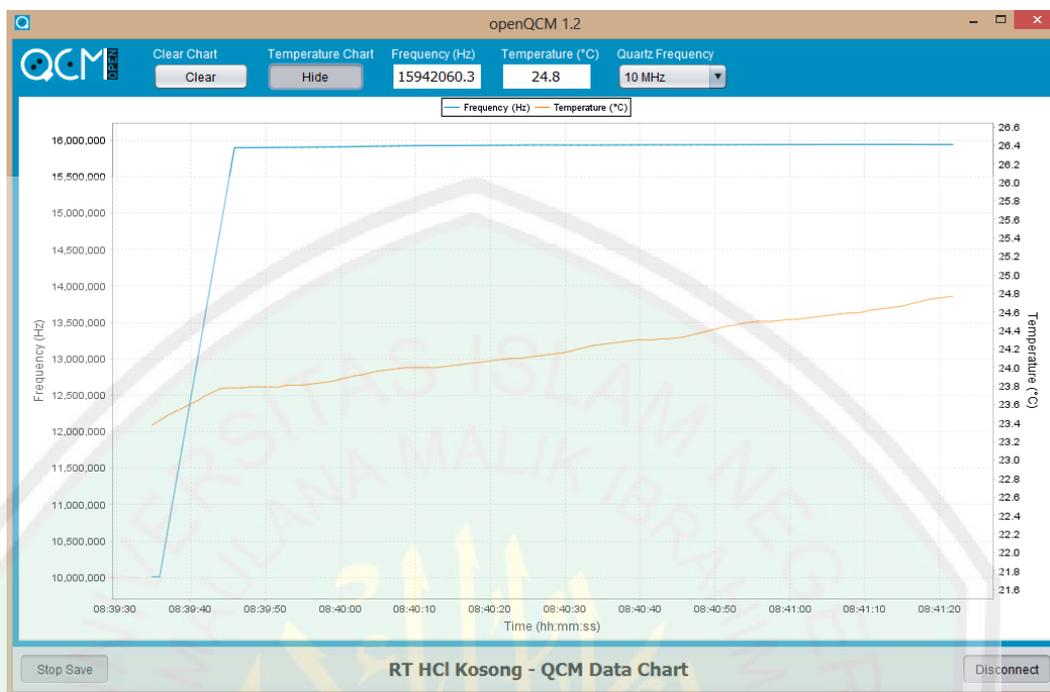


Lampiran 4 Grafik *Residual Plots*

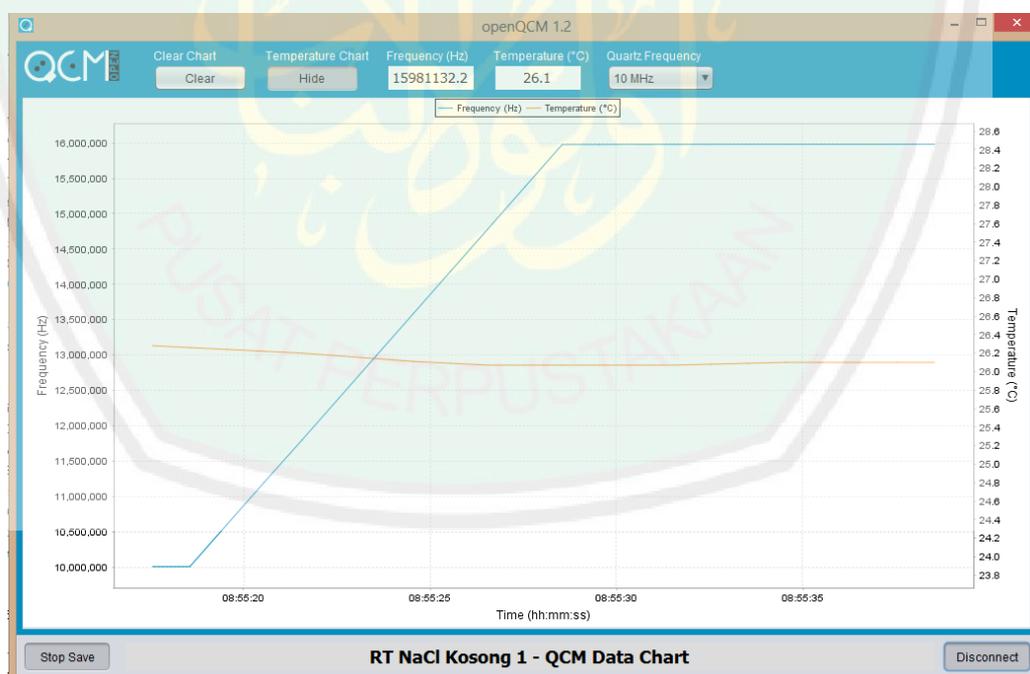




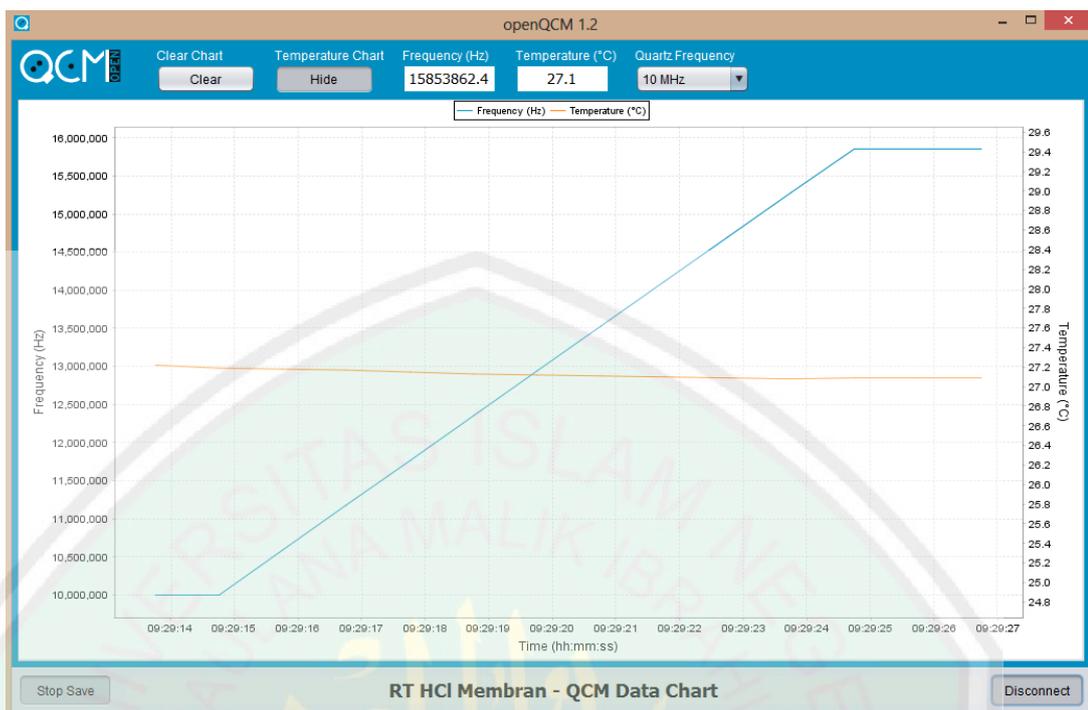
Lampiran 5 Pengujian Menggunakan Software openQCM 1.2



Pengujian HCl dengan Sensor QCM Perak Murni



Pengujian NaCl dengan Sensor QCM Perak Murni



Pengujian HCl dengan Sensor QCM Berlapis Membran Lipid



Pengujian NaCl dengan Sensor QCM Berlapis Membran Lipid

Lampiran 6 *Sketch* Pemrograman Arduino

```
// include library for frequency counting
#include <FreqCount.h>
// include EERPOM library
#include <EEPROM.h>

// fixed "gate interval" time for counting cycles 1000ms
#define GATE 1000
// Thermistor pin
#define THERMISTORPIN A1
// // resistance at 25 degrees C
#define THERMISTORNOMINAL 10000
// temp. for nominal resistance (almost always 25 C)
#define TEMPERATURENOMINAL 25
// how many samples to take and average
#define NUMSAMPLES 10
// The beta coefficient of the thermistor (usually 3000-4000)
#define BCOEFFICIENT 3950
// the value of the 'other' resistor
#define SERIESRESISTOR 10000
// current address in EEPROM series
#define ADDRESS_SERIES 0
// current address in EEPROM first number
#define ADDRESS_NUMBERFIRST 1
// current address in EEPROM second number
#define ADDRESS_NUMBERSECOND 2

// print data to serial port
void dataPrint(unsigned long Count, int Temperature){
  Serial.print("RAWMONITOR");
  Serial.print(Count);
  Serial.print("_");
  Serial.print(Temperature);
  Serial.write(255);
}

// measure temperature
int getTemperature(void){
  int i;
  float average;
  int samples[NUMSAMPLES];
  float thermistorResistance;
  int Temperature;
```

```

// acquire N samples
for (i=0; i< NUMSAMPLES; i++) {
  samples[i] = analogRead(THERMISTORPIN);
  delay(10);
}

// average all the samples out
average = 0;
for (i=0; i< NUMSAMPLES; i++) {
  average += samples[i];
}
average /= NUMSAMPLES;

// convert the value to resistance
thermistorResistance = average * SERIESRESISTOR / (1023 - average);

float steinhart;
steinhart = thermistorResistance / THERMISTORNOMINAL; // (R/Ro)
steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
steinhart /= BCOEFFICIENT; // 1/B * ln(R/Ro)
steinhart += 1.0 / (TEMPERATURENOMINAL + 273.15); // + (1/To)
steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert
steinhart -= 273.15; // convert to C

// decimal value
Temperature = steinhart * 10;
return(Temperature);
}

// QCM frequency by counting the number of pulses in a fixed time
unsigned long frequency = 0;
// thermistor temperature
int temperature = 0;

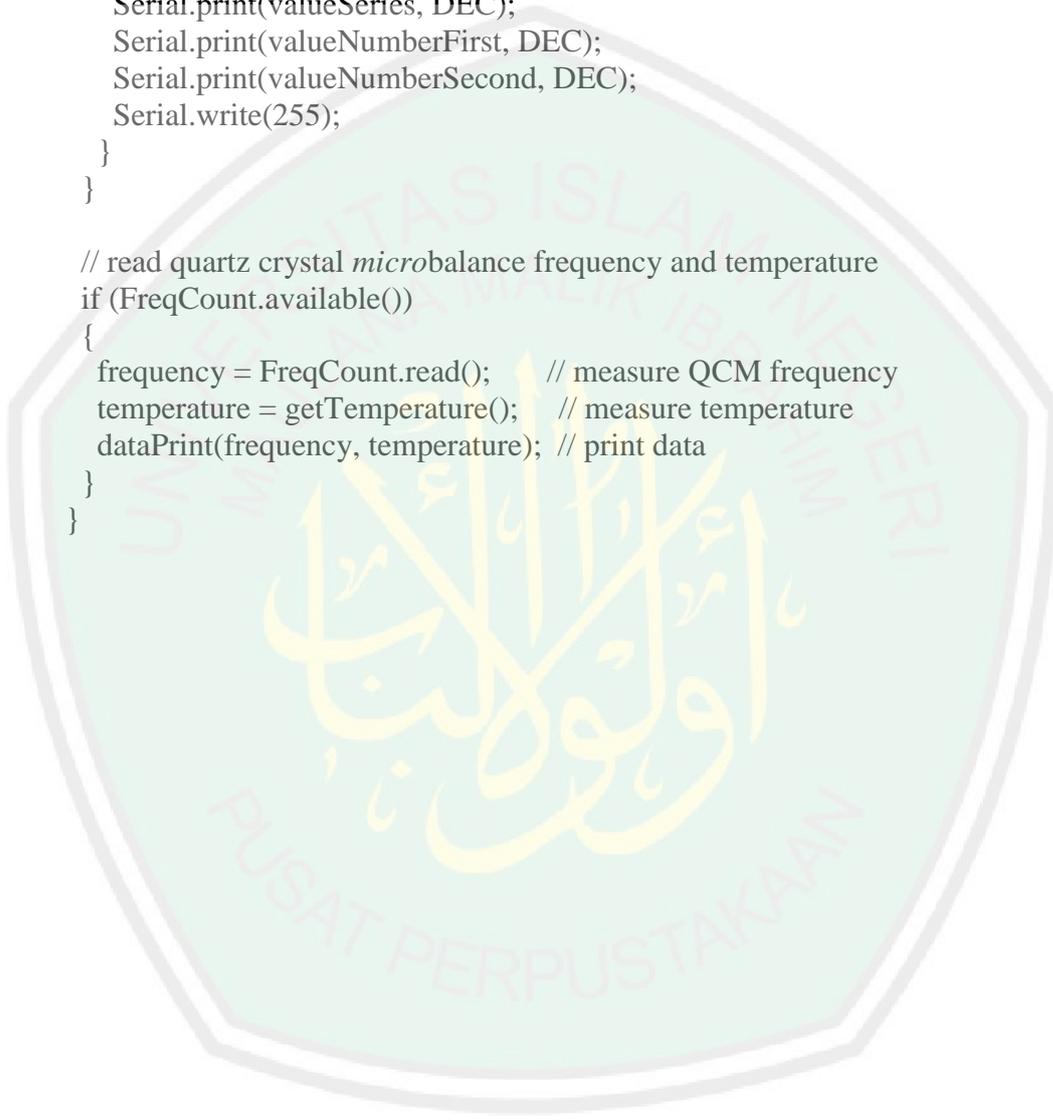
void setup(){
  Serial.begin(115200);
  // Configure the reference voltage used for analog input
  analogReference(EXTERNAL);
  // init the frequency counter
  FreqCount.begin(GATE);
}

void loop(){
  // read the openQCM serial number at the connection
  if (Serial.available()) {

```

```
int val = Serial.parseInt();
if (val == 1){
  byte valueSeries = EEPROM.read(ADDRESS_SERIES);
  byte valueNumberFirst = EEPROM.read(ADDRESS_NUMBERFIRST);
  byte valueNumberSecond = EEPROM.read(ADDRESS_NUMBERSECOND);
  Serial.print("SERIALNUMBER");
  Serial.print(valueSeries, DEC);
  Serial.print(valueNumberFirst, DEC);
  Serial.print(valueNumberSecond, DEC);
  Serial.write(255);
}
}

// read quartz crystal microbalance frequency and temperature
if (FreqCount.available())
{
  frequency = FreqCount.read(); // measure QCM frequency
  temperature = getTemperature(); // measure temperature
  dataPrint(frequency, temperature); // print data
}
}
```





BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Auliya Rahmatul Ummah
NIM : 14640029
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Oleyl Alkohol terhadap Respon HCl dan NaCl
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	11 Desember 2017	Konsultasi Bab I dan II	
2.	14 Desember 2017	Konsultasi Bab III	
3.	21 Mei 2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
4.	31 Juli 2018	Konsultasi Data Hasil di Bab IV	
5.	19 Agustus 2018	Konsultasi Bab IV	
6.	28 Agustus 2018	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II dan IV	
7.	30 Agustus 2018	Konsultasi Bab V	
8.	3 September 2018	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
9.	3 September 2018	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 3 September 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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