

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

SKRIPSI

Oleh:
MARIA ULFA
NIM. 14640050



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

**KARAKTERISASI SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE*
(QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN LIPID
OCTADECYLAMINE 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:

MARIA ULFA
NIM. 14640050

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

HALAMAN PERSETUJUAN

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

SKRIPSI

Oleh:
Maria Ulfa
NIM. 14640050


Telah diperiksa dan disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal : 4 September 2018

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Erika Rani, M.Si
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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





HALAMAN PENGESAHAN

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

SKRIPSI


Oleh:
Maria Ulfa
NIM. 14640050

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>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Sekretaris Penguji	:	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika




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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maria Ulfa
NIM : 14640050
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid *Octadecylamine* terhadap Respon HCl dan NaCl

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 September 2018
Yang Membuat Pernyataan,



Maria Ulfa
NIM. 14640050

MOTTO

“Never Put Off Till Tomorrow, What You Can Do Today”

“خير النَّاسِ انْفَعُهُم لِلنَّاسِ”

“Sebaik-baik manusia adalah ia yang bermanfaat bagi manusia lainnya”

قال السَّرِي السَّقَطِيّ رَحِمَ اللهُ تَعَالَى:

ارْبَعُ خِصَالٍ تَرْفَعُ الْعَبْدَ: الْعِلْمُ، وَالْأَدَبُ، وَالْإِمَانَةُ، وَالْعِفَّةُ.

“Empat perkara bisa mengangkat derajat seseorang: ilmu, adab, amanah (bisa dipercaya) dan menjaga diri” (As-Sariy as-Saqothiy)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur sedalam-dalamnya kepada Allah SWT penulis persembahkan karya tulis ini teruntuk kedua orangtua tercinta,

“ABAH H. ABDULLOH AFIF DAN UMIK HJ. ALFIYAH”

Kepada para pembaca dan juga kepada orang-orang yang melakukan penelitian dibidang ini.



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulullah Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat dan pengikut-pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul “**Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Octadecylamine terhadap Respon HCl dan NaCl**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karenanya, penulis haturkan ucapan terimakasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian maupun dalam penyusunan penulisan skripsi ini.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak kesabaran, meluangkan waktu dan ilmu, serta memberikan pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik dan benar.
5. Erika Rani, M.Si selaku dosen pembimbing agama, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan serta pengarahan di bidang Integrasi Sains dan al-Qur'an serta Hadits.
6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan juga pengarahan.
7. Kedua orang tua yakni Abah H. Abdulloh Afif dan Umik Hj. Alfiyah, adikku Abdul Hamid, Mbah Malihah dan semua keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan restu dan dukungan yang berharga kepada penulis.
8. Segenap anggota *sensor team* Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah ikut memberikan semangat dan dukungan selama penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman Fisika angkatan 2014 dan teman-teman Elektronika Instrumentasi (ELINS) yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
10. Sahabat-sahabatku Makkin "Mayang Fauni, Arum Sinda Santika, Eva Nawangwulan, Laili Nur Wahidah, Alvi Hasanati" yang telah berjuang bersama.
11. Keluarga Ma'had Sunan Ampel al-'Aly (MSAA) "KD '45, ABA '56, USA '67, KD '78" khususnya teman-teman Musyrifah yang selalu memberi motivasi, memberi semangat dan do'a dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Malang, 25 September 2018

Penulis



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka	9
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 <i>Quartz Crystal Microbalance (QCM)</i>	10
2.2.2 Pelapisan pada Sensor	13
2.2.3 Rasa Asam (HCl)	16
2.2.4 Rasa Asin (NaCl)	17
2.2.5 Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	18
2.2.6 OpenQCM	23
2.2.7 Sistem Akuisisi Data	25
2.2.8 Osilator	28
2.2.9 <i>Frequency Counter</i>	31
2.2.10 Pelarutan	34
2.2.11 Pengenceran	36
2.2.12 Kaitan Penelitian dengan Al-Qur'an	36
BAB III METODE PENELITIAN	41
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	41
3.2.1 Alat-Alat Penelitian	41
3.2.2 Bahan Penelitian	42
3.3 Diagram Alir Penelitian	42
3.4 Prosedur Penelitian	43
3.4.1 Tahap Persiapan	43
3.4.2 Tahap Pengambilan Data	46
3.4.3 Tahap Pengolahan Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Data Hasil Penelitian	56

4.1.1	Preparasi Sampel dan Proses Pengujian Sampel	56
4.1.2	Data Hasil Pengujian Sampel	60
4.1.3	Data Hasil Pengujian <i>Respond Time</i>	62
4.1.4	Data Hasil Pengujian Deteksi Limit	67
4.1.5	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor	73
4.2	Pembahasan	81
4.3	Kajian Integrasi Islam	84
BAB V PENUTUP		87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sensor <i>Quartz Crystal Microbalance</i>	12
Gambar 2.2	Bentuk-Bentuk Elektroda Sensor QCM.....	13
Gambar 2.3	Struktur Membran Lipid.	19
Gambar 2.4	Mekanisme Respon Membran Bermuatan Negatif.	20
Gambar 2.5	Arduino Mikro.....	24
Gambar 2.6	QCM Arduino <i>Shield</i>	24
Gambar 2.7	Sensor PT100 RTD.	25
Gambar 2.8	Elemen-Elemen Sistem Akuisisi Data Berbasis PC.....	26
Gambar 2.9	Diagram Fungsional Sistem Akuisisi Data PC.	27
Gambar 2.10	Resonator Kristal Kuarsa Model <i>Butterworth Van Dyke</i>	29
Gambar 2.11	Rangkaian Osilator dengan Amplifier AGC.	30
Gambar 2.12	Rangkaian Dasar Osilator <i>Colpitts</i>	31
Gambar 2.13	Blok <i>Diagram Counter</i>	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Diagram Pembuatan Membran.....	43
Gambar 3.3	Rencana Analisis Grafik Respond time	53
Gambar 3.4	Rencana Analisis Grafik Deteksi Limit	53
Gambar 4.1	Sistem Sensor QCM.....	54
Gambar 4.2	<i>Respond time</i> HCl Tanpa Membran <i>Octadecylamine</i>	62
Gambar 4.3	<i>Respond time</i> HCl dengan Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	63
Gambar 4.4	<i>Respond time</i> NaCl Tanpa Membran <i>Octadecylamine</i>	64
Gambar 4.5	<i>Respond time</i> NaCl dengan Membran Lipid <i>Octadecylamine</i> ...	65
Gambar 4.6	Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM Tanpa Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	68
Gambar 4.7	Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM dengan Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	69
Gambar 4.8	Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM Tanpa Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	70
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM dengan Membran Lipid <i>Octadecylamine</i>	71
Gambar 4.10	Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran terhadap Sampel HCl.....	75
Gambar 4.11	Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran terhadap Sampel HCl.....	76
Gambar 4.12	Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran terhadap Sampel NaCl.....	77
Gambar 4.13	Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran terhadap Sampel NaCl.....	78
Gambar 4.14	Struktur Lipid <i>Octadecylamine</i>	82
Gambar 4.15	Interaksi Gugus NH ₂ dengan NaCl.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Natrium Klorida (NaCl) Murni	18
Tabel 2.2 Jenis Lipid dan <i>Plasticizer</i>	22
Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian	41
Tabel 3.2 Bahan Penelitian	42
Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar (fo)	47
Tabel 3.4 Rencana Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran	48
Tabel 3.5 Rencana Pengambilan Data NaCl Sebelum Pelapisan Membran	49
Tabel 3.6 Rencana Pengambilan Data HCl Sesudah Pelapisan Membran	50
Tabel 3.7 Rencana Pengambilan Data NaCl Sesudah Pelapisan Membran	51
Tabel 4.1 Daftar Volume HCl Pekat pada Sampel	57
Tabel 4.2 Daftar Massa NaCl	58
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM	61
Tabel 4.4 Hasil Analisis <i>Respond Time</i> Sensor QCM	66
Tabel 4.5 Analisis Deteksi Limit Sensor QCM	72
Tabel 4.6 Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM	79



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengujian terhadap Sampel HCl
- Lampiran 3 Data Hasil Pengujian terhadap Sampel NaCl
- Lampiran 4 Data *Respond time*
- Lampiran 5 Penampang Data pada *Software*
- Lampiran 6 Data Hasil Analisis Regresi Linear
- Lampiran 7 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Ulfa, Maria. 2018. **Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid *Octadecylamine* 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) Erika Rani, M.Si.

Kata Kunci: Sensor QCM, Membran Lipid, *Respond time*, Deteksi limit, Sensitivitas

Pengujian sensor QCM dengan pelapisan membran lipid *Octadecylamine* digunakan untuk membedakan respon HCl dan NaCl. Karakteristik sensor yang diuji yaitu *respond time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor. Pengujian dilakukan pada 10 variasi konsentrasi untuk sampel HCl yaitu 100 mM – 550 mM dengan interval 50 mM. Sedangkan untuk sampel NaCl dibuat variasi 20 konsentrasi yaitu 100 mM – 2000 mM dengan interval 100 mM. Penelitian ini menggunakan sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran lipid sebagai parameter dari variasi sensor. Hasil *respond time* sensor QCM yang dilapisi lebih cepat merespon sampel dengan nilai sebesar 12 s untuk sampel HCl dan NaCl. Hasil deteksi limit menunjukkan bahwa sensor QCM merespon sampel HCl pada konsentrasi kecil dan merespon sampel NaCl pada konsentrasi yang tinggi. Deteksi limit untuk sampel HCl menggunakan sensor QCM tanpa membran lipid bekerja pada konsentrasi yang lebih kecil (200 mM) dari pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid (300 mM). Sedangkan pada sampel NaCl, sensor QCM sebelum dilapisi dan sesudah dilapisi membran lipid bekerja pada konsentrasi 800 mM. Hasil sensitivitas sensor menunjukkan bahwa sensor QCM dengan dilapisi membran lipid lebih sensitif terhadap sampel HCl dengan nilai sensitivitas 6374.34 Hz/mM lebih besar dari pada sampel NaCl dengan nilai sensitivitas sebesar 1891.84 Hz/mM. Sensitivitas ini menunjukkan bahwa sensor QCM yang dilapisi membran lipid lebih selektif dalam merespon rasa asam dari pada rasa asin.

ABSTRACT

Ulfa, Maria. 2018. **Quartz Crystal Microbalance (QCM) Sensor Characterization Coated with Lipid Octadecylamine Membrane for Identification on HCl and NaCl Response.** Thesis. Physics Department, Science and Technology Faculty, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisors: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Erika Rani, M.Si.

Key Words: QCM Sensor, Lipid Membrane, Respond Time, Limit Detection, Sensitivity

QCM sensor coated Octadecylamine lipid membrane was constructed to identify HCl and NaCl response. The sensor was characterized by respond time, limit detection, and sensor sensitivity. The test was performed on 10 concentration variations for HCl samples of 100 mM – 550 mM with an interval of 50 mM. Meanwhile, for NaCl samples were prepared in 20 concentration variations of 100 mM – 2000 mM with an interval of 100 mM. This research used the coated and uncoated QCM sensor as the parameter variation. The respond time of the coated sensor has faster responds accounted for 12 s toward the HCl and NaCl. The limit detection indicates that the QCM sensor responds to the HCl in small concentrations and to the NaCl in high concentrations. The limit detection for the HCl using the uncoated sensor works in smaller concentration (200 mM) comparing to the coated QCM sensor (300 mM). Furthermore, the coated and uncoated sensors work on the NaCl concentration of 800 mM, while the coated sensor was more sensitive on the HCl with sensitivity 6374.34 Hz/mM which is larger than the NaCl with a sensitivity of 1891.84 Hz/mM. These sensitivity indicate that the coated QCM sensor was more reactive in responding to sour taste than salt.

ملخص البحث

ألفى، مرية. ٢٠١٨. خصائص رقيب *Quartz Crystal Microbalance (QCM)* بطلاء غشاء *Lipid Octadecylamine* لاستجابة *HCl* و *NaCl*. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرف الأول: الدكتور إمام تازي الماجستير، المشرفة الثانية: أريكا رني الماجستير.

الكلمات الرئيسية: رقيب QCM، غشاء Lipid، زمن الاستجابة، كشف الحد، حساسية.

اختبار رقيب QCM مع طلاء غشاء *lipid Octadecylamine* يستخدم للتمييز بين استجابة *HCl* و *NaCl*. خصائص رقيب التي تختبر بها وهي وقت الاستجابة، كشف الحد، وحساسية الرقيب. أجري الاختبار على ١٠ اختلافات في التركيز لعينة *HCl*، وهي ١٠٠ mM - ٥٥٠ mM بمقاسة ٥٠ mM. أما لعينة *NaCl* مكونة التنوع ٢٠ أكثر وهو ١٠٠ mM - ٢٠٠٠ mM بمقاسة ١٠٠ mM. يستخدم هذا البحث رقيب QCM قبل المغلفة بغشاء *Lipid* وبعدها كمعلمة من تنوع الرقيب. نتيجة زمن استجابة رقيب QCM المطلي أسرع استجابة للعينة بقيمة ١٢ ثانية لعينة *HCl* و *NaCl*. تدل نتيجة كشف الحد إلى أن رقيب QCM يستجيب لعينة *HCl* بتركيزات صغيرة ويستجيب لعينة *NaCl* بتركيزات عالية. كشف الحد لعينة *HCl* يستخدم رقيب QCM بدون غشاء *lipid* يعمل بتركيز أصغر (٢٠٠ mM) من رقيب QCM المغلفة بغشاء *lipid* (٣٠٠ mM). أما في عينة *NaCl*، رقيب QCM قبل المغلفة وبعدها بغشاء *lipid* يعمل بتركيز ٨٠٠ mM. تدل نتيجة حساسية الرقيب إلى أن رقيب QCM المغلفة بغشاء *lipid* أكثر حساسية لعينة *HCl* بقيمة حساسية ٦٣٧٤,٣٤ Hz/mM أكبر من عينة *NaCl* بقيمة حساسية ١٨٩١,٨٤ Hz/mM. تدل هذه الحساسية أن رقيب QCM المغلفة بغشاء *lipid* أكثر انتقائية في استجابة ذوق الحامضي من المالحي.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tubuh manusia memerlukan makanan dan minuman sebagai sumber energi untuk melakukan kegiatan sehari-hari. Selain sebagai sumber energi bagi tubuh, makanan dan minuman juga merupakan kebutuhan pokok bagi manusia. Energi tersebut dapat diperoleh dengan cara mengkonsumsi makanan atau minuman yang memiliki nilai gizi yang cukup bagi tubuh. Makanan yang memiliki kandungan gizi meliputi karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral dan air.

Asupan gizi yang masuk ke dalam tubuh manusia harus sesuai dengan kebutuhan sehari-hari. Sebagaimana islam telah menjelaskan bahwa makan yang benar adalah sebuah proses dimana memberi kekuatan pada tubuh serta memberi perlindungan dari segala macam penyakit. Namun, proses ini tidak boleh dilakukan secara berlebihan maupun dalam porsi sedikit (As-Sayyid, 2006). Hal ini sesuai dengan al-Qur'an Surah Thaha ayat 81 dan Surah al-A'raf ayat 31 yang berbunyi:

كُلُوا مِنْ طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ وَلَا تَطْغَوْا فِيهِ فَيَحِلَّ عَلَيْكُمْ غَضَبِي وَمَنْ تَحَلَّىٰ عَلَيْهِ
غَضَبِي فَقَدْ هَوَىٰ

“Makanlah diantara rezeki yang baik yang telah Kami berikan kepadamu dan janganlah melampaui batas padanya, yang menyebabkan kemurkaan-Ku menimpamu. Barang siapa ditimpa oleh kemurkaan-Ku, maka sesungguhnya binasalah ia” (Q.S Thaha : 81).

﴿ يَبْنِيْءَ آدَمَ خُذُوْا زِيْنَتَكُمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوْا وَشَرِبُوْا وَلَا تُسْرِفُوْا إِنَّهُ لَا

تُحِبُّ الْمُسْرِفِيْنَ ﴿٣١﴾

"Hai anak Adam, pakailah pakaian kalian yang indah di setiap (memasuki) masjid, makan dan minumlah dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan" (Q.S al-A'raf : 31).

Surah Thaha dan Surah al-A'raf di atas menganjurkan agar umat manusia tidak berlebih-lebihan (boros) dalam mengkonsumsi makanan atau minuman supaya terhindar dari berbagai macam penyakit. Sebenarnya, makan dalam porsi minimal pun sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan pokoknya (As-Sayyid, 2006). Rasulullah SAW bersabda dalam sebuah Hadits yang diriwayatkan Muslim:

طَعَامُ الْوَاحِدِ يَكْفِي الْاِثْنَيْنِ وَطَعَامُ الْاِثْنَيْنِ يَكْفِي الْاَرْبَعَةَ وَطَعَامُ الْاَرْبَعَةِ يَكْفِي الثَّمَانِيَةَ.

"Makanan satu orang cukup untuk dua orang, makanan dua orang cukup untuk empat orang dan makanan empat orang sebenarnya cukup untuk delapan orang" (H.R Bukhari, Muslim, Ibnu Majah, Ahmad dan Darimi).

Para ilmuan juga berpendapat bahwa tidak berlebih-lebihan dalam makan dan minum merupakan obat dan terapi terbaik agar terhindar dari penyakit. Berdasarkan hasil Riskesdas tahun 2007 dan 2013, tercatat bahwa di Indonesia terjadi peningkatan prevalensi hipertensi yang dapat menyebabkan penyakit komplikasi seperti penyakit jantung koroner, gagal ginjal dan stroke. Salah satu penyebab penyakit tersebut adalah karena berlebihan dalam mengkonsumsi makanan yang mengandung garam.

Rasa yang biasanya terdapat pada makanan yaitu rasa asam dan rasa asin. Pendeteksian rasa dalam suatu makanan tersebut tidak dianjurkan untuk mencicipinya secara langsung menggunakan lidah karena banyak zat asam dan zat

garam yang dapat merusak kulit maupun yang bersifat racun. Sehingga, diperlukanlah alat yang dapat mendeteksi kandungan zat asam dan zat garam pada suatu makanan tanpa harus mencicipinya secara langsung (Indira, 2015).

Alat yang dapat mengimplementasikan cara kerja dari kelima panca indera adalah teknologi sensor. Sensor sering diartikan sebagai suatu perangkat yang dapat menerima serta merespon suatu sinyal ataupun stimulus (Fraden 2003). Selain itu, sensor juga diartikan sebagai suatu alat yang dapat merubah besaran fisika menjadi besaran listrik (Oktariawan dkk, 2013). Pengaplikasian sensor dalam kehidupan sehari-hari memberikan kesamaan yang menyerupai alat indera seperti mata (penglihatan), hidung (penciuman), lidah (perasa) yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya. Salah satu sensor yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi rasa adalah sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*).

Sensor QCM merupakan perangkat untuk mengukur perubahan massa (sensitif terhadap perubahan massa) yang memiliki resolusi tinggi serta *cost effective*. Selain itu, sensor ini juga merupakan sensor serbaguna baik di bidang sensor fisik, kimia dan biologi. Prinsip kerja dari sensor QCM ini adalah berdasarkan perubahan frekuensi dan juga perubahan massa pada permukaan sensor tersebut. Kelebihan dari sensor QCM ini yaitu dapat divariasikan dengan lapisan yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai analisis yang menjadikannya sebagai sensor yang sangat serbaguna (Casteleiro-Roca dkk, 2014).

Penelitian kali ini mencoba menggunakan sensor QCM yang dapat mengidentifikasi rasa dasar seperti halnya lidah manusia sebagai indera pengecap. Rasa dasar dibuat berdasarkan lima cita rasa dasar diantaranya yaitu

rasa asam yang dihasilkan oleh ion hidrogen pada HCl, asam asetat, asam sitrat dan lain-lain; sedangkan rasa asin dihasilkan oleh NaCl; rasa pahit dihasilkan oleh kina, kafein dan MgCl; sedangkan rasa manis diperoleh dari sukrosa, glukosa dan lain-lain; serta umami dapat diperoleh dari MSG (Toko dkk, 1998). Rasa dasar yang akan diteliti pada penelitian ini menggunakan sampel berupa salah satu senyawa kimia yaitu HCl (Asam Klorida) dan NaCl (Natrium Klorida).

Penggunaan sampel HCl dan NaCl ini karena didukung dari penelitian sebelumnya mengenai prototipe sensor rasa *portable* berbasis campuran lipid yang telah dilakukan dan diujikan terhadap lima macam pada larutan diantaranya yaitu glukosa, KCl, kina, HCl dan MSG. Dimana, lima macam larutan tersebut mewakili lima macam rasa dasar, yaitu rasa manis diwakili oleh glukosa, rasa asin diwakili oleh KCl, rasa pahit diwakili oleh kina, rasa asam diwakili oleh HCl dan umami diwakili oleh MSG (Amalinda, 2016).

Senyawa kimia HCl (Asam Klorida) merupakan jenis asam yang memiliki oksidator kuat dan harganya relatif murah serta mudah didapatkan dimanapun (Hartono dan Yunar, 1999). HCl juga dibutuhkan dalam memproduksi makanan, ramuan makanan, zat aditif makanan, serta dalam hidrolisasi protein nabati sebagai penguat rasa makanan dan juga dalam pembentukan gelatin (Maghfira, 2016). Sedangkan NaCl merupakan senyawa kimia yang dapat menimbulkan rasa asin (garam). Selain itu, NaCl juga memiliki karakteristik antara lain yaitu berbentuk kristal, warnanya putih, dapat larut dalam air serta memiliki sifat transparan (Chindesari, 2011).

Penelitian-penelitian sebelumnya tentang sensor lidah elektronik dalam hal pengidentifikasian rasa sudah pernah dilakukan, hanya saja dengan menggunakan sensor yang berbeda. Penelitian sebelumnya menggunakan sistem sensor rasa (*e-tongue*) berbasis membran selektif ion untuk mengklasifikasi rasa pada 3 jenis buah jeruk (jeruk peras, jeruk siam dan jeruk nipis). *E-tongue* tersebut dilengkapi dengan sistem pengenalan pola berbasis PCA (*Principle Component Analysis*). Hasil dari penelitian *e-tongue* tersebut menunjukkan bahwa secara umum *e-tongue* yang dibuat dengan menggunakan 6 membran selektif ion mampu mengidentifikasi empat rasa dasar (pahit, asin, asam dan umami) pada 3 jenis buah jeruk yang berbeda (Wibowo dkk, 2013).

Penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan dengan mengidentifikasi empat rasa dasar menggunakan 16 array sensor lidah elektronik. Dimana dari penelitian tersebut menghasilkan hasil deteksi limit, hasil sensitivitas sensor, serta hasil dari *respond time*. Hasil deteksi limit menunjukkan bahwa sensor 6 merespon pada semua rasa setelah penetesan pertama dan sensor 10 merespon pada semua rasa akan tetapi memiliki limit yang lebih kecil pada sampel $MgCl_2$. Pengujian sensitivitas didapatkan hasil bahwa sensor 6 merespon dengan baik terhadap empat rasa dasar, sensor 11 memiliki sensitivitas yang kurang baik terhadap rasa asam dan asin, serta sensor 3 merespon rasa pahit dan rasa umami dengan kurang baik. Berdasarkan hasil dari *respond time* menunjukkan bahwa semua sensor memenuhi kriteria *steady state sensor* (Al-Jazuly, 2016).

Berdasarkan paparan latar belakang di atas maka dilakukanlah penelitian dengan menggunakan sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) yang akan

mencoba mengidentifikasi respon dari rasa dasar (asam dan asin). Rasa asam pada penelitian ini akan diwakili oleh salah satu senyawa kimia yaitu HCl (Asam Klorida), sedangkan rasa asin diwakili oleh salah satu senyawa kimia yaitu NaCl (Natrium Klorida). Pengujian ini nantinya akan diuji dengan menggunakan sensor QCM yang elektrodanya akan dilapisi dengan lapisan sensitif berupa membran lipid *Octadecylamine*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana *respond time* dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* yang dapat mengidentifikasi respon dari senyawa kimia HCl dan NaCl?
2. Bagaimana deteksi limit dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* yang dapat mengidentifikasi respon dari senyawa kimia HCl dan NaCl?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* yang dapat mengidentifikasi respon dari senyawa kimia HCl dan NaCl?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Dapat mengetahui karakteristik *respond time* dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* terhadap respon senyawa kimia HCl dan NaCl.

2. Dapat mengetahui karakteristik deteksi limit dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* terhadap respon senyawa kimia HCl dan NaCl.
3. Dapat menentukan sensitivitas dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine* terhadap respon senyawa kimia HCl dan NaCl.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel uji yang digunakan hanya senyawa kimia HCl (Asam Klorida) dan NaCl (Natrium Klorida).
2. Bahan aktif yang digunakan hanya berupa membran lipid *Octadecylamine*.
3. Sampel uji untuk HCl hanya dilakukan pada batas 0 mM - 550 mM dan untuk sampel NaCl 0 mM - 2000 mM dikarenakan keterbatasan alat ukur yang ada.
4. Penelitian ini tidak membahas analisis karakteristik membran terlalu dalam, hanya sebatas pengaruhnya terhadap sensor.
5. Pelapisan membran lipid *Octadecylamine* tidak menganalisis ketebalan membran.
6. Rangkaian prosesor dan *software* yang digunakan pada penelitian ini merupakan produksi dari pabrik yang sudah terkalibrasi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Umum
 - a. Mengetahui cara pembuatan sensor rasa berbasis sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) beserta aplikasinya.

- b. Mengetahui karakteristik dari sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) yang dapat mengidentifikasi rasa dasar yaitu asam dan asin.

2. Manfaat Khusus

Penelitian karakterisasi sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) terhadap respon pada senyawa kimia HCl dan NaCl ini merupakan tahap awal yang ditujukan untuk menunjang dan menginformasi penelitian pada bidang akuisisi data identifikasi rasa berbasis sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) untuk sampel liquid.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) dengan teknik *piezoelektrik* mengidentifikasi 6 senyawa volatil organik dengan signifikansi minyak zaitun yang tinggi. Pendeteksian ini didasarkan pada sampel absorpsi pada 40 film penginderaan yang dilapisi pada permukaan kristal kuarsa yang berlapiskan emas. Setiap film penginderaan akan disiapkan 10 konsentrasi larutan yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa hanya ada 5 sensor QCM yang memiliki nilai sensitivitas tinggi sehingga cukup untuk mendeteksi senyawa volatil (Escuderos dkk, 2011).

Pelapisan pada sensor QCM untuk mendeteksi 6 senyawa volatil organik ini menggunakan metode *spin coating*. *Spin coating* ini merupakan metode pelapisan yang digunakan untuk melapisi adsorben di permukaan elektroda emas. Cara pelapisannya yaitu sebuah adsorben dan PVC (*Polyvinyl Chlorida*) dicampur bersama dan dilarutkan dengan menggunakan THF (*Tetrahydrofuran*). Setiap 10 mikroliter dari pelapisan yang telah dibuat, diberikan ke permukaan elektroda emas dengan menggunakan mikropipet. THF yang berperan sebagai pelarut akan mengering dengan cepat dan menguap lalu meninggalkan lapisan tipis adsorben pada permukaan kristal kuarsa (Escuderos dkk, 2011).

Sensor QCM ini juga dapat dimanfaatkan dalam studi kasus biosensor. Sensor ini dapat digunakan untuk menganalisis sensitivitas yang ada pada air limbah. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor QCM untuk pengujian terhadap air

limbah menghasilkan nilai sensitivitas yang tinggi. Selain itu, beberapa keuntungannya yaitu sensor QCM ini dapat digunakan untuk mengukur ATR (*atrazine*) tanpa gangguan. Beberapa keuntungan lainnya yaitu harga sensornya murah, responnya cepat dan mudah digunakan (Gupta dkk, 2015).

Pemanfaatan sensor QCM dalam bidang biosensor juga sudah banyak dilakukan di banyak tempat. Pemanfaatan ini bertujuan untuk meningkatkan kehandalan biosensor dengan teknik modifikasi permukaan polimer pada sensor. Beberapa penelitian telah berhasil membuat lapisan tipis *polystyrene* pada permukaan sensor QCM dengan teknik *short time spray coating*, pengembangan modifikasi permukaan lapisan, pengembangan rangkaian pengukuran QCM dengan CPLD, penyiapan antigen dan antibodi serta pengujian immobilisasi. Hasil percobaan dari penelitian ini adalah resonator dapat bekerja dengan baik pada saat dilapisi *polystyrene*. Melalui teknik *short time spray* sensor masih dapat beresonansi dengan baik, serta amplitudo sinyal keluaran dari osilator tidak ada perbedaan baik pada saat dilapisi *polystyrene* atau pada saat belum dilapisi (Santjojo, 2010).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Quartz Crystal Microbalance atau disingkat QCM merupakan sebuah sistem yang berfungsi untuk mengukur massa ditingkat nanogram. QCM merupakan fenomena molekul-molekul yang bergerak pada permukaan sensor sehingga massa kristal akan bergerak dan terjadi perubahan ambang frekuensi pada

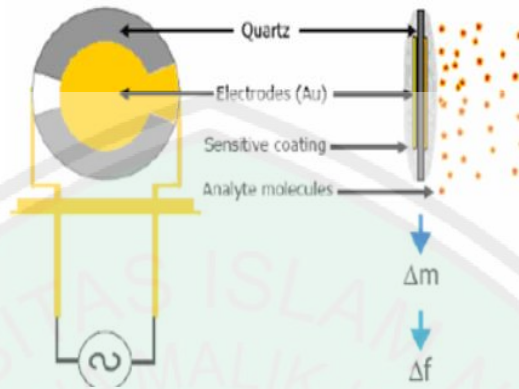
kristal kuarsa (Mulyadi, 2009). QCM juga dikenal sebagai sensor yang simpel, murah, serta dapat menerima *miniaturization* (pengecilan) (Speller dkk, 2017).

Sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) adalah perangkat untuk mengukur perubahan massa (sensitif terhadap perubahan massa) yang memiliki resolusi tinggi serta memiliki harga yang terjangkau. QCM adalah sensor yang dapat mengukur massa per unit area dengan cara mengukur perubahan frekuensi pada resonator kristal kuarsa. Selain itu, sensor ini juga merupakan sensor serbaguna baik di bidang sensor fisik, kimia dan biologi yang dapat digunakan sebagai biosensor yang praktis dan ekonomis untuk mendeteksi konsentrasi biomolekul yang memiliki ambang batas pengukuran tertentu (Hudha dkk, 2013).

Prinsip kerja dari sensor QCM ini adalah berdasarkan perubahan frekuensi dan juga perubahan massa pada permukaan sensor tersebut. Kelebihan dari sensor QCM ini yaitu dapat divariasikan dengan lapisan yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai analisis yang menjadikannya sebagai sensor yang sangat serbaguna. Akan tetapi, selain memiliki kelebihan sensor ini juga memiliki kelemahan yaitu kebutuhan karakterisasi yang tepat dari sensor dalam kaitannya dengan aplikasi tertentu (Casteleiro-Roca dkk, 2014).

Sensor QCM ini memiliki prinsip kerja berdasarkan pada prinsip *piezoelektrik*. Dimana *piezoelektrik* sendiri adalah suatu kemampuan yang dimiliki oleh sebagian kristal maupun bahan-bahan tertentu yang dapat menghasilkan sebuah arus listrik bila mendapatkan perlakuan berupa tekanan. Sensor ini dibuat dari bahan kristal yang berlapiskan lapisan SiO_2 yang kedua sisinya diapit oleh

elektroda sehingga akan menghasilkan potensial listrik sebagai respon dari tekanan mekanik yang diberikan (Mulyadi, 2009):



Gambar 2.1 Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (Mulyadi, 2009).

Sensor QCM terbuat dari kuarsa tipis yang pada sisi-sisi berlawanannya diapit oleh sepasang elektroda logam. Bagian atas dari salah satu sisi dilapisi dengan bahan aktif yang bersifat sensitif. Lapisan ini menyebabkan peningkatan massa sensor QCM dan menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi resonansi sensor. Nilai pada frekuensi resonansi ini akan menurun secara linear dikarenakan adanya penyerapan massa (Sharma dkk, 2014).

Sensor QCM yang dilapisi dengan film tipis yang kaku maka akan mengalami pemuatan massa yang seragam, perubahan frekuensi osilasi pada kristal (Δf) yang di definisikan sebagai persamaan Saurbrey (Muckley dkk, 2016):

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

Dimana Δm adalah perubahan massa pada kristal, f_0 adalah resonansi frekuensi dasar dari kristal (Hz) dan A adalah area atau daerah *piezoelektrik* kristal (m^2), ρ_q kerapatan massa ($= 2,684 \text{ g/cm}^3$) dan juga μ_q adalah modulus geser pada kristal ($= 2,974 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$). Persamaan Saurbrey inilah yang mendasari penggunaan kristal

kuarsa sebagai sensor QCM, dimana rumus 2.1 tersebut menunjukkan bahwa perubahan frekuensi osilasi pada kristal sebanding dengan perubahan massa permukaan kristal.

Sensitivitas frekuensi osilasi kristal pada suhu, kelembapan, tekanan, kecepatan dan getaran tertentu, akan membuat osilator *piezoelektrik* digunakan sebagai sensor dengan tingkat akurasi yang tinggi. Memilih jenis resonator kuarsa yang akan digunakan perlu diperhatikan terlebih dahulu bentuk elektroda pada kristal yaitu persegi panjang, lingkaran kecil dan lingkaran besar. Bila media yang digunakan adalah cairan, maka sebaiknya menggunakan yang persegi panjang. Sebaliknya, jika media yang digunakan adalah media udara maka dianjurkan untuk menggunakan yang lingkaran kecil (Farih, 2000):



Gambar 2.2 Bentuk-Bentuk Elektroda Sensor QCM (Farih, 2000).

2.2.2 Pelapisan pada Sensor

Pelapisan pada sensor harus dengan menggunakan lapisan tipis. Lapisan tipis merupakan suatu lapisan material yang tebalnya mulai ukuran nanometer (lapisan tunggal) hingga ketebalannya kira-kira mencapai mikrometer. Ciri-ciri dari lapisan tipis itu sendiri yaitu melapisi permukaan substrat secara merata dengan kesalahan yang minim, serta memiliki ketelitian yang tinggi (Yutaka, 1996).

Lapisan tipis dapat dibuat dengan menggunakan beberapa metode, yaitu: pelapisan putar (*spin coating*), logam uap kimia organik, kimia basah, pelapisan celup, metode uap kimia, pelapisan laser berpulsa, *sputtering* dan *screen printing*. *Screen printing* merupakan teknik untuk menghasilkan film tebal dari berbagai material yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi sel surya, varistor, detektor UV dan sensor (Sari, 2013).

Pelapisan polimer pada elektroda sensor memiliki dua teknik, diantaranya yaitu teknik *electropolymerisation* dan *spin-coating*. Pelapisan elektroda yang memanfaatkan beda potensial yang dikenai pada elektroda sensor QCM merupakan teknik *electropolymerisation*. Sedangkan untuk teknik pelapisan *spin coating* adalah pelapisan yang memanfaatkan *spin* atau putaran pada pelapisan elektroda sensor QCM (Vives, 2008).

Spin coating adalah teknik pelapisan yang menggunakan deposit cairan dalam jumlah yang kecil dan kemudian akan dilakukan *spin* atau diputar dengan kecepatan tinggi. Kecepatan putaran pada teknik *spin coating* ini sekitar 3000 rpm dalam suatu bidang datar. Ketebalan lapisan h_f dengan menggunakan teknik *spin coating* ini dirumuskan dengan rumus (Hudha dkk, 2013):

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

dimana k adalah konstanta pada konsentrasi, viskositas larutan dan karakteristik dari polimer dan pelarut, $x_{1,0}$ adalah fraksi berat polimer dan ω adalah kecepatan rotasi.

Metode *spin coating* dianggap metode yang paling mudah dan cepat dalam penumbuhan lapisan tipis. Lapisan yang dihasilkan dari metode *spin coating* ini

memiliki tingkat kehomogenan yang cukup tinggi. Tingkat ketebalan lapisan dapat dengan mudah dikontrol melalui kecepatan putar dan waktu putar dari alat *spin coater*. Proses *spin coating* terdiri dari 4 tahapan yang terdiri dari deposisi, *spin up* dan *spin off* serta tahap evaporasi yang akan menentukan ketebalan akhir dari lapisan tipis (Fathoni dkk, 2013).

Lapisan tipis yang dihasilkan dari metode *spin coating* akan menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas yang tinggi dan juga biaya pembuatan yang dapat dikatakan relatif murah. Kecepatan *spin coater* diatur untuk masing-masing SPD 1 (kecepatan putaran pertama) sebesar 500 rpm dan SPD 2 (kecepatan putaran kedua) sebesar 3000 rpm. Begitu juga dengan waktu putar *spin coater* yang dapat diatur untuk masing-masing T1 (waktu putar pertama) 10 s dan T2 (waktu putar kedua) 60 s. Pengaturan kecepatan putar dan waktu putar *spin coater* ini bertujuan untuk memberikan percepatan pada substrat agar larutan pelapis yang ditetaskan terdistribusi secara homogen (rata) diseluruh permukaan substrat (Fathoni dkk, 2013).

Apabila sampel yang digunakan pada sensor QCM berupa molekul gas, maka sensor QCM tidak dapat merespon terhadap penambahan massa dari molekul gas tersebut. Sehingga, permukaan elektroda dari sensor QCM perlu dilapisi polimer yang dapat menangkap molekul gas target. Lapisan polimer ini berfungsi sebagai reseptor molekul gas yang berada pada permukaan elektroda. Adanya penambahan lapisan polimer pada permukaan elektroda sensor QCM, maka akan mengakibatkan terjadinya penurunan frekuensi resonan QCM. Sehingga, harus

dilakukan dengan hati-hati dan teliti saat melakukan pelapisan polimer pada sensor QCM agar mendapatkan nilai stabilitas sensor yang tinggi (Johannsmann, 2015).

2.2.3 Rasa Asam (HCl)

Rasa asam disebabkan oleh suatu golongan asam. Dimana konsentrasi ion hidrogen maupun intensitas dari sensasi rasanya kira-kira sebanding dengan logaritma konsentrasi ion hidrogen. Oleh sebab itu, makin asam suatu makanan maka semakin kuat sensasi asamnya (Guyton, 2009).

Rasa asam akan timbul karena disebabkan oleh ion hidrogen yang terdapat dalam larutan. Ion ini kemudian akan bereaksi dengan sel rasa dengan cara langsung masuk ke dalam sel, memblokir kanal ion kalium pada mikrovili dan mengikat kanal bukaan pada mikrovili, sehingga ion-ion positif akan masuk ke dalam sel rasa. Ion-ion positif ini akan berakumulasi dan menyebabkan terlepasnya *neurotransmitter* sehingga akan dikirim sinyal menuju ke otak (Irianto, 2012).

Senyawa kimia HCl (Asam Klorida) memiliki rasa asam yang mana di dalamnya memiliki sifat fisis dan sifat kimia. Adapun sifat fisisnya antara lain yaitu, memiliki titik lebur pada suhu -111°C dan titik didih pada suhu -85°C , serta memiliki berat molekul sebesar 36,47. Sifat kimianya, dapat ditinjau dari pembuatan HCl yang dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya yaitu reaksi langsung antara klor dengan hidrogen, hasil samping reaksi hidrokarbon dengan klor dan dapat bereaksi dengan aluminium. HCl adalah salah satu jenis oksidator kuat yang harganya relatif murah serta mudah didapatkan dimanapun. Asam Klorida (HCl) juga merupakan jenis asam yang lebih aman jika dibandingkan

dengan asam-asam yang lain seperti H_2SO_4 (Asam Sulfat) dan HNO_3 (Asam Nitrat) (Hartono dan Yunar, 1999).

2.2.4 Rasa Asin (NaCl)

Ion natrium pada NaCl akan memberikan sensasi rasa asin saat ion natrium memasuki kanal ion pada mikrovili bagian apikal atau melewati kanal pada basolateral (sisi) sel rasa, hal inilah yang akan memberikan sensasi rasa asin tersebut (Irianto, 2012). Kualitas dari rasa asin sedikit berbeda dari satu garam dengan garam lainnya karena beberapa jenis garam akan mengeluarkan rasa lain selain rasa asin (Guyton, 2009).

Garam atau dalam istilah kimia lebih dikenal dengan NaCl (Natrium Klorida) memiliki karakteristik antara lain yaitu berbentuk kristal, warnanya putih, dapat larut dalam air serta memiliki sifat transparan. Pembentukan kristal garam dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, suhu, konsentrasi serta waktu kristalisasi. Waktu kristalisasi pada pembentukan kristal garam memiliki pengaruh terhadap sifat fisis dari bahan tersebut yaitu pada ukuran kristal dan struktur kristalnya. Bila panas yang dibutuhkan untuk memanaskan kristal membutuhkan waktu yang besar, maka ukuran butir kristalnya juga akan semakin besar pula (Chindesari, 2011).

Garam merupakan zat padat berwarna putih yang diperoleh dengan cara menguapkan dan memurnikan air laut. Menurut Arsyad (2001), garam juga dapat diperoleh dengan menetralkan HCl dan NaOH berair, NaCl hampir tidak dapat larut dalam alkohol akan tetapi dapat larut dalam air sambil menyedot panas, serta perubahan kelarutannya sangat kecil dengan suhu. Sedangkan menurut (Sax dan

Lewis, 1987), garam merupakan kristal berbentuk putih bening, gumpalan, memiliki rasa asin, tidak berbau, larut dalam air, sedikit larut dalam alkohol, memiliki titik leleh 801°C serta tidak mudah terbakar.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Natrium Klorida (NaCl) Murni (Othmer, 1969)

Parameter	Keterangan
Massa molekul (g/mol)	58,44
Bentuk kristal	Kubik
Warna	Tidak berwarna-putih
Refraksi indeks	1,5422
Densitas (g/mol)	2,165
Titik leleh (°C)	801
Titik didih (°C)	1413
Kekerasan (skala Mohs')	2,5
Kapasitas panas (J/g°C)	0,853
Panas peleburan (J/g)Kj/mo	517,1
Panas pelarutan, 1 kg H ₂ O, 25°C (kJ/mol)	3,757
Kelembaban kritik pada 2°C (%)	75,3

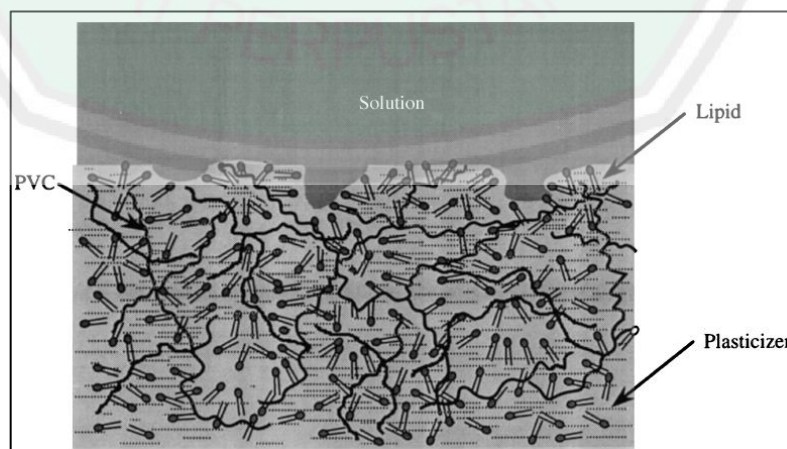
2.2.5 Membran Lipid *Octadecylamine*

Membran diartikan sebagai sebuah penghalang selektif antara dua fasa. Fungsi membran yaitu memisahkan material berdasarkan ukuran dan bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang memiliki ukuran yang lebih besar dari pori-pori membran, kemudian melewatkan komponen yang memiliki ukuran lebih kecil (Agustina dkk, 2006). Membran merupakan suatu bahan yang dapat memisahkan dua komponen dengan cara spesifik, yaitu dengan cara menahan atau melewatkan salah satu komponen dengan lebih cepat daripada komponen lainnya. Beberapa pembuatan membran dapat dilakukan dengan beberapa metode

diantaranya yaitu pelelehan, pengepresan, *tracketching* dan pembalikan fasa (Gea dkk, 2005).

Lipid sendiri merupakan lapisan bagian dalam yang bagian molekulnya bersifat polar dan non polar. Bagian molekul lipid yang bersifat polar berikatan dengan molekul protein, sedangkan bagian molekul lipid yang bersifat non polar berada dibagian dalam bersama cairan yang ada dilapisan tengah. Adanya lapisan protein dibagian luar, membuat membran sel bersifat hidrofil. Artinya molekul air dapat dengan mudah menempel pada membran (Pudjiaji, 1990).

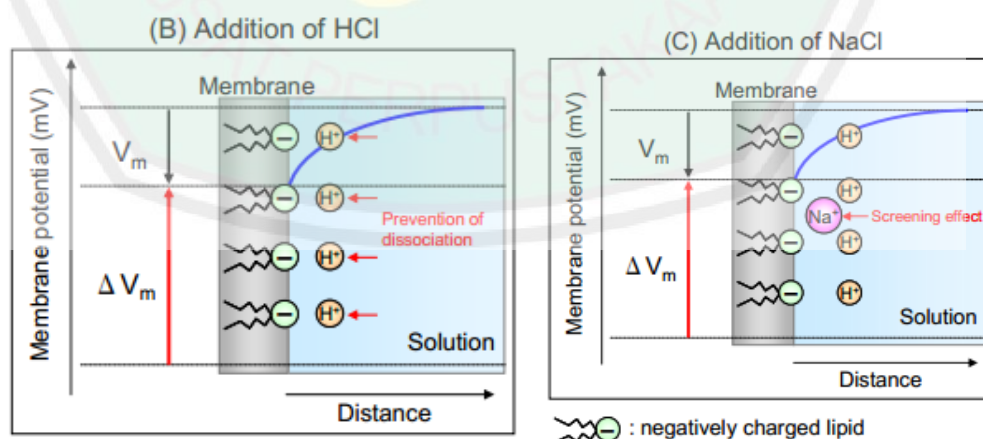
Adanya gugus karboksil pada kedudukan tertentu dalam struktur membran polimer cair dengan matriks PVC, menyebabkan membran memiliki muatan negatif. Senyawa asam oleat memiliki sifat non polar pada salah satu ujung nya (alkena) dan polar pada bagian ujung lainnya (karboksil), sehingga respon dari permukaan menjadi berbeda ketika dihubungkan dengan larutan sampel. Bagian ujung yang polar akan berorientasi ke arah sistem *aqueous*, sedangkan bagian ujung non polarnya ke arah pusat membran, seperti tampak pada gambar di bawah ini (Toko dkk, 1998):



Gambar 2.3 Struktur Membran Lipid (Toko dkk, 1998).

Membran lipid memiliki peran utama dalam mendeteksi rasa pada sensor rasa. Membran yang digunakan pada sensor rasa adalah membran selektif ion yang akan merespon terhadap ion-ion sampel yang berlawanan dengan muatan membran. Membran dianggap sebagai permukaan datar dengan kerapatan muatan seragam. Interaksi antara bagian hidrofilik lipid dengan ion sampel uji menyebabkan perubahan kerapatan muatan dan juga timbulnya potensial membran, yang kemudian dianalisis untuk mewakili rasa tertentu (Wibowo dkk, 2013).

Permukaan setiap sensor yang direkatkan dengan membran lipid artifisial memiliki fungsi yang mirip seperti lidah manusia. Ketika sensor tersebut menyerap rasa, maka yang terjadi adalah berubahnya potensial pada membran lipid artifisial yang mekanismenya mirip seperti halnya lidah manusia. Kemudian, luaran dari larik sensor akan diproses oleh suatu perangkat lunak untuk mengevaluasi rasa secara objektif. Jadi, fungsi membran lipid disini adalah sebagai sensor yang berinteraksi dengan larutan sampel menggunakan konsep selektivitas global (Hayashi dkk, 2008).



Gambar 2.4 Mekanisme Respon Membran Bermuatan Negatif (Kobayashi dkk, 2010).

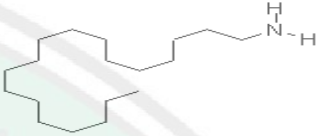
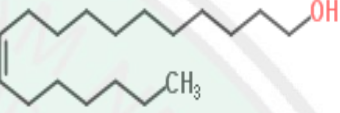

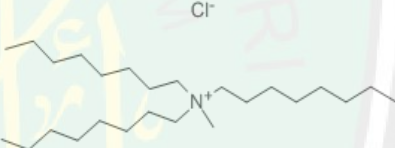
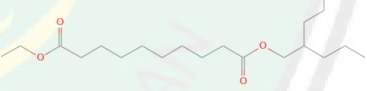
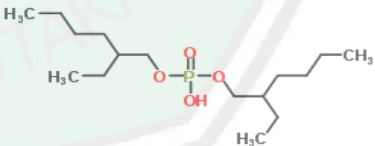
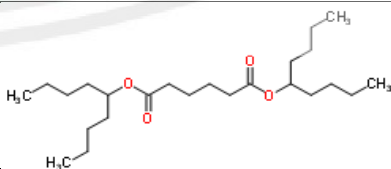
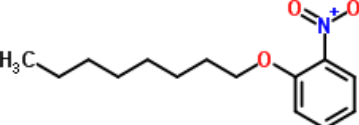
Gambar 2.4 merupakan gambaran mekanisme respon membran bermuatan negatif terhadap zat rasa asam dan garam. Dimana V_m adalah potensial membran, ΔV_m adalah perubahan potensial membran (output sensor), H^+ adalah proton yang dipisahkan dari molekul lipid, Na^+ adalah ion natrium. Kurva berwarna biru mewakili perubahan lapisan ganda listrik dengan jarak (Kobayashi dkk, 2010).

Gambar 2.4 (B) yaitu respon dari membran bermuatan negatif terhadap zat asam yakni pada HCl, menunjukkan bahwa zat asam mampu mengubah potensial membran dengan cara mencegah disosiasi molekul lipid. Gambar 2.4 (C) merupakan respon terhadap NaCl yang menunjukkan bahwa zat asin (garam) mampu mempengaruhi lapisan ganda listrik pada permukaan sensor, sehingga menyebabkan perubahan potensial membran (efek skrining). (Kobayashi dkk, 2010).

Komponen utama penyusun membran adalah lipid/polimer sebagai zat aditif, dioktil ftalat (DOP) sebagai *Plasticizer*, *Polyvinyl Clorida* (PVC) sebagai matriks pendukung dan THF. Setiap bahan memiliki peran tersendiri dalam membran. *Plasticizer* berfungsi sebagai pelarut membran agar lebih lentur. Jenis *Plasticizer* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Plasticizer* 2NPOE, sedangkan untuk jenis lipidnya menggunakan lipid *Octadecylamine* yang memiliki rumus dan berat molekul $C_{18}H_{39}N$, serta memiliki struktur kimia $CH_3(CH_2)_{16}CH_2NH_2$. Sifat fisik dari membran lipid *Octadecylamine* yaitu berbentuk putih padat, tidak dapat larut dalam air, serta memiliki densitas yang lebih kecil dari air sehingga dapat mengapung di air (Kadidae, 2000).

Jenis-jenis lipid dan *Plasticizer* yang sering digunakan pada sensor rasa adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Jenis Lipid dan *Plasticizer* (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>)

Lipid			
No	Nama Kimia	Rumus Molekul	Struktur Kimia
1	<i>Octadecylamine</i>	$C_{18}H_{39}N$	
2	<i>Oleyl Alcohol</i>	$C_{18}H_{36}O$	
3	<i>Oleic Acid</i>	$C_{18}H_{34}O_2$	
4	<i>Methyltriocyl Ammonium Chloride</i>	$C_{25}H_{54}ClN$	
Plasticizer			
No	Nama Kimia	Rumus Molekul	Struktur Kimia
1	Bis (2-Ethylhexyl Sebacate)	$C_{26}H_{50}O_4$	
2	Bis (2-Ethylhexyl Phospate)	$C_{16}H_{35}O_4P$	
3	Bis (1-Buthylpenthyl Adipate)	$C_{24}H_{46}O_4$	
4	2-NPOE	$C_{14}H_{21}NO_3$	

2.2.6 OpenQCM

OpenQCM merupakan perangkat yang dapat beroperasi dalam fasa cairan, udara atau vakum. OpenQCM juga merupakan *open source* kristal kuarsa yang menggunakan Arduino sebagai mikrokontrolernya. Komponen yang ada pada alat OpenQCM sendiri terdiri dari tiga komponen utama yaitu *Arduino micro board*, *QCM Arduino Shield* dan sensor temperatur. Ketiga komponen ini berfungsi sebagai mikrokontroler, frekuensi *counter*, osilator dan pengukur suhu (Novaetech, 2016).

A. Arduino Mikro

Arduino mikro adalah papan mikrokontroler yang terdapat pada OpenQCM yang beroperasi pada frekuensi maksimum 16 MHz. Beberapa fitur terpenting dari *Arduino micro* untuk OpenQCM adalah memiliki tegangan operasi sebesar 5 VDC melalui koneksi USB mikro, arus DC untuk 3,3V pin 50 mA dan saluran input analog. Melalui fitur ini, OpenQCM dapat digunakan melalui koneksi USB, mengukur frekuensi kristal kuarsa, menyuplai daya ke osilator kristal kuarsa dan membaca sensor suhu analog (Novaetech, 2016).

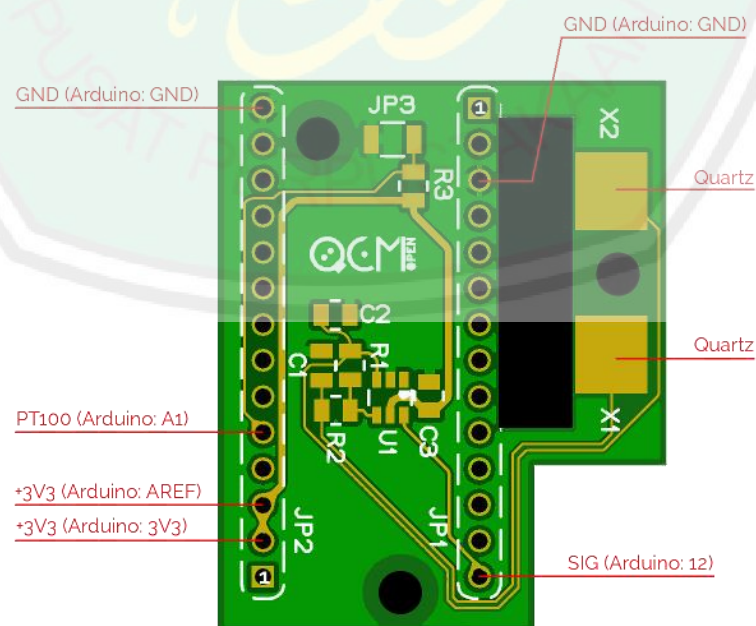
Selain berfungsi sebagai mikrokontroler, *Arduino micro* juga berfungsi sebagai *frequency counter* yang memiliki *library frequency counter* eksternal. *Frequency counter* ini mampu mengukur frekuensi sinyal digital dengan cara menghitung jumlah pulsa selama interval waktu yang tetap. Melalui *frequency counter* inilah getaran kristal kuarsa dapat diukur (Novaetech, 2016).



Gambar 2.5 Arduino Mikro (Novaetech, 2016).

B. QCM Arduino Shield

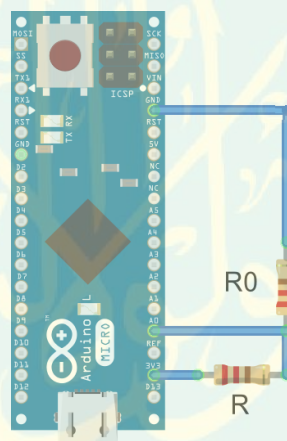
QCM *Arduino shield* atau pelindung yang dirancang khusus sesuai dengan *Arduino micro* ini merupakan modul elektronik utama OpenQCM. QCM *Arduino shield* berfungsi sebagai osilator yang didesain sedemikian rupa agar mudah menghubungkan board *Arduino micro* dengan *shield*. Hasil getaran pada resonator QCM dibangkitkan oleh QCM *Arduino Shield* dan diukur frekuensi resonansinya oleh *Arduino micro*. Selain sebagai pelindung yang dirancang untuk *Arduino micro*, *Arduino Shield* memiliki sensor tertanam yang berfungsi untuk mengukur suhu perangkat (Novaetech, 2016):



Gambar 2.6 QCM *Arduino Shield* (Novaetech, 2016).

C. Sensor Suhu (*Temperature Sensor*)

Sensor suhu atau *temperature sensor* adalah detektor suhu ketahanan PT100 RTD yang berfungsi untuk mengukur suhu selama proses pengujian. Sensor suhu ini terdiri dari dua buah resistor yang dirangkai seperti pada gambar 2.7. Rangkaian gambar 2.7 dibawah, R0 dan R adalah resistansi PT100 yang besar masing-masing hambatannya adalah 100 ohm, Vcc adalah pin out dari Arduino 3.3V dan V0 adalah tegangan yang diukur melalui pin analog A0. Data suhu yang dihasilkan oleh sensor PT100 RTD kemudian disimpan dalam data logger dan ditampilkan pada *software* OpenQCM 1.2 (Novaetech, 2016).



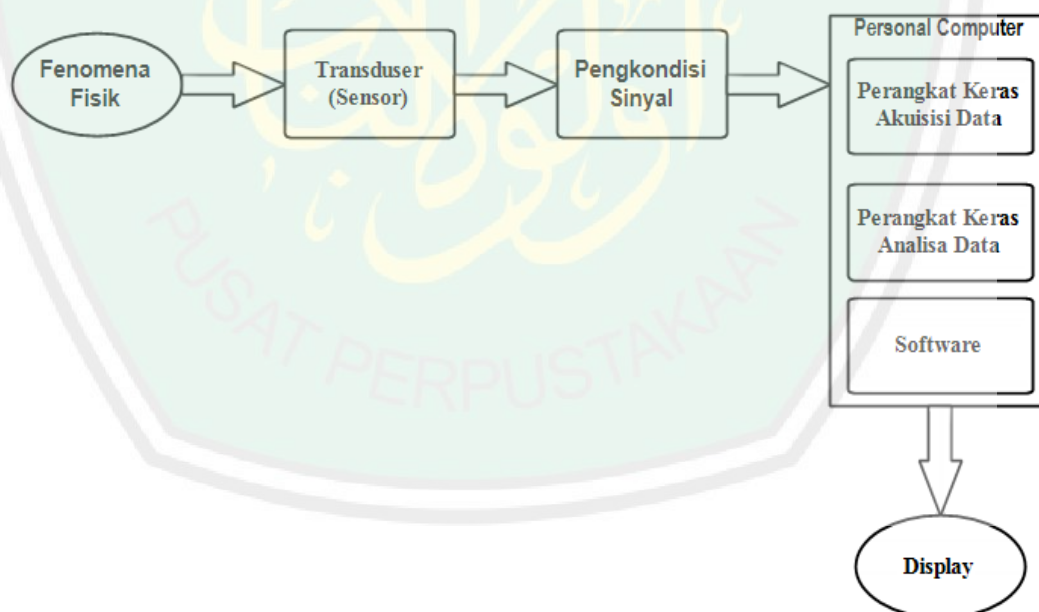
Gambar 2.7 Sensor PT100 RTD (Novaetech, 2016).

2.2.7 Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data atau dikenal dengan *Data Acquisition System* (DAS) merupakan sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang bersama-sama memiliki tujuan untuk melakukan pengukuran, menyimpan, serta mengolah hasil pengukurannya. Faktanya adalah DAS berupa *interface* antara lingkungan analog dengan digital. Transduser dan pengondisian sinyal dengan segala kelengkapannya termasuk ke dalam kategori lingkungan analog, sedangkan

lingkungan digital meliputi *Analog to Digital Converter* (ADC) dan selanjutnya pemrosesan digital yang dilakukan oleh mikroprosesor atau sistem berbasis mikroprosesor. Pengaruh penggunaan komputer terhadap sistem akuisisi data dapat mempengaruhi kecepatan akuisisi data (Mandela dkk, 2014).

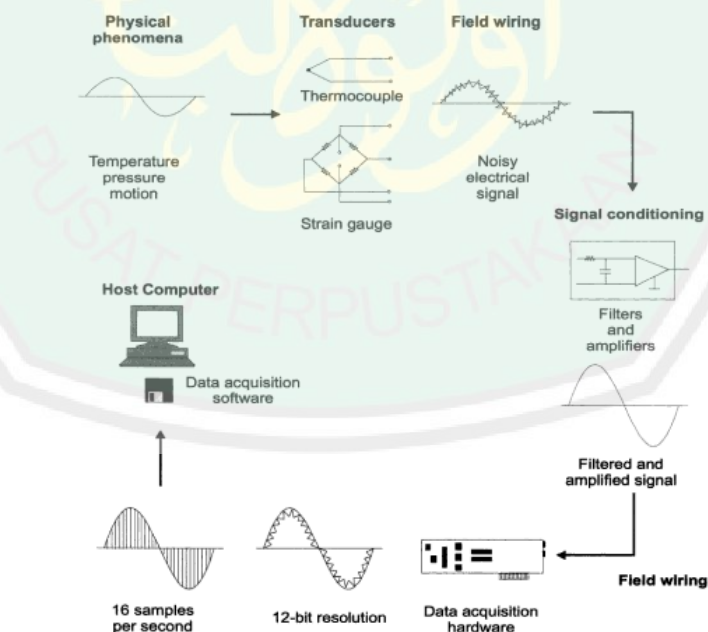
Akuisisi data adalah proses perubahan besaran fisik dari alam yang kemudian diubah ke dalam bentuk sinyal listrik yang dapat diukur dan diubah-ubah ke dalam format digital untuk dapat diproses, kemudian dianalisis dan disimpan oleh PC atau komputer (Park dan Mackay, 2003). Elemen-elemen dasar sistem akuisisi data berbasis komputer atau PC antara lain adalah sebuah komputer PC, transduser, pengkondisi sinyal, perangkat keras akuisisi data, perangkat keras analisis dan perangkat lunak yang terkait (Mandela dkk, 2014):



Gambar 2.8 Elemen-Elemen Sistem Akuisisi Data Berbasis PC (Mandela dkk, 2014).

Penggunaan sistem akuisisi data (DAS) tidak hanya untuk mendapatkan data, akan tetapi sistem akuisisi data memiliki cakupan yang lebih luas yaitu mengenai aspek kontrol dari keseluruhan sistem. Kontrol adalah suatu proses dimana sinyal digital dari sistem *hardware* diolah untuk mengendalikan aktuator dan *relay*. Kontrol inilah yang kemudian mengontrol sistem atau proses, dimana sistem inilah yang kemudian disebut dengan sistem akuisisi data atau DAS (Park dan Mackay, 2003).

Suatu sistem akuisisi data dan sistem kontrol yang dibangun berdasarkan kekuatan dan fleksibilitas PC, bisa terdiri dari blok perangkat keras yang berbeda. Komponen dasar dari sistem akuisisi data adalah sensor dan transduser, pengkabelan, pengondisi sinyal, *hardware* data akuisisi, *software* data akuisisi (Park dan Mackay, 2003).



Gambar 2.9 Diagram Fungsional Sistem Akuisisi Data PC (Park dan Mackay, 2003).

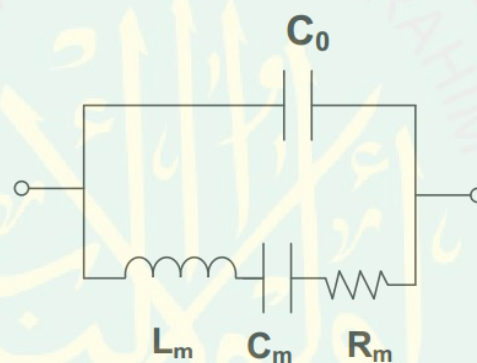
2.2.8 Osilator

Osilator merupakan rangkaian pembangkit sinyal yang memiliki outputan berupa gelombang, baik itu gelombang sinusoidal, segitiga, gergaji, atau persegi. *Output* gelombang yang dihasilkan sesuai dengan desain rangkaian dan komponen yang digunakan. Adapun inputan dari osilator berupa sumber tegangan DC (searah) sehingga dengan demikian osilator sering disebut sebagai pembangkit sinyal (*signal generator*) (Assa'idah, 2012).

Fungsi osilator banyak sekali, diantaranya dapat ditemukan pada jam digital, pada komputer, pada stasiun pemancar dan penerima radio AM. Osilator pada jam digital berfungsi untuk memastikan waktu yang ditunjukkan oleh jam digital adalah waktu yang tepat. Fungsi osilator pada komputer berfungsi sebagai penyedia sinyal dengan frekuensi yang stabil dalam menentukan seberapa cepat prosesornya bekerja. Sedangkan dalam dunia komunikasi, yaitu pada stasiun pemancar dan juga penerima radio AM, osilator berperan dalam hal menghasilkan gelombang pembawa (*carrier*) dan mengolah sinyal yang sudah diterima hingga siaran dapat terlaksana dengan baik (Assa'idah, 2012).

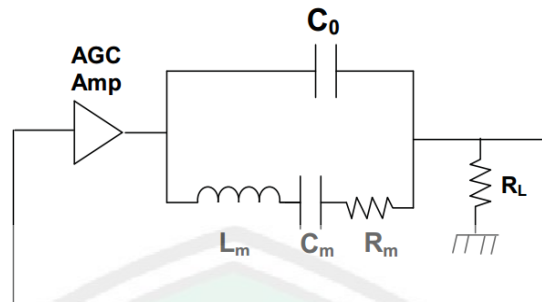
Salah satu fitur terpenting dari sebuah osilator adalah stabilitas frekuensinya. Stabilitas frekuensi merupakan kemampuan osilator untuk menghasilkan output frekuensi yang konstan dalam berbagai kondisi. Faktor yang mempengaruhi stabilitas frekuensi osilator meliputi variasi suhu, variasi beban dan perubahan pada tegangan catu daya. Tingkat stabilitas osilator yang sangat tinggi, umumnya dapat menggunakan osilator kristal kuarsa sebagai perangkat penentuan frekuensi untuk menghasilkan jenis rangkaian osilator yang lain (Malvino, 1984).

Kristal kuarsa yang digunakan pada osilator kristal kuarsa adalah potongan kuarsa tipis yang sangat kecil dengan dua permukaan sejajar untuk membuat sambungan listrik yang dibutuhkan. Salah satu jenis osilator kristal kuarsa yang bergetar secara mekanis dapat ditunjukkan oleh model resonator kristal kuarsa *The Butterworth Van Dyke* (BVD) pada gambar 2.10 dibawah. Model resonator kristal kuarsa BVD ini terdiri dari resistansi rendah (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C). Dimana model BVD ini cocok untuk mengetahui pergeseran frekuensi serta kerugian kristal kuarsa AT-cut pada aplikasi QCM (Henderson, 1991).



Gambar 2.10 Resonator Kristal Kuarsa Model *Butterworth Van Dyke* (Henderson, 1991).

Rangkaian pada gambar 2.10 di atas menunjukkan rangkaian RLC seri yang mewakili getaran mekanik kristal dan sejajar dengan kapasitansi C_0 yang mewakili sambungan listrik ke kristal. Nilai induktansi akan meningkat ketika ditambahkan massa pada elektroda kristal. Pergeseran frekuensi merupakan indikator sensitif dari massa yang ditambahkan pada elektroda (Henderson, 1991).



Gambar 2.11 Rangkaian Osilator dengan Amplifier AGC (Chagnard dkk, 1996).

Gambar 2.11 di atas merupakan rangkaian osilator yang terdiri dari amplifier *Automatic Gain Control* (AGC), resonator kuarsa dan resistor beban. Adapun saat mengembalikan tegangan pada R_L ke input amplifier AGC, rangkaian akan berosilasi pada frekuensi yang pergeseran fasa disekitar loop adalah 0° . Pada frekuensi tertentu, interaksi antara kapasitor seri C_m dengan induktor L_m menghasilkan rangkaian resonansi seri yang dapat mengurangi impedansi kristal hingga minimum (Chagnard dkk, 1996).

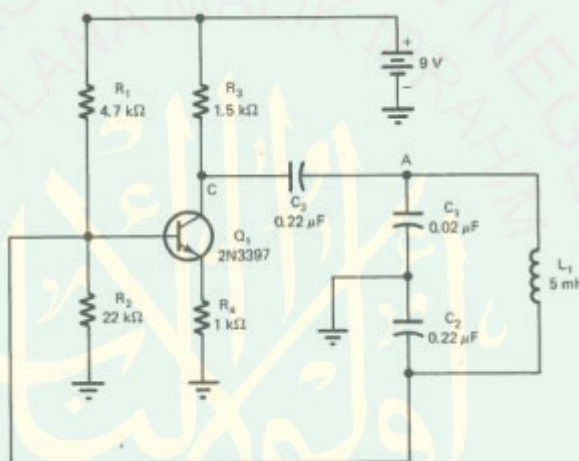
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_m C_m}} \quad (2.3)$$

Secara seri resonansi reaktansi C_m dan L_m membatalkan, sehingga hanya menyisakan R_m . Dalam hal ini, sebuah amplifier gain dari $A_v = \frac{(R_m + R_L)}{R_L}$ akan memberikan gain loop 1 untuk mempertahankan osilasi. Adapun untuk frekuensi resonansi paralel (f_p) terjadi ketika reaktansi dari seri LC sama dengan reaktansi kapasitor paralel (C_0) (Chagnard dkk, 1996):

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{L_m} \left(\frac{1}{C_m} + \frac{1}{C_0} \right) \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

Jenis osilator lainnya antara lain ada osilator kristal kuarsa *Colpitts*, osilator *Pierce*, osilator RC, osilator RC dan lain-lain. Adapun untuk osilator kristal kuarsa

Colpitts menggunakan dua kapasitor sebagai pengganti dari induktor yang terbagi. Frekuensi resonansinya ditentukan oleh dua kapasitor yang terhubung secara seri dan induktor. Rangkaian osilator kristal kuarsa *Colpitts* ini menunjukkan bahwa kapasitor C_1 dan C_2 melepaskan output dari transistor untuk menghasilkan tegangan umpan balik yang diperlukan untuk osilasi. Amplitudo output harus dijaga tetap rendah agar tidak terjadi disipasi daya yang berlebihan pada kristal (Malvino, 1984).



Gambar 2.12 Rangkaian Dasar Osilator *Colpitts* (Malvino, 1984).

2.2.9 Frequency Counter

Frequency counter pada sebuah mikrokontroler merupakan instrumen elektronik ataupun komponen yang digunakan untuk mengukur besarnya frekuensi (Afniza, 2008). Frekuensi sendiri didefinisikan sebagai banyaknya jumlah gelombang pada tiap satu periode waktu. *Timer* dan *counter* merupakan sarana inputan dalam mengukur lebar suatu pulsa, membangkitkan pulsa dengan lebar yang pasti dan dipakai dalam pengendalian tegangan secara PWM (*Pulse-Width*

Modulation), serta dapat digunakan pada pengaplikasian *remote control* yang menggunakan infra merah (Wicaksono, 2015).

Frekuensi *counter* ini memiliki kemampuan *three-decade auto-ranging* pada akhir tiap periode *half-second* nya, kemudian mampu menghitung nilai yang diperiksa dan menentukan jika hal ini berada dalam jangkauan. Jika berada diluar jangkauan, maka jumlah *pre-scaling* akan disesuaikan untuk selanjutnya mengalami *half-second period*. Setiap kali ingin menghentikan penampilan *input* frekuensi di berbagai batas, perlu adanya *hysteresis* yang dibangun ke dalam sirkuit *auto-ranging*. Saat *input* frekuensi berada dibawah kapasitas *auto-range*, maka tampilan dari angka nol akan muncul. Sehingga hasilnya di *liquid-crystal* akan menampilkan frekuensi untuk menyediakan *ac drive* langsung ke dalam LCD (Bernie dkk, 2008).

Dasar tujuan dari teknik PWM (*Pulse-Width Modulation*) adalah mengendalikan output tegangan dan harmonik penanggulangan. PWM (*Pulse-Width Modulation*) ataupun PDM (*Pulse-Duration Modulation*) umumnya menggunakan teknik untuk mengendalikan kekuatan inersia *electrical* perangkat yang dibuat praktis oleh modern elektronik *switch*. Sehingga penerapan teknik PWM dapat diterapkan seperti misalnya, gelombang sinusoidal pulsa lebar modulasi pada (SPWM) dan ruang vektor pulsa lebar modulasi (SVPM) untuk inverter dan kinerjanya (K. Mounika, 2013).

Pembuatan frekuensi *counter* sederhana berbasis mikrokontroler AT89S52 memanfaatkan *interrupt timer/counter* yang sudah pernah diteliti. Frekuensi jenis ini hanya dapat mengukur masukan pulsa berupa sinyal kotak yang amplitudo

maksimumnya sebesar 4,5-5 V. Prinsip kerja dari frekuensi *counter* berbasis mikrokontroler AT89S52 ini adalah mencuplik frekuensi dari sinyal yang masuk ke register selama 1 detik. Cuplikan tersebut kemudian akan dihitung pulsa yang terjadi dengan menggunakan mikrokontroler yang memanfaatkan fungsi *counter*, sehingga proses penampilan secara visual dapat terlihat melalui LCD (Afniza, 2008).

Cara kerja frekuensi *counter* yaitu menggunakan sebuah pencacah yang akan diakumulasi dengan kejadian yang terjadi tiap satu periode waktu. Setelah periode 1 detik, nilai pada *counter* akan dikirim ke *display* sehingga pada tampilan layar LCD akan muncul angka. Frekuensi pulsa dalam 1 detik akan dihitung dengan menggunakan rumus berikut yaitu (Wicaksono, 2015):

$$Frekuensi = i * 2^{16} + TCNT \quad (2.5)$$

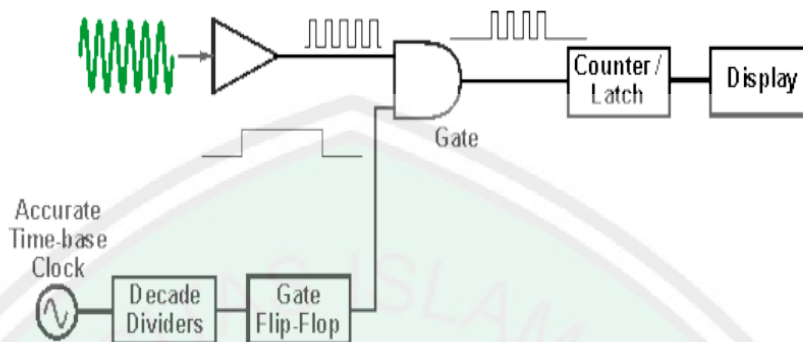
Dimana: i = Jumlah overflow dalam satu detik

$TCNT$ = Jumlah perhitungan *timer/counter*

2^{16} = Jumlah operasi mikrokontroler 16 bit

Ketelitian dari pengukuran dapat ditingkatkan lebih baik lagi dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk seluruh jumlah siklus. Ketelitian dari frekuensi *counter* tergantung pada stabilitas *timebase* nya. Sinyal denyut yang diumpankan ke pencacah bias akan dibedakan menjadi 2 macam yaitu sinyal denyut dengan frekuensi tetap yang sudah diketahui besarnya, sedangkan sinyal denyut yang kedua yaitu sinyal denyut dengan 28 frekuensi tidak tetap. Sebuah pencacah yang bekerja dengan frekuensi tetap yang sudah diketahui besarnya, maka

pencacah tersebut dikatakan sebagai *timer 1* karena kedudukannya yang setara dengan waktu yang biasa ditentukan dengan pasti (Wicaksono, 2015).



Gambar 2.13 Blok *Diagram Counter* (Wicaksono, 2015).

Blok *diagram counter* di atas merupakan ilustrasi dari setiap proses pencacah frekuensi yang nantinya akan ditampilkan melalui LCD. Sinyal inputannya berupa gelombang sinusoidal yang melalui penguatan. Ketelitian dari setiap proses pencacah ini yang bertanggung jawab adalah *time-base clock*. Melalui *decade dividers* yang dalam pelaksanaannya adalah berupa rangkaian data yang dibatasi maksimal hanya 10 kali perhitungan. Selanjutnya masuk dalam gerbang flip flop, dimana fungsinya yaitu sebagai rangkaian digital yang dapat menyimpan data satu bit semi permanen sampai ada suatu perintah. Setelah itu, melalui gerbang dengan fungsi AND yang mana kedua inputannya harus berlogika 1 sehingga fungsi ini akan aktif dan dapat terbaca secara logika *high* (Wicaksono, 2015).

2.2.10 Pelarutan

Larutan diartikan sebagai campuran homogen antara dua atau lebih zat yang terdispersi baik sebagai molekul, atom atau ion yang komposisinya dapat bervariasi. Larutan dapat berupa gas, cairan, maupun padatan. Larutan ada 2

macam, larutan encer dan larutan pekat. Larutan encer merupakan larutan yang mengandung sebagian kecil *solute*. Sedangkan larutan pekat adalah larutan yang mengandung sebagian besar *solute*. *Solute* adalah zat terlarut, sedangkan *solvent* adalah pelarut (Baroroh, 2004).

Zat terlarut dan pelarut adalah istilah yang sering dipakai dalam hal pelarutan. Zat yang bagiannya lebih besar di dalam larutan disebut dengan pelarut, sedangkan zat yang bagiannya lebih sedikit disebut zat terlarut. Air selalu dinyatakan sebagai pelarut dan sangat baik digunakan sebagai pelarut dari senyawa-senyawa yang terbentuk dari ion (ion positif dan ion negatif). Misalnya kristal NaCl yang dilarutkan dalam air, ion-ion akan dipisahkan (terdisosiasi) menjadi ion-ion yang lebih bebas dikarenakan ion-ion itu dalam larutan dikelilingi oleh molekul-molekul air (Sukarna, 2003).

Menurut Gunadarma (2011), konsentrasi larutan dalam kimia dinyatakan sebagai berikut:

1. Molaritas (M) : jumlah mol zat terlarut dalam setiap liter larutan.

$$\text{Molaritas Zat} = \frac{gr}{Mr} \times \frac{1000}{V} \quad (2.6)$$

2. Normalitas (N) : jumlah ekuivalen zat terlarut dalam setiap liter larutan.
3. Molalitas (m) : jumlah mol zat terlarut dalam setiap kilogram larutan.

$$m = \frac{gr}{mr} \quad (2.7)$$

4. Persen massa % (b/b) : berat bahan yang terkandung dalam 100 gram larutan.
5. Persen Volume % (v/v) : volume bahan yang terkandung di dalam 100 ml larutan.

6. Persen berat per volume % (b/v) : berat bahan yang terkandung di dalam 100 ml larutan.

2.2.11 Pengenceran

Proses pengenceran merupakan proses mencampur larutan pekat atau larutan yang memiliki konsentrasi tinggi dengan cara menambahkan pelarut agar diperoleh volume akhir yang lebih besar. Suatu larutan senyawa kimia pekat yang diencerkan, akan mengalami pelepasan panas. Salah satu contohnya adalah pada proses pengenceran asam sulfat. Cara agar panas pada proses pengenceran asam sulfat hilang dengan aman, maka asam sulfat pekat yang harus ditambahkan ke dalam air (Brady, 2000).

Menurut Lansida (2010), rumus sederhana untuk proses pengenceran adalah sebagai berikut:

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (2.8)$$

Dimana: M_1 = Molaritas larutan sebelum pelarutan

V_1 = Volume larutan sebelum pelarutan

M_2 = Molaritas larutan sesudah pelarutan

V_2 = Volume molaritas larutan sesudah pelarutan

2.2.12 Kaitan Penelitian dengan Al-Qur'an

Allah SWT menghalalkan bagi manusia yang baik-baik dan bermanfaat dan mengharamkan kepada manusia yang buruk-buruk dan berbahaya. Dengan demikian, syariat islam selaras dengan kesehatan dan keseimbangan tanpa berbuat sewenang-wenang tidak pula memberatkan dan menyulitkan. Allah SWT tidak

mengharamkan sesuatu kepada umat-Nya melainkan karena mengandung zat yang berbahaya bagi kesehatan tubuh. Manusia juga tidak boleh menghalalkan atau mengharamkan sesuatu berdasarkan pendapatnya sendiri (Az-Zuhaili, 2013).

Al-Qur'an surah an-Nahl ayat 116 dibawah ini menjelaskan kegunaan lidah agar digunakan sebaik-baiknya. Maksudnya tidak menggunakan lidah untuk menghalalkan apa yang diharamkan oleh Allah SWT atau sebaliknya seperti perbuatan orang-orang musyrik. Karena orang-orang yang seperti itulah yang akan merasakan nikmat di dunia, akan tetapi mendapatkan adzab ketika di akhirat nanti (Abdullah, 2007).

وَلَا تَقُولُوا لِمَا تَصِفُ أَلْسِنَتُكُمُ الْكَذِبَ هَذَا حَلَالٌ وَهَذَا حَرَامٌ لِّتَفْتَرُوا عَلَى اللَّهِ الْكَذِبَ ۗ إِنَّ الَّذِينَ يَفْتَرُونَ عَلَى اللَّهِ الْكَذِبَ لَا يُفْلِحُونَ ﴿١١٦﴾

“Dan janganlah kamu mengatakan terhadap apa yang disebut-sebut oleh lidahmu secara dusta "ini halal dan ini haram", untuk mengada-adakan kebohongan terhadap Allah. Sesungguhnya orang-orang yang mengada-adakan kebohongan terhadap Allah tiadalah beruntung” (Q.S an-Nahl : 116).

Tafsir kalimat *ولا تقولوا لما تصفون السنتكم الكذب* janganlah lisanmu menghalalkan dan mengharamkan sesuatu sebagai bentuk kedustaan atas nama Allah lalu kamu mengatakan ini halal dan ini haram tanpa berdasarkan hukum Allah (Al-Jazairi, 2007). Lafadz *لما تصفون* “apa yang disebut-sebut” merupakan mashdariyyah, dengan pengertian janganlah kalian mengatakan kebohongan karena apa yang dikatakan oleh lidah kalian. Menurut tafsir an-Nuur jilid 3 bahwa kalimat *هذا حلال وهذا حرام* lebih menjelaskan kepada larangan menghalalkan bangkai, darah dan daging babi (Ash-Shiddieqy, 2000).

Surah an-Nahl ayat 116 di atas menganjurkan agar sebagai umat manusia tidak mengatakan ini halal dan haram kepada sesuatu tanpa ada sumber dalilnya, sebab pokok pegangan dalam masalah halal haram adalah hukum Allah itu sendiri. Membahas mengenai halal haram erat kaitannya dengan makanan dan minuman yang dikonsumsi oleh seseorang. Salah satu cara untuk mengetahui ini halal dan ini haram pada makanan dan minuman yaitu dengan cara mengetahui kandungan yang ada di dalamnya. Sensor QCM ini merupakan jenis sensor untuk mengidentifikasi rasa dasar (asam dan asin) dimana untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk mengetahui halal haram pada makanan atau minuman.

Salah satu indera manusia yang berfungsi sebagai indera pengecap adalah lidah. Dimana dalam proses makan lidah berfungsi sebagai pengecap yang membantu mengunyah makanan, merasakan makanan dan membedakan rasa makanan. Berikut adalah ayat 141 Surah al-An'am yang menjelaskan bahwa makanan yang dimakan manusia memiliki rasa yang berbeda-beda:

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرِ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أُكْلُهُ
 وَالزَّيْتُونَ وَالزُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا
 حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴾

“Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon kurma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila Dia berbuah dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan” (Q.S al-An'am: 141).

Firman Allah SWT مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ (berbeda-beda rasanya) maksudnya adalah rasa makanan ada yang enak dan ada pula yang tidak enak. Kata rasa dalam bahasa arab diungkapkan dengan lafadz الأكل, karena hanya dengan cara dimakan rasa makanan dapat diketahui. Kedudukan lafadz أكله pada ayat ini adalah sebagai *mubtada'* yang dibaca *rofa'* dan lafadz مُخْتَلِفًا berkedudukan sebagai *na'at* (Qurthubi, 2008).

Penjelasan al-Qur'an Surah al-An'am ayat 141 di atas menunjukkan bahwa lidah memiliki peran penting dalam proses makan sehingga suatu rasa makanan dapat diketahui. Lidah memiliki permukaan kasar yang disebut papila. Papila pada lidah berfungsi sebagai reseptor rasa yang akan menghantarkan ke saraf pengecap yang terdapat pada otak, sehingga otak dapat menentukan rasa yang dikirim oleh saraf pengecap. Papila lidah pada penelitian sensor QCM ini adalah membran lipid *Octadecylamine*. Dimana, membran lipid adalah bagian yang berinteraksi dengan larutan sampel yang kemudian akan dikirim menuju *processing* data untuk diproses dan selanjutnya akan dikirim menuju *software* Open QCM 1.2 untuk menghasilkan nilai outputan.

Output yang dianalisis dari penelitian ini diantaranya adalah *respond time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor. *Respond time* merupakan tanggapan waktu sensor atau seberapa cepat sensor dapat menanggapi sampel. Sedangkan kemampuan sensor dalam menanggapi perubahan konsentrasi dinamakan dengan deteksi limit.

Adapun sensitivitas sensor merupakan kepekaan sensor dalam menanggapi inputan. Berbicara mengenai *respond time*, berikut adalah ayat yang menjelaskan mengenai batas waktu:

وَلِكُلِّ أُمَّةٍ أَجَلٌ فَإِذَا جَاءَ أَجْلُهُمْ لَا يَسْتَأْخِرُونَ سَاعَةً وَلَا يَسْتَقْدِمُونَ ﴿٣٤﴾

“Tiap-tiap umat mempunyai batas waktu, maka apabila telah datang waktunya mereka tidak dapat mengundurkannya barang sesaatpun dan tidak dapat (pula) memajukannya” (Q.S al-A’raf: 34).

Firman Allah SWT وَلِكُلِّ أُمَّةٍ أَجَلٌ “Tiap-tiap umat mempunyai batas waktu”, maksud waktu disini adalah waktu yang telah diketahui disisi Allah. Penggunaan istilah سَاعَةً (sesaat) karena istilah tersebut adalah tingkatan masa waktu yang paling sedikit (paling singkat). Selain itu, lafadz tersebut merupakan *zharaf zaman* (kata keterangan waktu) (Qurthubi, 2008).

Istilah batas waktu yang ada pada Surah al-A’raf ayat 34 dapat dikatakan sebagai *respond time* dalam penelitian sensor QCM ini. *Respond time* dari masing-masing sampel hasilnya berbeda-beda. Hal ini tergantung dengan tingkat kesensitivitasan sensor dalam mendeteksi suatu rasa.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-Alat Penelitian

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian

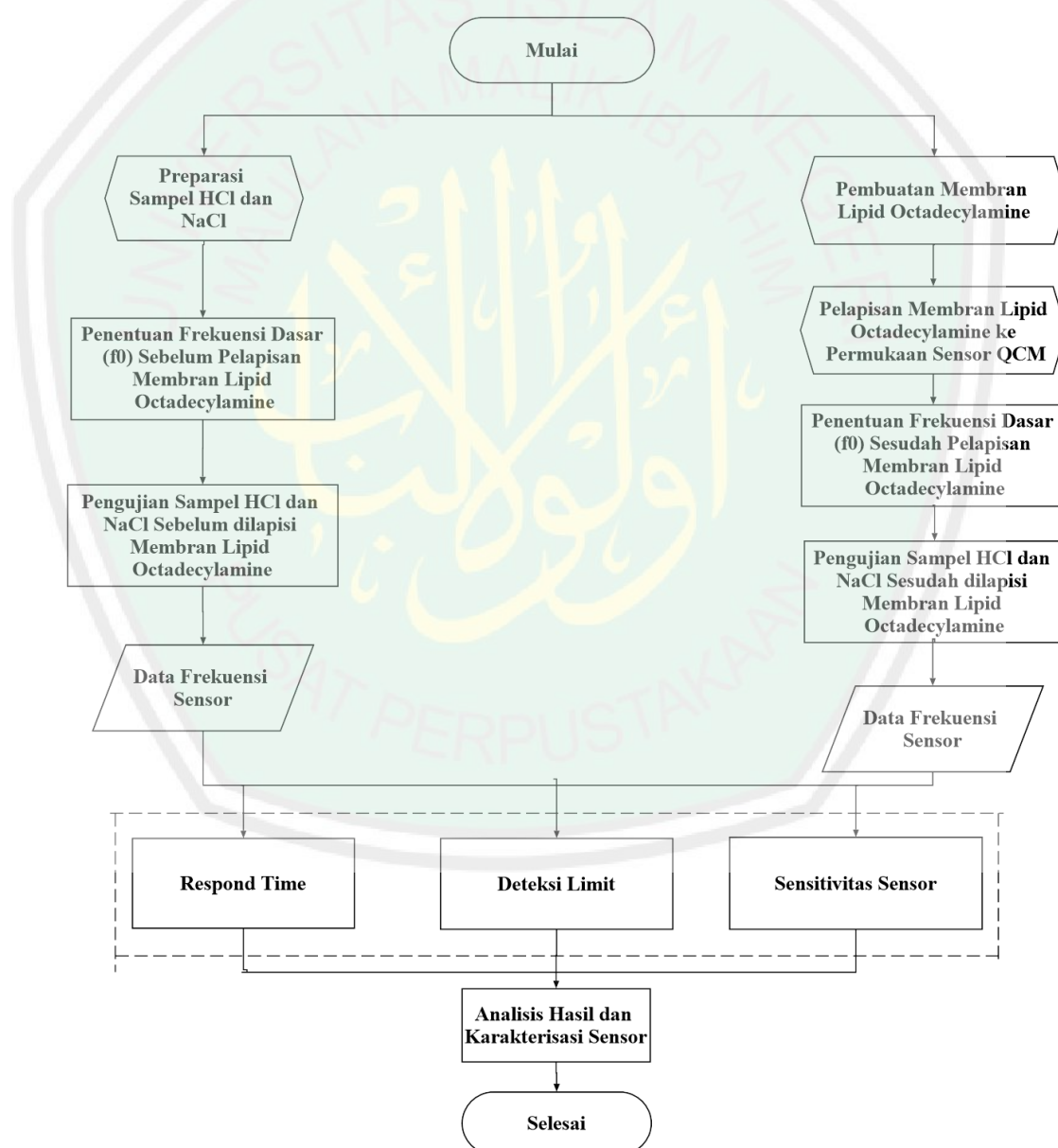
No	Nama Alat	No	Nama Alat
1.	Holder QCM	11.	Batang Pengaduk
2.	Gelas Beaker 50 ml	12.	Neraca Digital
3.	Spatula	13.	Pot Sputum Plastik 100ml
4.	Pipet Tetes	14.	Pot Sampel Plastik 20 ml
5.	Botol Semprot	15.	Botol Vial Kaca 20 ml
6.	Gelas Ukur 5ml dan 100 ml	16.	Mikropipet 100 μ l - 1000 μ l
7.	Kristal Kuarsa	17.	Blue Tip
8.	Kabel Jumper	18.	Personal Computer (PC)
9.	Kabel USB	19.	OpenQCM
10.	<i>Spin Coater</i> VTC-100	20.	<i>Software:</i> Microsoft Excel 2013; <i>Software</i> OpenQCM 1.2; OriginPro 2017

3.2.2 Bahan Penelitian

Tabel 3.2 Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	No	Nama Bahan
1.	Aquades	5.	<i>Polyvinyl Clorida</i> (PVC)
2.	Lipid <i>Octadecylamine</i>	6.	HCl Cair 32%
3.	Tetrahydrofuran (THF)	7.	NaCl (Natrium Klorida)
4.	<i>Plasticizer: 2-NPOE</i>		

3.3 Diagram Alir Penelitian

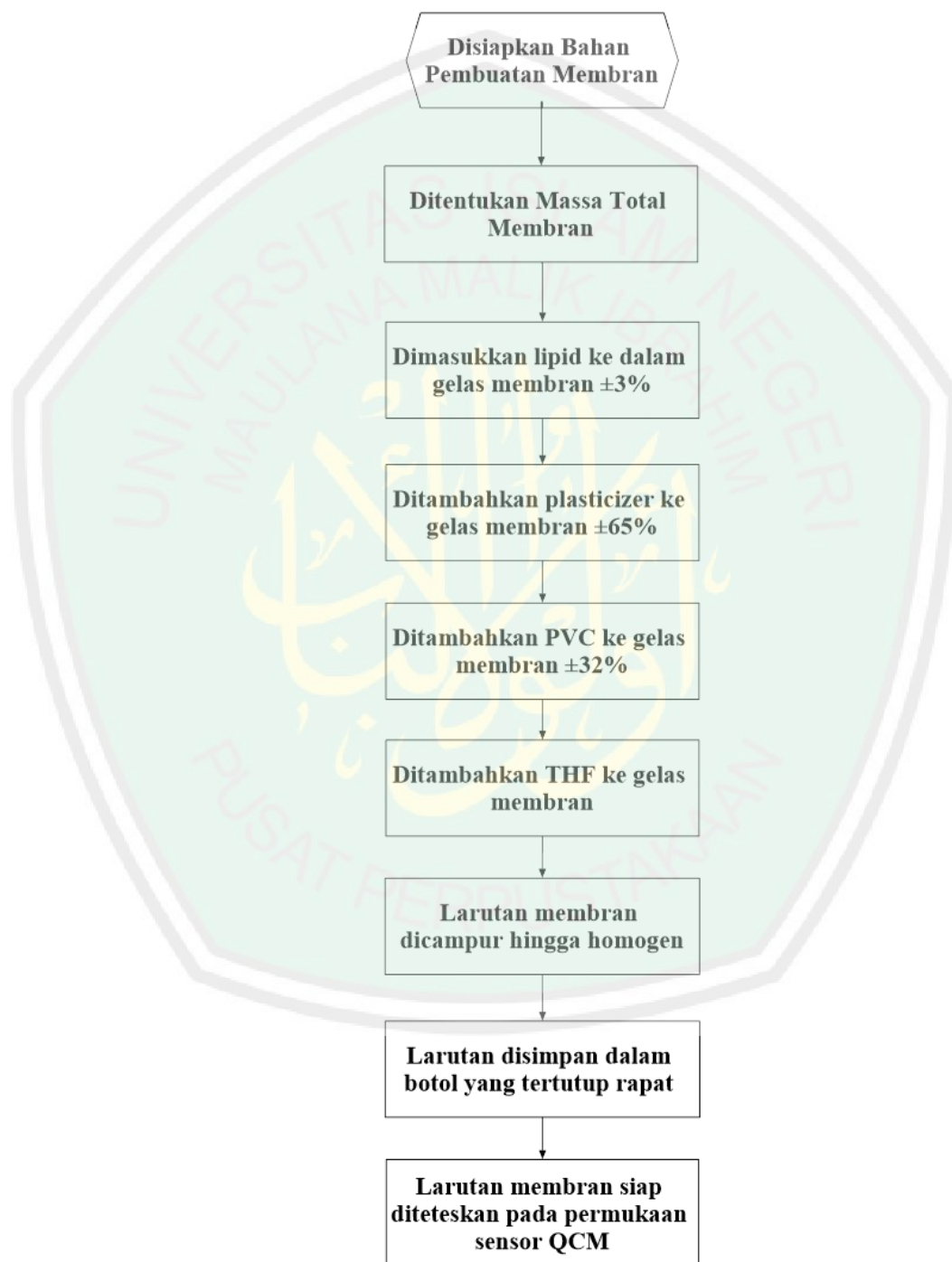


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Tahap Persiapan

a). Pembuatan Membran



Gambar 3.2 Diagram Pembuatan Membran

Adapun penjelasan selengkapnya tentang diagram pembuatan membran pada gambar 3.2 di atas adalah sebagai berikut (Tazi dkk, 2017):

1. Dipersiapkan bahan-bahan untuk pembuatan membran diantaranya yaitu: lipid *Octadecylamine*, *Plasticizer 2-NPOE*, *Polyvinyl Clorida* (PVC) dan *Tetrahydrofuran* (THF).
2. Ditentukan massa total membran yang akan dibuat.
3. Dilakukan pengukuran terhadap komponen-komponen pembuatan membran sesuai dengan massa total membran, dengan presentase bahan lipid *Octadecylamine* $\pm 3\%$, *Plasticizer 2-NPOE* $\pm 65\%$, *Polyvinyl Clorida* (PVC) $\pm 32\%$, *Tetrahydrofuran* (THF) secukupnya.
4. Dimasukkan lipid *Octadecylamine* ke dalam sebuah gelas membran sebanyak $\pm 3\%$ yang fungsinya sebagai material aktif membran yang berinteraksi dengan larutan sampel.
5. Ditambahkan $\pm 65\%$ *Plasticizer 2-NPOE* ke dalam gelas membran yang fungsinya sebagai pemlastis.
6. Ditambahkan $\pm 32\%$ *Polyvinyl Clorida* (PVC) ke dalam gelas membran yang fungsinya untuk mengerasakan ataupun menguatkan larutan membran.
7. Ditambahkan *Tetrahydrofuran* (THF) secukupnya ke dalam gelas membran yang berfungsi sebagai pelarut untuk membantu proses penguapan membran.
8. Dicampurkan larutan membran (lipid *Octadecylamine*, *Plasticizer 2-NPOE*, PVC dan THF hingga homogen.

9. Disimpan larutan ke dalam sebuah botol yang tertutup rapat dengan suhu ruangan.
10. Larutan membran lipid *Octadecylamine* siap untuk digunakan sebagai bahan pelapis sensor.

b). Pelapisan Sensor QCM

1. Dilakukan pelapisan membran lipid *Octadecylamine* dengan menggunakan teknik *spin coating*.
2. Dipasang *vacuum chuck* atau tempat untuk sensor QCM pada rotor.
3. Ditempatkan sensor QCM di atas *vacuum chuck* kemudian ditutup dengan penutup *spin coater*.
4. Dinyalakan alat *vacuum spin coater* tipe VTC-100.
5. Diatur kecepatan putar dan waktu putarnya, kecepatan putar pertama sebesar 500 rpm dengan T1 selama 10 s dan kecepatan putar kedua sebesar 3000 rpm dengan T2 = 60 s, kemudian tekan tombol “run”.
6. Diambil larutan membran 50 μ l ketika mesin berputar pada T1 dan ditempatkan di atas sensor.
7. Ditetaskan 50 μ l larutan membran lipid *Octadecylamine* pada saat mesin mengalami peningkatan kecepatan putar atau pada T2 menggunakan mikropipet dengan sekali tetes.
8. Ditunggu sampai mesin *spin coater* berhenti berputar.
9. Diambil sensor QCM secara perlahan menggunakan pinset.

10. Setelah selesai melapisi, dibiarkan elektroda QCM selama 1 hari hingga pelapis pada membran menjadi kering sempurna dan siap untuk digunakan.

c). Persiapan Pengambilan Data

1. Diukur volume sampel HCl dengan menggunakan mikropipet sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
2. Diukur massa sampel NaCl dengan menggunakan neraca digital sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
3. Dilakukan pengenceran pada sampel HCl sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
4. Dilakukan pelarutan pada sampel NaCl sesuai dengan variasi konsentrasi yang akan digunakan.
5. Dilakukan pemasangan sensor QCM pada holder QCM.

3.4.2 Tahap Pengambilan Data

a). Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

1. Ditempatkan sensor QCM tanpa pelapis membran (elektroda perak) yang sudah terpasang dengan holder pada botol sensor (pot sampel plastik 20 ml).
2. Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
3. Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
4. Dijalankan *software* OpenQCM 1.2 dan diberi tegangan listrik pada rangkaian sensor agar beresilasi.

5. Ditunggu beberapa menit sampai frekuensi osilasi sensor QCM dalam keadaan *steady state*.
6. Dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali percobaan.
7. Diulangi tahap pengambilan data dari poin 1-6 dengan menggunakan sensor QCM yang sudah dilapisi membran lipid *Octadecylamine*.
8. Disimpan data frekuensi yang diperoleh dari *software* data logger QCM ke dalam Microsoft Excel 2013.
9. Dilakukan rata-rata dan analisis data sehingga diperoleh frekuensi dasar (f_0) yang nantinya akan dicantumkan pada tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

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

b). Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran

1. Sensor QCM dengan elektroda perak murni yang sudah terpasang pada holder QCM ditempatkan pada botol sensor.
2. Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
3. Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
4. Diujikan sampel HCl ke dalam sensor QCM sesuai dengan variasi konsentrasi pada tabel 3.4.

5. Dijalankan dan ditunggu selama 5 menit *software* OpenQCM 1.2.
6. Setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl yang akan diuji, sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan aquades.
7. Dimatikan *software* OpenQCM 1.2, setelah melakukan semua pengujian variasi sampel HCl.
8. Data yang telah diperoleh dari *software* OpenQCM 1.2 kemudian disimpan dalam Microsoft Excel 2013, seperti tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Rencana Pengambilan Data HCl Sebelum Pelapisan Membran

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

c). Pengambilan Data NaCl Sebelum Pelapisan Membran

1. Sensor QCM dengan elektroda perak murni yang sudah terpasang pada holder QCM ditempatkan pada botol sensor.
2. Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
3. Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
4. Diujikan sampel NaCl ke dalam sensor QCM sesuai dengan variasi konsentrasi pada tabel 3.5.

5. Dijalankan dan ditunggu selama 5 menit *software* OpenQCM 1.2.
6. Setiap pergantian variasi konsentrasi sampel NaCl yang akan diuji, sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan aquades.
7. Dimatikan *software* OpenQCM 1.2, setelah melakukan semua pengujian variasi sampel NaCl.
8. Data yang telah diperoleh dari *software* OpenQCM 1.2 kemudian disimpan dalam Microsoft Excel 2013, seperti tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Rencana Pengambilan Data NaCl Sebelum Pelapisan Membran

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		

d). Pengambilan Data HCl Sesudah Pelapisan Membran

1. Sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* yang sudah terpasang pada holder QCM ditempatkan pada botol sensor.
2. Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
3. Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
4. Diujikan sampel HCl ke dalam sensor QCM sesuai dengan variasi konsentrasi pada tabel 3.6.
5. Dijalankan dan ditunggu selama 5 menit *software* OpenQCM 1.2.
6. Setiap pergantian variasi konsentrasi sampel HCl yang akan diuji, sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan aquades.
7. Dimatikan *software* OpenQCM 1.2, setelah melakukan semua pengujian variasi sampel HCl.
8. Data yang telah diperoleh dari *software* OpenQCM 1.2 kemudian disimpan dalam Microsoft Excel 2013, seperti tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.6 Rencana Pengambilan Data HCl Sesudah Pelapisan Membran

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

e). Pengambilan Data NaCl Sesudah Pelapisan Membran

1. Sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* yang sudah terpasang pada holder QCM ditempatkan pada botol sensor.
2. Dihubungkan kabel jumper dari alat OpenQCM dengan kaki holder sensor QCM.
3. Dihubungkan kabel USB dari alat OpenQCM dengan PC.
4. Diujikan sampel NaCl ke dalam sensor QCM sesuai dengan variasi konsentrasi pada tabel 3.7.
5. Dijalankan dan ditunggu selama 5 menit *software* OpenQCM 1.2.
6. Setiap pergantian variasi konsentrasi sampel NaCl yang akan diuji, sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan aquades.
7. Dimatikan *software* OpenQCM 1.2, setelah melakukan semua pengujian variasi sampel HCl.
8. Data yang telah diperoleh dari *software* OpenQCM 1.2 kemudian disimpan dalam Microsoft Excel 2013, seperti tabel 3.7 dibawah ini.

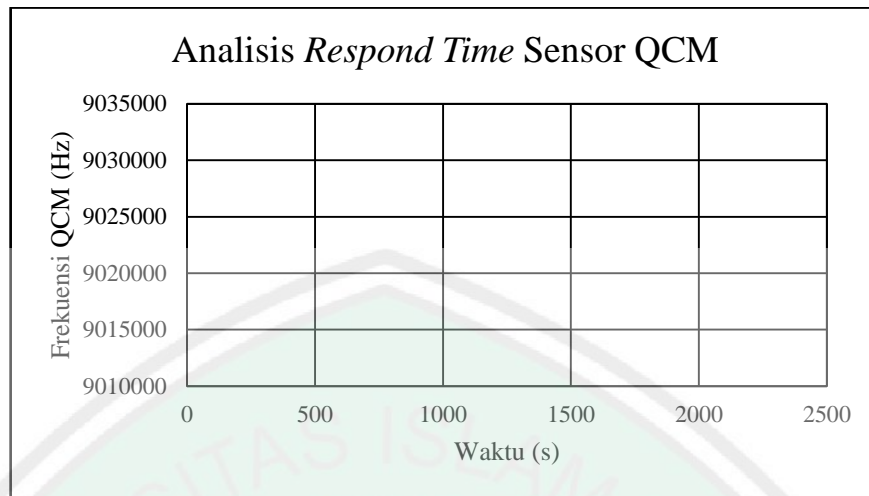
Tabel 3.7 Rencana Pengambilan Data NaCl Sesudah Pelapisan Membran

Konsentrasi (mM)	NaCl	
	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
200		
300		
400		
500		
600		
700		
800		
900		
1000		
1100		

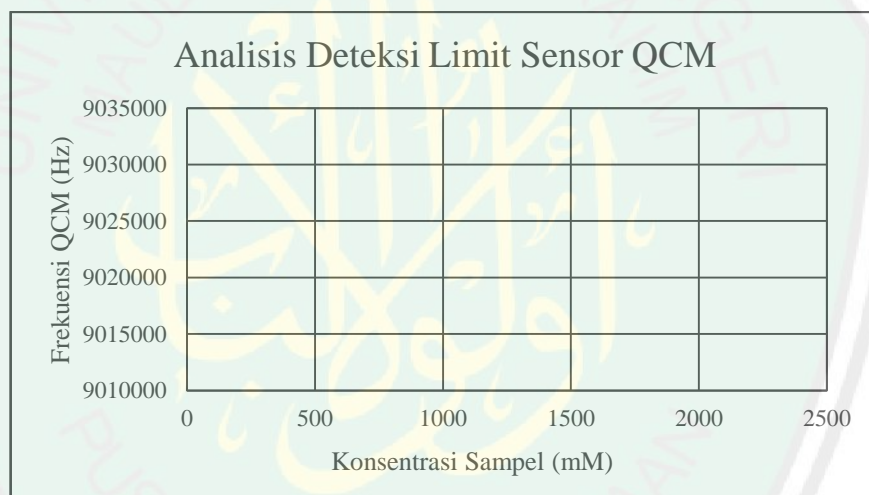
1200		
1300		
1400		
1500		
1600		
1700		
1800		
1900		
2000		

3.4.3 Tahap Pengolahan Data

1. Data yang disimpan di Microsoft Excel 2013 kemudian diambil rata-rata dari 200 data terakhir untuk diolah menggunakan OriginPro2017.
2. Dibuka aplikasi *software* pengolah data OriginPro 2017.
3. Pada *workbook*, masukkan data yang akan diolah.
4. Kemudian klik *button* “*line+symbol*”, agar grafik yang dihasilkan berupa garis dan simbol.
5. Untuk melakukan regresi linear, klik menu “*Analysis*” kemudian pilih *Fitting-Linear fit* maka akan keluar hasil analisis dari regresi linear tersebut.
6. Disimpan hasil *plotting data* dengan cara klik menu “*File*” kemudian pilih *Export* dan simpan file sesuai format yang diinginkan.
7. Gambar grafik dapat disimpan dengan menggunakan format *.jpg atau *.jpeg.



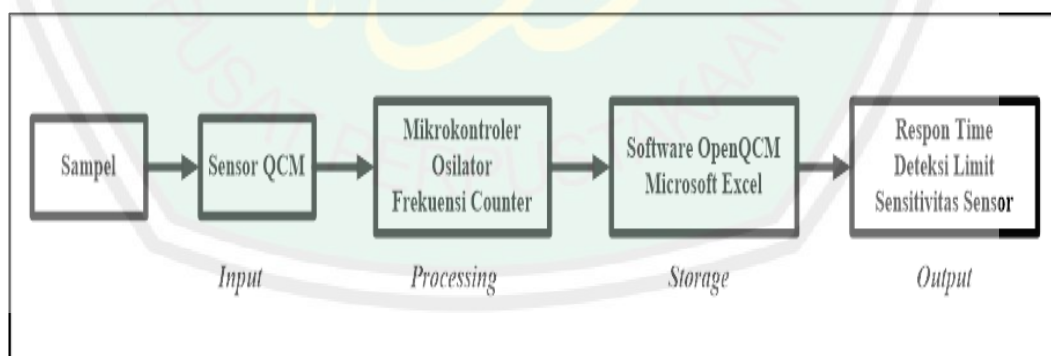
Gambar 3.3 Rencana Analisis Grafik *Respond time*



Gambar 3.4 Rencana Analisis Grafik Deteksi Limit

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor rasa dalam penelitian ini secara garis besar terdiri atas sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM), alat OpenQCM dan *software* OpenQCM versi 1.2. Sensor rasa berbasis sensor QCM ini dilapisi dengan membran lipid *Octadecylamine* yang fungsinya sebagai bahan aktif sensor dalam berinteraksi dengan larutan sampel (HCl dan NaCl) dengan menggunakan konsep selektivitas global. Alat OpenQCM merupakan serangkaian alat yang di dalamnya terdiri dari tiga komponen penyusun yaitu *Arduino micro board*, *QCM Arduino shield* dan sensor suhu. Alat OpenQCM memiliki panjang 56 mm, lebar 48 mm dan tinggi 34 mm. Alat inilah yang bertugas sebagai *processing* (pemrosesan data) untuk kemudian diteruskan pada *software* OpenQCM 1.2 sebagai *storage* nya. Sedangkan *software* OpenQCM 1.2 sendiri dibangun menggunakan bahasa pemrograman Java yang dapat dijalankan di Windows, Mac OS X dan Linux.



Gambar 4.1 Sistem Sensor QCM

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa secara garis besar sistem akuisisi data sensor QCM terdiri dari bagian masukan (*input*), bagian pemrosesan data (*processing*), bagian penyimpanan (*storage*) dan bagian keluaran (*output*). Bagian *input* merupakan bagian yang terdiri dari sensor QCM, dimana sensor QCM ini mendapat sinyal masukan dari sampel yaitu HCl (rasa asam) dan NaCl (rasa asin). Sensor QCM yang digunakan pada penelitian ini diuji dengan menggunakan dua perlakuan. Perlakuan pertama yaitu pada saat sensor belum dilapisi membran lipid (elektroda perak murni), kedua pada saat sensor dilapisi membran lipid *Octadecylamine*. Dua perlakuan ini bertujuan untuk membandingkan tingkat sensitivitas dan selektivitas dari sensor QCM.

Bagian *processing* merupakan bagian penghubung antara bagian *input* data dengan *software* pada PC. Bagian *processing* terdiri dari mikrokontroler, osilator dan *frequency counter*. Ketiga bagian ini menjadi satu bersamaan dengan komponen penyusun OpenQCM lainnya (*Arduino micro*, *QCM Arduino Shield* dan sensor suhu) yang dapat langsung digunakan secara praktis.

Bagian *storage* (penyimpanan) terdiri dari *software* OpenQCM 1.2 dan Microsoft Excel. Dimana *software* OpenQCM versi 1.2 ini menampilkan grafik data frekuensi dan suhu pada sumbu Y dan grafik waktu secara *real time* pada sumbu X selama pengujian berlangsung. Sedangkan untuk Microsoft Excel pada bagian *processing* ini berfungsi untuk menampilkan dan menyimpan data frekuensi dan suhu yang sudah didapatkan dari *software* OpenQCM 1.2.

Bagian *output* atau bagian keluaran sensor merupakan hasil dari uji sampel yang telah diolah menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017 (*respond*

time, deteksi limit dan sensitivitas sensor). *Respond time* didapatkan dengan melakukan plot grafik antara waktu dengan frekuensi. Deteksi limit didapatkan dengan cara melakukan plot grafik antara konsentrasi dengan frekuensi. Sedangkan sensitivitas sensor didapatkan dengan melakukan regresi linear pada daerah kerja sensor. *Software* pengolah data OriginPro 2017 ini merupakan *software* yang sering digunakan dalam melakukan analisis grafik dan data ilmiah di dunia industri.

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Preparasi Sampel dan Proses Pengujian Sampel

Sampel yang diuji pada penelitian ini adalah rasa dasar asam dan asin. Dimana rasa asam diwakili oleh salah satu senyawa kimia yaitu HCl (Asam Klorida) dan rasa asin diwakili oleh salah satu senyawa kimia yaitu NaCl (Natrium Klorida). Senyawa HCl yang digunakan adalah HCl cair dengan presentase kepekatan sebesar 32% atau 10,53 M. Sedangkan untuk sampel NaCl yang digunakan adalah NaCl padatan (kristal). Sehingga, proses preparasi sampel yang dilakukan berbeda yaitu pengenceran HCl dan pelarutan NaCl.

Preparasi sampel untuk HCl cair dilakukan dengan cara mengencerkan cairan HCl pekat 32% atau 10.53 M. Konsentrasi yang digunakan sebanyak 10 konsentrasi dengan interval 50 mM yaitu 100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM, 300 mM, 350 mM, 400 mM, 450 mM, 500 mM dan 550 mM. Konsentrasi yang digunakan sangat rendah agar dapat mengetahui sekecil mungkin sensor tersebut dapat merespon perubahan konsentrasi. Nilai molaritas HCl sebesar 10,53 M sehingga perlu dilakukan perhitungan volume sampel HCl yang harus diencerkan

dalam tiap 100 ml aquades. Perhitungan pengenceran HCl tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

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

Dimana M_1 adalah nilai molaritas dari HCl pekat sebesar 10,53 M dan V_1 adalah volume HCl pekat, sedangkan M_2 adalah nilai molaritas dari konsentrasi yang diinginkan dan V_2 adalah volume dari aquades. Berikut adalah jumlah volume HCl pada masing-masing konsentrasi sampel sesuai dengan hasil perhitungan.

Tabel 4.1 Daftar Volume HCl Pekat pada Sampel

No.	Konsentrasi M_2 (mM)	Volume V_1 (ml)
1	100	0.949668
2	150	1.424501
3	200	1.899335
4	250	2.374169
5	300	2.849003
6	350	3.323837
7	400	3.79867
8	450	4.273504
9	500	4.748338
10	550	5.223172

Sampel NaCl yang digunakan adalah NaCl padatan (kristal). Preparasi untuk sampel NaCl dilakukan dengan cara membuat larutan sebanyak 20 konsentrasi. Pembuatan sampel dilakukan dari konsentrasi 100 mM – 2000 mM dengan interval 100 mM dari masing-masing konsentrasi. Massa molekul relatif (M_r) untuk NaCl adalah 58,5 gr/mol. Massa sampel NaCl dilarutkan dengan menggunakan 10 ml aquades dengan perhitungan sebagai berikut:

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

Dimana: M = Konsentrasi sampel yang diinginkan (M)

m = Massa NaCl yang dicari (gr)

M_r = Massa molekul relatif NaCl (58,5 gr/mol)

V = Volume pelarut (aquades)

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

Massa NaCl yang telah didapatkan dari persamaan 4.2, kemudian diukur masing-masing massanya dengan menggunakan neraca digital. Sedangkan untuk jumlah pelarut (aquades) diukur dengan menggunakan gelas ukur ukuran 5 ml. Hasil sampel yang sudah ditimbang kemudian dilarutkan pada *beaker glass* ukuran

50 ml dan diaduk hingga homogen. Setelah proses pelarutan sampel selesai, sampel disimpan dalam sebuah botol tertutup.

Proses pengujian sampel dapat dilakukan apabila sensor dan sampel sudah siap untuk digunakan, serta membran lipid *Octadecylamine* pada sensor sudah mengering. Adapun sampel yang ditetaskan pada sensor sebanyak 100 μ l menggunakan mikropipet. Sensor QCM ditempatkan dalam sebuah wadah tertutup agar tidak terkena gangguan dari luar yang dapat mempengaruhi nilai dari perubahan frekuensi sensor. Kemudian sensor QCM dihubungkan dengan alat OpenQCM menggunakan kabel jumper. Selanjutnya alat OpenQCM yang di dalamnya terdapat rangkaian mikrokontroler *Arduino micro* dan seperangkatnya dihubungkan dengan PC menggunakan kabel USB. *Software* OpenQCM 1.2 dijalankan untuk memulai dan mengakhiri proses pengujian sampel.

Proses pengujian sampel yang pertama adalah pengujian nilai frekuensi dasar (f_0). Pengujian nilai f_0 ini bertujuan untuk mendapatkan nilai frekuensi dasar yang dapat dijadikan kontrol dalam pengujian sampel. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dalam durasi waktu masing-masing 5 menit (300 detik) sehingga diperoleh 300 data frekuensi untuk tiap satu kali pengukurannya. Hasil dari pengulangan selama proses pengujian ini, kemudian diambil 200 data terakhir untuk kemudian dirata-rata menggunakan Microsoft Excel agar diperoleh nilai f_0 dari elektroda perak murni dan elektroda yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine*.

Pengujian selanjutnya dilakukan sesuai dengan rencana pengambilan data yang akan dilakukan. Pengujian dilakukan dari konsentrasi paling rendah hingga

konsentrasi paling tinggi. Adapun durasi waktu untuk satu kali pengukuran sampel adalah 5 menit dengan melakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Hal ini agar didapatkan data yang stabil (*steady state*) selama proses pengujian.

Pergantian konsentrasi dilakukan ketika pengujian sudah dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan untuk tiap konsentrasinya. Sebelum dilakukan pergantian konsentrasi, terlebih dahulu sensor QCM dibilas dengan menggunakan aquades dan ditunggu hingga benar-benar mengering. Pencucian dengan menggunakan aquades ini dinilai efektif, karena dapat mengembalikan nilai frekuensi yang sama pada saat sebelum pemberian sampel. Begitu juga dengan pengujian f_0 yang harus dilakukan setiap kali pergantian sampel untuk dijadikan sebagai kontrol dan kalibrasi sensor. Hal ini bertujuan apakah nilai f_0 berubah atau tetap ketika sampel diganti.

Semua sampel yang telah diujikan akan tersimpan dalam data logger dan ditampilkan pada *software* OpenQCM 1.2. Selanjutnya data hasil dari *software* OpenQCM 1.2 dirata-rata 200 data terakhir pada masing-masing pengulangannya dan disimpan di dalam *software* Microsoft Excel 2013. Langkah selanjutnya yaitu melakukan *plotting* data menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017. Melalui *software* pengolah data OriginPro 2017 ini kemudian dapat ditentukan nilai *respond time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor.

4.1.2 Data Hasil Pengujian Sampel

Data yang dihasilkan pada pengujian sampel ini berupa frekuensi osilasi sensor. Data inilah yang nantinya akan dianalisis untuk diketahui nilai *respond time*, nilai deteksi limit dan sensitivitas sensornya terhadap respon dari rasa asam (HCl)

dan asin (NaCl). Semakin besar konsentrasi sampel yang diberikan maka frekuensi osilasi sensor akan semakin kecil. Sampel akan diujikan pada dua jenis elektroda sensor yang berbeda. Berikut adalah nilai f_0 yang diperoleh dari pengujian terhadap sensor QCM.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM

Percobaan ke-	Frekuensi Dasar (f_0)	
	Sebelum Pelapisan Membran (Hz)	Sesudah Pelapisan Membran (Hz)
1	10136147,02	9997876,99
2	10008206,62	9997886,888
3	10008216,94	9997893,268
4	10008218,01	9997898,069
5	10008208,78	9997901,687
Rata-Rata	10033799,47	9997891,38

Tabel 4.3 di atas menunjukkan nilai frekuensi dasar (f_0) yang didapatkan dari pengujian sensor QCM dengan elektroda murni maupun dengan elektroda membran lipid *Octadecylamine*. Tabel 4.3 di atas merupakan rata-rata dari 200 data terakhir hasil dari keluaran sensor QCM untuk tiap pengulangan. Kemudian data frekuensi dari tiap pengulangan dikumpulkan dan dirata-rata sehingga menghasilkan nilai f_0 sebelum pelapisan membran sebesar 10033799,47 Hz dan 9997891,38 Hz untuk f_0 sesudah dilapisi membran. Nilai f_0 inilah yang kemudian dijadikan kontrol dalam pengujian sampel. Jadi ketika dilakukan pergantian sampel sensor harus memiliki nilai frekuensi dasar yang sama dengan data pada tabel 4.3 di atas.

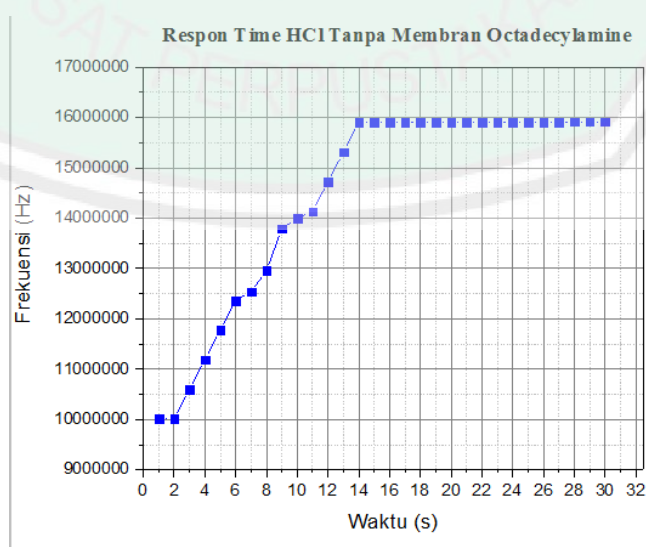
Hasil pengujian selanjutnya adalah hasil pengujian dari sampel HCl dan NaCl sebelum dan sesudah dilapisi membran lipid *Octadecylamine*. Hasil

pengujian ini merupakan hasil yang telah dianalisis dengan menggunakan *software* pengolah data OriginPro 2017. Hasil analisis dari *software* pengolah data OriginPro 2017 ini akan menghasilkan *output*-an berupa *respond time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor. Berikut adalah hasil pengujian sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran lipid untuk sampel HCl dan NaCl.

4.1.3 Data Hasil Pengujian *Respond Time*

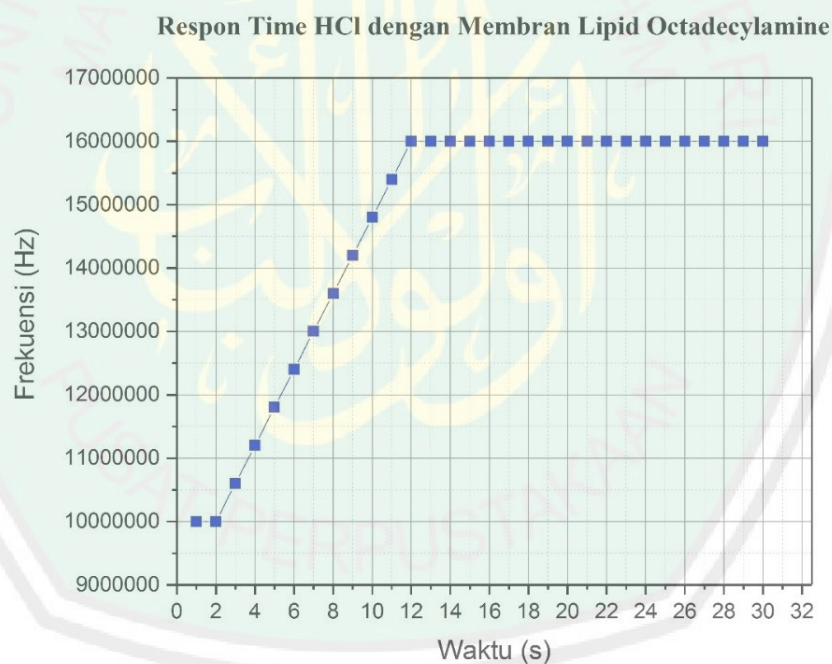
Tanggapan waktu sensor atau dikenal dengan *respond time* merupakan waktu yang menunjukkan seberapa cepat tanggapan sensor dalam berinteraksi terhadap perubahan *input*. Hasil *respond time* dari sensor QCM dapat diambil saat sampel mulai diujikan pada konsentrasi 100 mM. Selain itu agar lebih mudah untuk diketahui nilai *respond time* nya maka dibuatlah grafik hubungan antara waktu dengan frekuensi. Semakin kecil nilai *respond time* yang dimiliki sensor, maka kualitas sensor tersebut semakin baik. Berikut adalah hasil plot grafik *respond time* untuk sampel HCl dan NaCl sebelum dan sesudah dilapisi membran:

1. *Respond Time* HCl



Gambar 4.2 *Respond Time* HCl Tanpa Membran Octadecylamine

Gambar 4.2 menunjukkan *respond time* dari sensor QCM sebelum dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel HCl. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari gambar 4.2 bahwa sensor QCM yang belum dilapisi membran lipid *Octdecylamine* merespon sampel HCl pada detik ke-3 kemudian mengalami peningkatan frekuensi sebesar 15898651 Hz dan *steady state* saat detik ke-14 sampai detik ke-300 (batas waktu pengujian). Hasil *respond time* HCl tanpa membran lipid *Octadecylamine* ini menunjukkan nilai yang baik, karena menunjukkan nilai *steady state* yang stabil dan memiliki waktu respon yang cepat yaitu pada saat detik ke-14 s.



Gambar 4.3 *Respond Time* HCl dengan Membran Lipid *Octadecylamine*

Gambar 4.3 menunjukkan *respond time* dari sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel HCl. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari gambar 4.3 bahwa sensor QCM yang dilapisi dengan membran lipid *Octdecylamine* merespon sampel HCl pada detik ke-3 dengan frekuensi

10602583,6 Hz, kemudian mengalami kenaikan dan *steady state* pada saat detik ke-12. Hasil *respond time* HCl dengan membran lipid *Octadecylamine* ini menunjukkan nilai yang baik, karena menunjukkan nilai *steady state* yang stabil. Selain itu, sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* memiliki nilai respon yang lebih cepat terhadap sampel asam yaitu pada detik ke-12 s jika dibandingkan dengan sensor QCM yang tidak dilapisi membran lipid yaitu pada detik ke-14 s.

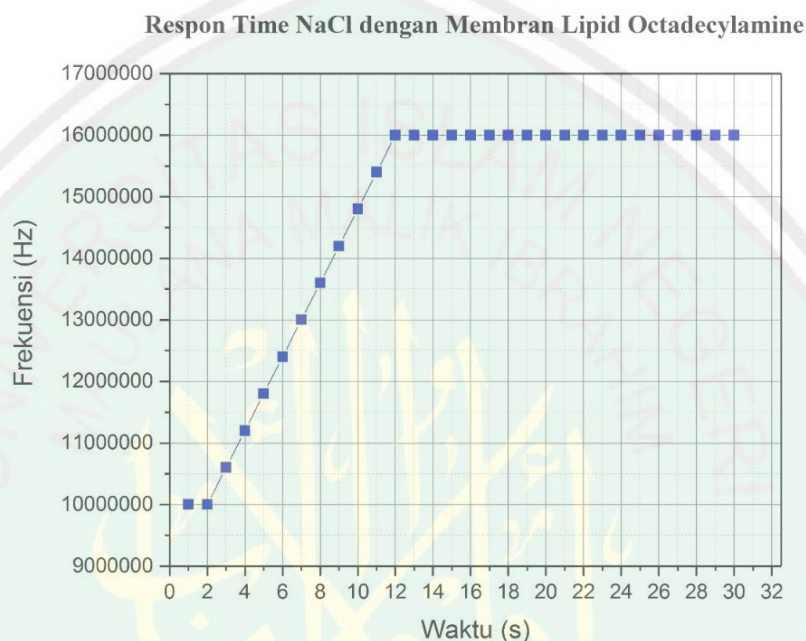
2. Respond Time NaCl



Gambar 4.4 *Respond Time* NaCl Tanpa Membran *Octadecylamine*

Gambar 4.4 menunjukkan *respond time* dari sensor QCM sebelum dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari gambar 4.4 bahwa sensor QCM yang belum dilapisi membran lipid *Octadecylamine* merespon sampel NaCl pada detik ke-3 kemudian mengalami kenaikan sampai frekuensi 15976333,2 Hz dan *steady state* saat detik ke-15. Hasil

respond time NaCl tanpa membran lipid *Octadecylamine* ini lebih lambat dibandingkan pada saat sensor merespon sampel HCl. Akan tetapi *respond time* sensor QCM untuk sampel NaCl tanpa membran lipid dianggap menunjukkan nilai yang baik, karena menunjukkan nilai *steady state* yang stabil saat detik ke-15 s.



Gambar 4.5 *Respond Time* NaCl dengan Membran Lipid *Octadecylamine*

Gambar 4.5 menunjukkan *respond time* dari sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari gambar 4.5 bahwa sensor QCM yang dilapisi dengan membran lipid *Octdecylamine* merespon sampel NaCl pada detik ke-3 dengan frekuensi 10602463,8 Hz, kemudian mengalami kenaikan dan *steady state* saat detik ke-12 s. Hasil *respond time* NaCl dengan membran lipid *Octadecylamine* ini menunjukkan respon yang baik, karena menunjukkan nilai *steady state* yang lebih cepat dibandingkan dengan yang tanpa membran lipid *Octadecylamine*.

Berikut adalah rincian data hasil *respond time* sensor QCM dalam merespon sampel HCl dan NaCl:

Tabel 4.4 Hasil Analisis *Respond Time* Sensor QCM

No.	Jenis Sampel	Waktu Naik	Waktu <i>Steady State</i>
1	HCl tanpa membran lipid <i>Octadecylamine</i>	Detik ke-3	Detik ke-14
2	HCl dengan membran lipid <i>Octadecylamine</i>	Detik ke-3	Detik ke-12
3	NaCl tanpa membran lipid <i>Octadecylamine</i>	Detik ke-3	Detik ke-15
4	NaCl dengan membran lipid <i>Octadecylamine</i>	Detik ke-3	Detik ke-12

Tabel 4.4 merupakan hasil analisis *respond time* sensor QCM terhadap sampel HCl dan NaCl, baik menggunakan elektroda perak murni (tanpa membran lipid) maupun menggunakan elektroda dengan membran lipid *Octadecylamine*. Hasil tabel 4.4 di atas menunjukkan pengujian sensor QCM yang memiliki waktu *steady state* yang berbeda-beda. Waktu *steady state* yang dihasilkan tergantung dari jenis elektroda sensor yang digunakan dan sampel yang diujikan. Adapun untuk waktu naik memiliki waktu yang sama yaitu pada detik ke-3 s. Hal ini dikarenakan menggunakan rangkaian pemrosesan data pada alat OpenQCM yang diproduksi oleh pabrik yang sudah terkalibrasi.

Hasil *respond time* sensor QCM dengan pelapisan membran lipid *Octadecylamine* untuk sampel HCl maupun NaCl menunjukkan nilai respon yang baik. Artinya, pelapisan membran lipid *Octadecylamine* pada elektroda sensor berpengaruh terhadap tanggapan waktu sensor dalam merespon sampel. Hal ini dikarenakan terjadinya interaksi antara membran lipid *Octadecylamine* dengan sampel, sehingga didapatkan *respond time* yang baik untuk sensor QCM yang

dilapisi membran lipid. Sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* sama-sama memiliki waktu respon yang sama, baik dalam merespon sampel HCl maupun NaCl. Sedangkan untuk sensor QCM tanpa membran lipid *Octadecylamine* lebih cepat merespon terhadap sampel HCl dari pada NaCl meskipun hanya selisih 1 detik saja.

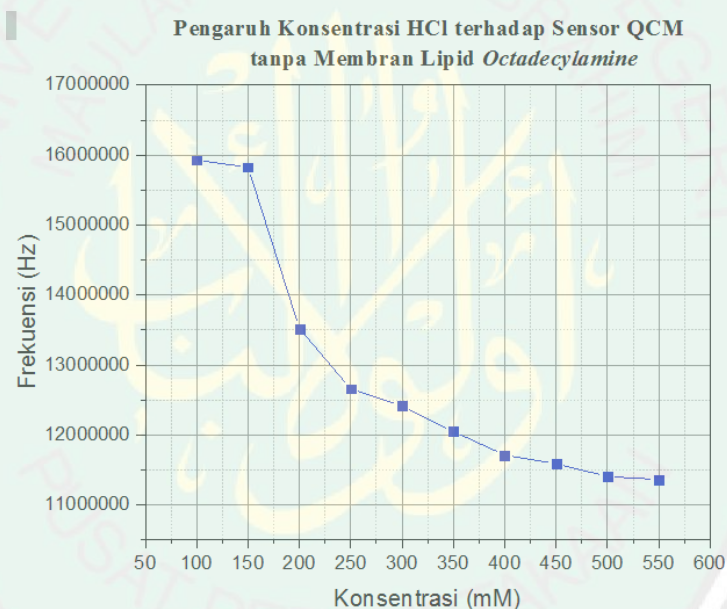
Hasil nilai *respond time* dari keempat pengujian dengan menggunakan jenis sensor dan sampel yang berbeda ini, dapat disimpulkan bahwa sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih cepat merespon sampel dari pada sensor QCM tanpa lapisan membran lipid. Respon cepat ini berlaku pada pengujian sampel HCl maupun NaCl dengan menggunakan sensor QCM yang dilapisi membran lipid, karena memiliki waktu naik dan waktu *steady state* yang sama.

4.1.4 Data Hasil Pengujian Deteksi Limit

Kemampuan dari suatu sensor untuk mendeteksi terjadinya perubahan variabel disebut dengan deteksi limit. Deteksi limit ini menunjukkan dimana daerah kerja dari suatu sensor. Pembagian limit dibagi menjadi dua bagian, yaitu limit atas dan limit bawah. Limit atas merupakan batas dimana suatu sensor mencapai ambang batas deteksinya sebelum berada di daerah saturasi. Sedangkan limit bawah merupakan daerah pada saat sensor mulai menanggapi adanya perubahan variabel. Limit bawah ini dimulai setelah daerah mati (*dead zone*) sensor. Penelitian ini menggunakan konsentrasi yang rendah, sehingga kemungkinan munculnya nilai limit atas sangat kecil, karena limit atas hanya terjadi pada sampel yang memiliki konsentrasi tinggi.

Penelitian karakterisasi sensor QCM ini menggunakan konsentrasi dari yang terendah sampai ke konsentrasi yang tinggi. Artinya pada konsentrasi yang tinggi larutan sampel akan menjadi semakin pekat. Hal ini dapat mempengaruhi nilai dari frekuensi hasil *output* sensor QCM. Maka dibuatlah grafik deteksi limit hubungan antara konsentrasi (mM) pada sumbu X dengan frekuensi (Hz) pada sumbu Y. Dari pengujian, diperoleh dua grafik deteksi limit untuk masing-masing sampelnya. Dibawah ini merupakan grafik pengaruh konsentrasi sampel terhadap sensor QCM.

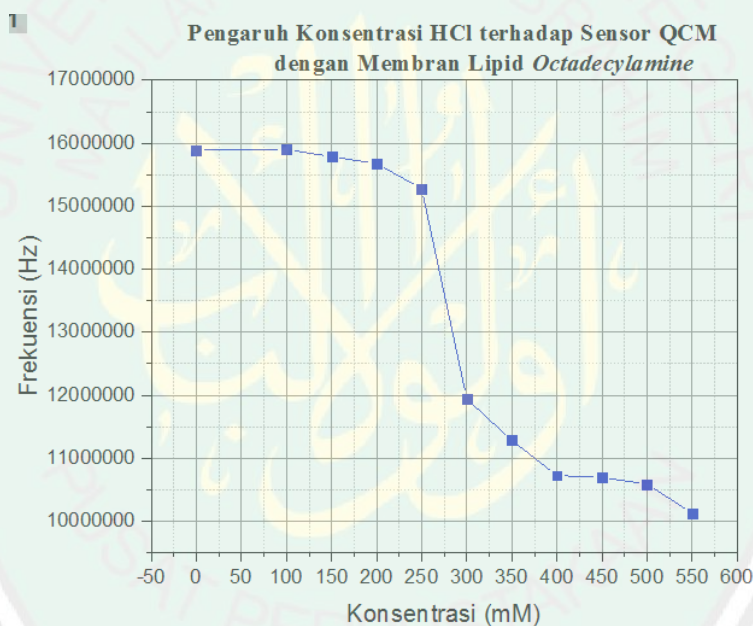
1. Deteksi Limit HCl



Gambar 4.6 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM Tanpa Membran Lipid *Octadecylamine*

Pengaruh konsentrasi HCl terhadap sensor QCM tanpa membran lipid *Octadecylamine* ditunjukkan oleh gambar 4.6. Konsentrasi 0 mM - 150 mM merupakan daerah *dead zone* (daerah mati). Sedangkan untuk konsentrasi 200 mM-550 mM merupakan daerah kerja dari sensor. Hal ini dapat dilihat pada grafik 4.6 bahwa terjadi penurunan frekuensi osilasi sensor yang tidak begitu signifikan pada

konsentrasi 0 mM - 150 mM. Penurunan frekuensi osilasi sensor terjadi secara signifikan pada saat konsentrasi 200 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13520395 Hz. Penurunan ini terjadi sampai konsentrasi tertinggi dari sampel HCl yaitu konsentrasi 550 mM dengan frekuensi sebesar 11362326 Hz. Limit bawah dari pengujian sampel HCl tanpa membran lipid berada pada konsentrasi 200 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13520395 Hz. Dalam hal ini sensor QCM tanpa membran lipid merespon sampel HCl dengan baik karena mengalami penurunan frekuensi osilasi sensor yang signifikan.

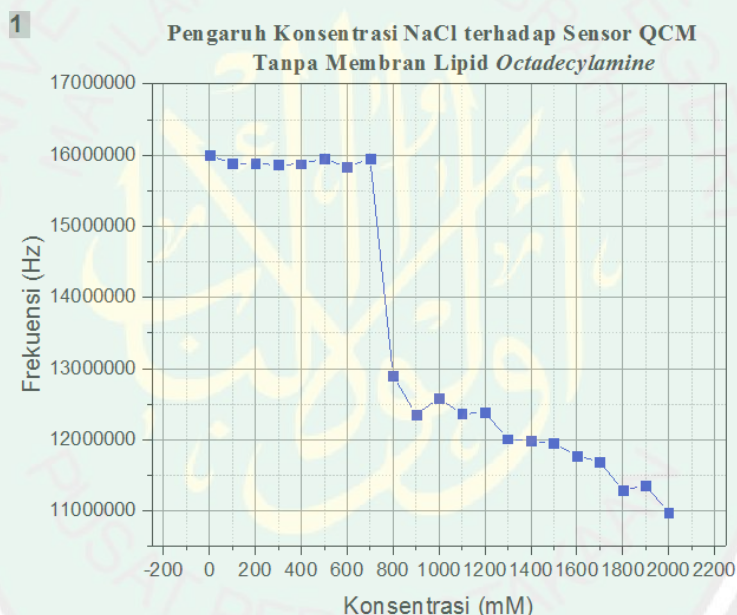


Gambar 4.7 Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap Sensor QCM dengan Membran Lipid *Octadecylamine*.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan konsentrasi dengan frekuensi pada sampel HCl menggunakan sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine*. Penentuan deteksi limit (daerah kerja) dari sensor dilakukan dengan cara memplot hasil pengujian menjadi grafik hubungan antara konsentrasi (X) dengan frekuensi (Y). Daerah mati (*dead zone*) sensor ditunjukkan pada

konsentrasi 0 mM - 250 mM dengan frekuensi antara 15891108,8 Hz - 15277551,43 Hz. Sedangkan untuk nilai frekuensi setelah konsentrasi 250 mM, terjadi penurunan frekuensi yang besar yaitu 11940328,65 Hz. Penurunan ini terjadi secara signifikan dari konsentrasi 300 mM - 550 mM. Ini artinya daerah kerja sensor QCM pada sampel HCl dengan membran lipid *Octadecylamine* terjadi pada konsentrasi 300 mM - 550 mM. Adapun limit bawah sensor berada pada konsentrasi 300 mM dengan frekuensi sebesar 11940328,65 Hz.

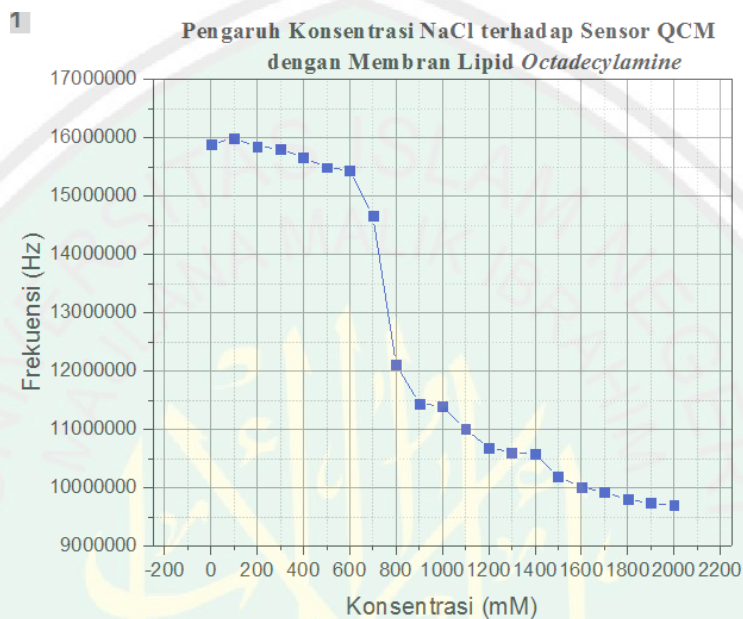
2. Deteksi Limit NaCl



Gambar 4.8 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM Tanpa Membran Lipid *Octadecylamine*

Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl terhadap sensor QCM tanpa membran lipid *Octadecylamine*. Daerah mati sensor ditunjukkan pada konsentrasi 0 mM - 700 mM dengan perubahan frekuensi antara 15999997,48 Hz - 15951056,66 Hz. Adapun untuk daerah kerja sensor ditunjukkan oleh konsentrasi 800 mM - 2000 mM (batas pengujian sampel). Penurunan frekuensi dimulai dari

konsentrasi 800 mM dengan frekuensi sebesar 12897135,3 Hz. Adapun nilai untuk limit bawah sensor terhadap sampel NaCl berada pada konsentrasi ke-800 mM. Dalam hal ini sensor QCM tanpa membran lipid merespon sampel NaCl dengan baik karena mengalami penurunan frekuensi osilasi sensor secara signifikan.



Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Sensor QCM dengan Membran Lipid *Octadecylamine*

Gambar 4.9 menunjukkan grafik hubungan konsentrasi dengan frekuensi pada sampel NaCl menggunakan sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine*. Daerah mati (*dead zone*) sensor ditunjukkan pada konsentrasi 0 mM sampai konsentrasi 700 mM. Sedangkan untuk nilai frekuensi setelah konsentrasi 700 mM terjadi penurunan frekuensi sebesar 12115832,34 Hz. Penurunan ini terjadi secara signifikan dari konsentrasi 800 mM - 2000 mM. Ini artinya sensor mulai merespon perubahan sampel pada saat konsentrasi ke-800 mM sampai dengan konsentrasi ke-2000 mM yang disebut dengan daerah kerja sensor.

Adapun limit bawah sensor berada pada konsentrasi 800 mM dengan frekuensi sebesar 12115832,34 Hz.

Berikut ini adalah hasil analisis dari deteksi limit untuk sampel HCl dan NaCl sebelum dan sesudah dilapisi membran lipid *Octadecylamine*:

Tabel 4.5 Analisis Deteksi Limit Sensor QCM

No.	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (mM)	Frekuensi Limit Bawah (Hz)	Daerah Mati (<i>Dead Zone</i>)	Daerah Kerja
1	HCl tanpa membran lipid	200	13520395	0 mM – 150 mM	200 mM – 550 mM
2	HCl dengan lapisan membran lipid	300	11940328	0 mM – 250 mM	300 mM – 550 mM
3	NaCl tanpa membran lipid	800	12897135.3	0 mM – 700 mM	800 mM – 2000 mM
4	NaCl dengan lapisan membran lipid	800	12115832,34	0 mM – 700 mM	800 mM – 2000 mM

Tabel 4.5 di atas menunjukkan hasil analisis deteksi limit terhadap sampel HCl dan NaCl. Nilai limit bawah pada sampel HCl menunjukkan nilai yang lebih rendah dari pada sampel NaCl. Sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dan dengan lapisan membran lipid *Octadecylamine* merespon sampel HCl pada konsentrasi 200 mM dan 300 mM. Sedangkan untuk sampel NaCl sensor QCM merespon pada konsentrasi 800 mM. Hal ini menunjukkan bahwa sensor QCM dinilai lebih baik dalam merespon sampel larutan HCl dari pada sampel larutan NaCl. Hal ini dikarenakan kemungkinan interaksi yang terjadi antara membran dengan sampel menjadi salah satu faktornya. Sehingga menghasilkan sensor QCM yang dapat bekerja pada konsentrasi rendah untuk sampel HCl dan bekerja pada

konsentrasi tinggi untuk sampel NaCl. Jika dibandingkan dengan sampel yang sama tetapi jenis sensor yang berbeda, maka sensor QCM tanpa lapisan membran lipid *Octadecylamine* lah yang dapat merespon sampel HCl dengan baik. Sedangkan untuk sampel NaCl, sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dan sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* memiliki daerah kerja yang sama. Sehingga, baik sensor QCM tanpa dilapisi dengan yang sudah dilapisi membran lipid memiliki nilai deteksi limit sensor yang baik. Deteksi limit dinilai baik saat sensor dapat merespon sampel pada konsentrasi yang paling kecil.

Penentuan daerah kerja sensor yaitu ketika sensor sudah mulai merespon adanya perubahan sampel yang ditunjukkan dengan penurunan frekuensi osilasi secara signifikan. Daerah kerja sensor berada diantara *dead zone* dan daerah saturasi sensor. Penelitian ini hanya dapat mengetahui limit bawah sensor karena menggunakan konsentrasi yang kecil. Sedangkan untuk limit atas sensor tidak dapat diketahui karena konsentrasi sampel dibatasi sehingga tidak sampai mencapai daerah saturasi.

4.1.5 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor

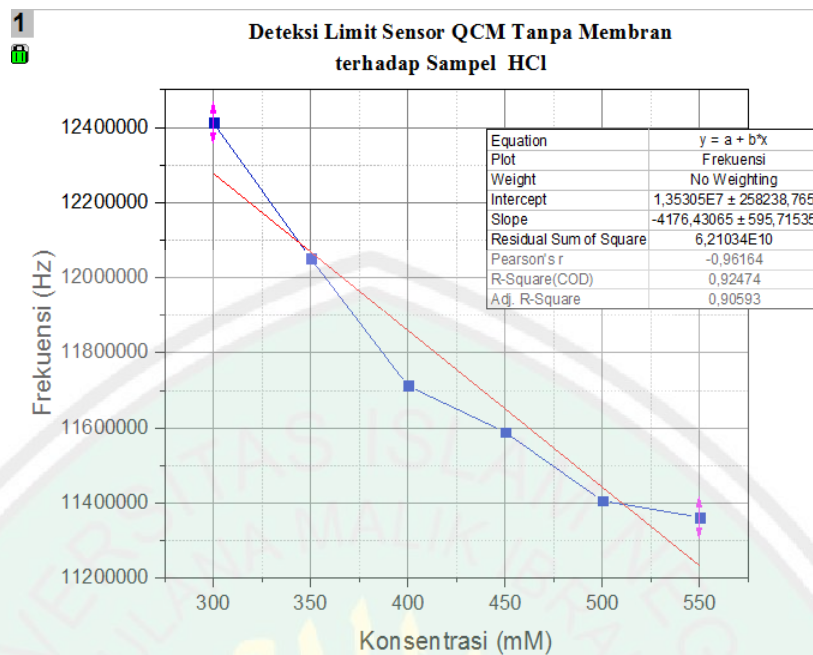
Analisis karakterisasi sensor yang ketiga yaitu sensitivitas sensor. Sensitivitas sensor adalah kepekaan sensor dalam menanggapi suatu masukan. Adapun sensitivitas sensor diperoleh dari nilai deteksi limit yang kemudian dilakukan analisis regresi linear pada bagian daerah kerja sensor. Regresi linear ini bertujuan untuk menunjukkan kelinieran grafik yang akan menghasilkan persamaan hubungan linear untuk kemudian dianalisis nilai *slope* (kemiringan kurva) dan

koefisien determinasinya (R^2). Berikut adalah hubungan linear kurva yang ditunjukkan pada persamaan 4.3 dibawah ini:

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

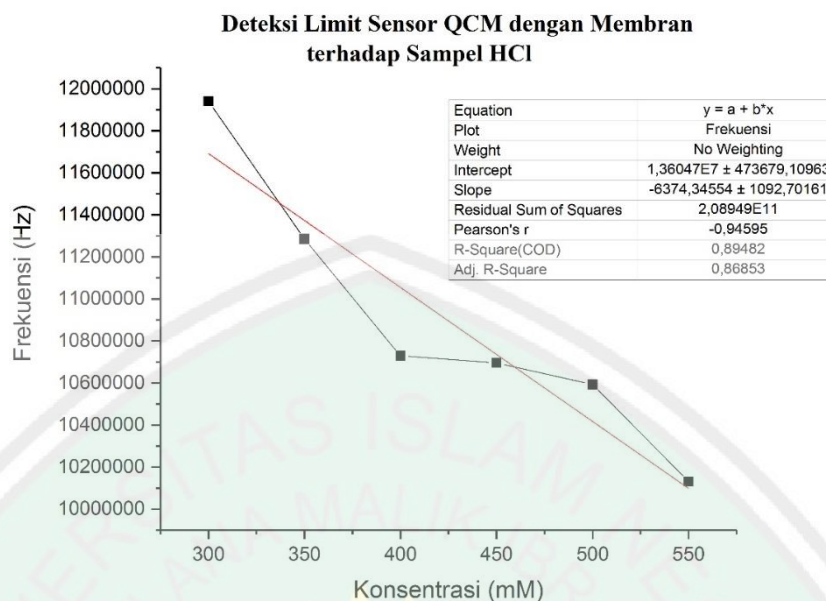
Persamaan Y mengartikan bahwa Y merupakan fungsi dari X. Artinya bila Y disini adalah nilai *output* (frekuensi) dan fungsi X adalah variasi konsentrasi sampel, maka nilai frekuensi (Y) bergantung pada variasi konsentrasi sampel (X). Variabel b disebut dengan *slope* yang menentukan arah regresi linear. Jika nilai *slope* nya positif, artinya semakin tinggi nilai X maka semakin besar pula nilai Y nya dan sebaliknya. Adapun variabel a disebut dengan *intercept* (gelinciran). Selain persamaan 4.3 di atas, analisis regresi linear juga menunjukkan nilai koefisien determinasi yang disimbolkan dengan R^2 . *R square* atau koefisien determinasi (R^2) menunjukkan seberapa besar pengaruh variasi konsentrasi sampel (X) terhadap nilai *output* sensor (Y). Semakin nilai R^2 mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa sampel uji memiliki pengaruh yang baik karena mendekati linear.

Pengujian sensor QCM tanpa membran lipid *Octadecylamine* memiliki daerah kerja sensor dari konsentrasi 200 mM – 550 mM. Daerah kerja sensor tersebut kemudian diplot dan dilakukan regresi linear dengan menyesuaikan daerah kerja sensor QCM yang dilapisi membran lipid. Hal ini dilakukan agar sensitivitas dari jenis sensor yang berbeda dapat dibandingkan. Berikut adalah gambar grafik yang sudah dilakukan regresi linear untuk sampel HCl.



Gambar 4.10 Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran terhadap Sampel HCl

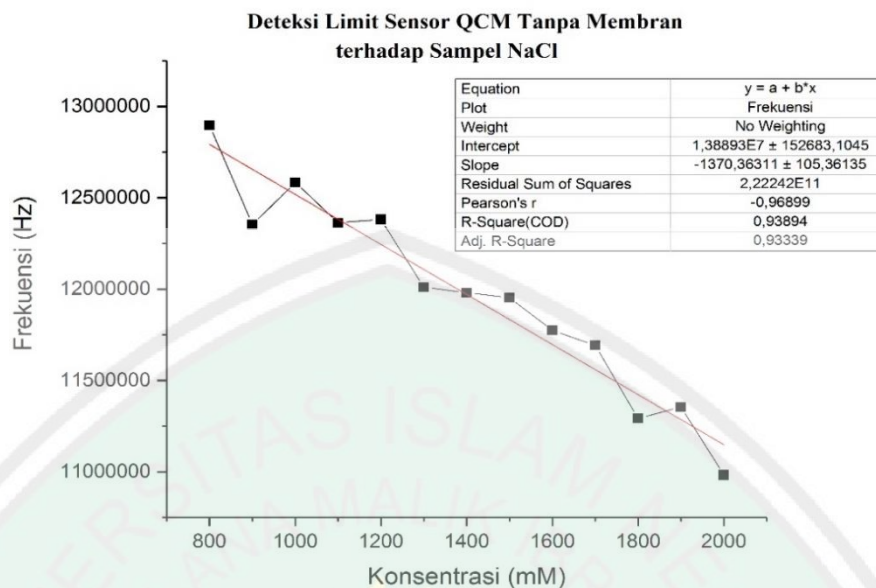
Hasil grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.10 menunjukkan analisis regresi linear pada sensor QCM tanpa membran lipid terhadap sampel HCl. Diperoleh persamaan $y = 1.35305E7 - 4176.43065x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.92474$. Nilai sensitivitas sensor terhadap sampel HCl disini ditunjukkan oleh nilai *slope* yaitu 4176 Hz/mM, nilai *slope* nya bernilai negatif artinya semakin tinggi nilai x (variasi konsentrasi) maka semakin kecil nilai y (frekuensi) nya. Adapun untuk pengaruh variasi konsentrasi sampel terhadap frekuensi yaitu sebesar 92.47%.



Gambar 4.11 Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran terhadap Sampel HCl

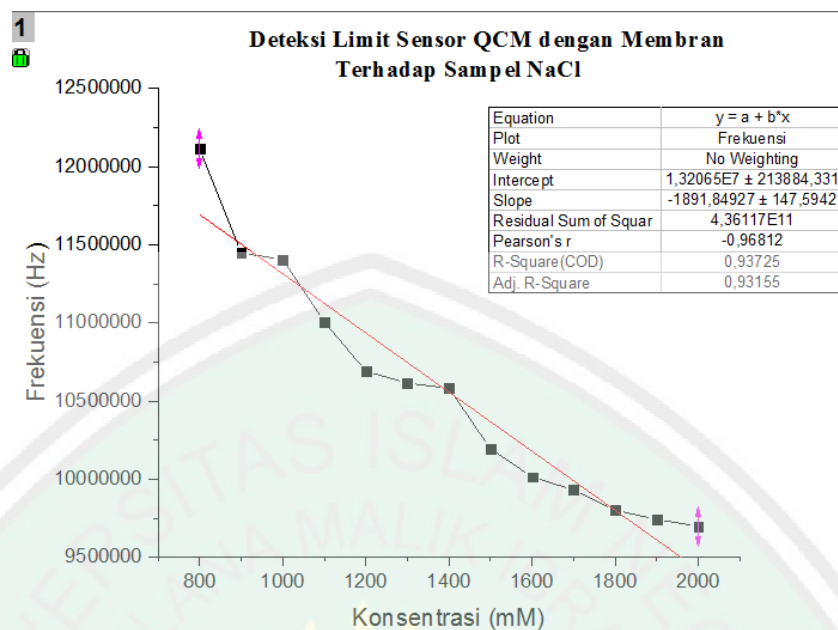
Analisis regresi linear yang kedua yaitu pada pengujian sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel HCl. Analisis regresi linear dilakukan pada konsentrasi 300 mM - 550 mM yang ditunjukkan oleh gambar 4.11 di atas. Nilai persamaan yang didapatkan yaitu $y = 1.36047E7 - 6374.34554x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.89482$. Nilai sensitivitas sensor QCM berlapis membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel HCl sebesar 6374 Hz/mM. Adapun untuk pengaruh variasi konsentrasi sampel terhadap frekuensi yaitu sebesar 89.49%.

Pengujian sensor QCM tanpa membran lipid dan sensor QCM dengan membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl memiliki daerah kerja sensor yang sama yaitu dari konsentrasi 800 mM – 2000 mM. Daerah kerja sensor tersebut kemudian diplot dan dilakukan regresi linear untuk kemudian dibandingkan hasilnya. Berikut adalah gambar grafik yang sudah dilakukan regresi linear.



Gambar 4.12 Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran terhadap Sampel NaCl

Hasil grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.12 menunjukkan analisis regresi linear pada sensor QCM tanpa membran lipid terhadap sampel NaCl. Diperoleh nilai persamaan hubungan linear kurva yaitu $y = 1.38893E7 - 1370.36311x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.93894$. Nilai sensitivitas sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl sebesar 1370 Hz/mM. Adapun untuk pengaruh variasi konsentrasi sampel terhadap frekuensi yaitu sebesar 93.89%.



Gambar 4.13 Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran terhadap Sampel NaCl

Analisis regresi linear yang keempat yaitu pada pengujian sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl. Analisis regresi linear dilakukan pada daerah kerja sensor yaitu pada saat sensor mulai merespon perubahan sampel dari konsentrasi 800 mM - 2000 mM yang ditunjukkan oleh gambar 4.13 di atas. Nilai persamaan hubungan linear kurva yaitu $y = 1.32065E7 - 1891.84927x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.93725$. Nilai sensitivitas sensor QCM dengan dilapisi membran lipid *Octadecylamine* terhadap sampel NaCl sebesar 1891 Hz/mM. Adapun untuk pengaruh variasi konsentrasi sampel terhadap frekuensi yaitu sebesar 93.72%.

Hasil persamaan regresi linear dan nilai koefisien determinasi yang sudah didapatkan menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan perbedaan jenis sensor dan sampel yang digunakan. Berikut adalah data hasil analisis sensitivitas sensor QCM dari semua pengujian sampel.

Tabel 4.6 Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM

No.	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah	Persamaan Regresi Linear	Koefisien Determinasi (R^2)
1	HCl tanpa dilapisi membran lipid	300 mM	$y = 1.35305E7 - 4176.43065x$	0.92474
2	HCl dengan dilapisi membran lipid	300 mM	$y = 1.36047E7 - 6374.34554x$	0.89482
3	NaCl tanpa dilapisi membran lipid	800 mM	$y = 1.38893E7 - 1370.36311x$	0.93894
4	NaCl dengan dilapisi membran lipid	800 mM	$y = 1.32065E7 - 1891.84927x$	0.93725

Tabel 4.6 menunjukkan hasil analisis dari sensitivitas sensor QCM. Penyamaan melakukan regresi linear pada daerah kerja yang sama ini bertujuan agar sensitivitas sensor sebelum dilapisi membran lipid dengan yang dilapisi membran lipid dapat dibandingkan untuk mengetahui sensor yang lebih sensitif dan efektif dalam merespon sampel. Pengujian sampel HCl dan NaCl menggunakan sensor QCM dengan pelapis membran lipid *Octadecylamine* menunjukkan nilai sensitivitas yang lebih tinggi dari pada menggunakan sensor QCM tanpa lapisan membran lipid. Adapun selisih sensitivitas pengujian HCl terhadap kedua jenis sensor QCM yaitu sebesar 2197.91 Hz/mM. Sedangkan untuk pengujian sampel NaCl selisih sensitivitas terhadap kedua jenis sensor adalah 521.49 Hz/mM. Adapun pengaruh pengujian sampel HCl dan NaCl terhadap sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih tinggi dari pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine*.

Pengaruh pengujian sampel HCl dengan sensor QCM tanpa pelapis membran lipid *Octadecylamine* berpengaruh terhadap perubahan frekuensi osilasi

sensor sebesar 0.92474 atau 92.47%. Pengaruh ini lebih besar jika dibandingkan pada pengujian sampel HCl menggunakan sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* yaitu sebesar 0.89482 atau 89.49%. Adapun untuk pengaruh pengujian sampel NaCl terhadap sensor QCM tanpa lapisan membran lipid *Octadecylamine* yaitu sebesar 0.93894 atau 93.9% lebih besar dari pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* yang berpengaruh sebesar 0.93725 atau 93.72%.

Penjelasan di atas menunjukkan bahwa sensor QCM dengan lapisan membran lipid *Octadecylamine* lebih berpengaruh atau lebih efektif untuk menguji sampel NaCl. Hal ini dikarenakan nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan lebih besar dan lebih mendekati 1 dari pada sensor QCM yang tidak dilapisi membran lipid *Octadecylamine*. Tingkat kepercayaan atau ketepatan data dari nilai sensitivitas sensor ditunjukkan oleh besar R^2 yang dihasilkan.

Nilai *slope* dari semua pengujian menunjukkan nilai – (negatif) yang mana artinya semakin tinggi nilai X (variasi konsentrasi sampel) maka semakin kecil nilai Y (frekuensi) nya. Hal ini menunjukkan penurunan frekuensi pada saat konsentrasi ditingkatkan. Nilai sensitivitas sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Octadecylamine* pada pengujian sampel HCl lebih tinggi yaitu sebesar 4176.43065 Hz/mM dari pada pengujian sampel NaCl yang hanya bernilai sebesar 1370.36311 Hz/mM. Hal ini menunjukkan bahwa sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih sensitif terhadap pengujian sampel HCl (asam) dibandingkan pada sampel NaCl (asin).

4.2 Pembahasan

Pengujian dengan menggunakan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) berbasis membran lipid *Octadecylamine* ini menghasilkan data sebanyak 1500 data untuk setiap konsentrasinya atau 60.000 data untuk sampel NaCl dan 30.000 data untuk sampel HCl. Setiap satu konsentrasi dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Sehingga tiap satu pengulangan menghasilkan sebanyak 300 data dalam durasi waktu 5 menit (300 detik). Data-data yang didapat dari 5 kali pengulangan ini selanjutnya dirata-rata 200 data terakhir untuk kemudian diolah menggunakan *software* pengolah data Originpro 2017. Data yang sudah diolah kemudian dianalisis untuk mencari nilai *respond time* atau tanggapan waktu sensor, deteksi limit dan sensitivitas sensor atau kemampuan sensor menanggapi perubahan konsentrasi.

Hasil untuk karakterisasi yang pertama adalah *respond time*. Didapatkan hasil *respond time* bahwa sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih cepat merespon sampel dari pada sensor QCM yang tidak dilapisi membran. Hasil ini menunjukkan bahwa pelapisan membran lipid *Octadecylamine* pada elektroda sensor berpengaruh terhadap tanggapan waktu sensor dalam merespon sampel. Hasil karakterisasi *respond time* ini dipengaruhi oleh adanya interaksi antara sampel dengan membran lipid *Octadecylamine* ($C_{18}H_{39}N$). Sehingga didapatkan hasil *respond time* yang baik untuk sensor QCM yang dilapisi membran lipid yaitu pada detik ke 12 s untuk sampel HCl dan NaCl.

Hasil limit bawah untuk sensor QCM dalam menanggapi sampel HCl menunjukkan daerah kerja yang lebih rendah dari pada sensor QCM dalam

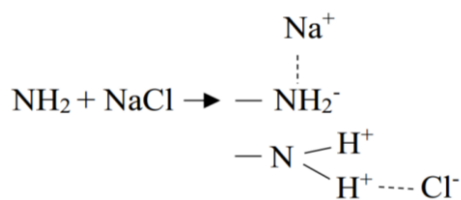
menanggapi sampel NaCl. Hal ini dikarenakan kemungkinan interaksi yang terjadi antara sampel dengan membran lipid *Octadecylamine*. Kemungkinan interaksi yang terjadi antara sampel HCl dengan membran lipid *Octadecylamine* adalah reaksi kimia. Sedangkan untuk sampel NaCl dengan membran lipid *Octadecylamine* adalah interaksi protonasi. Dimana reaksi kimia merupakan perubahan senyawa kimia karena adanya unsur yang lepas sehingga menghasilkan zat baru. Sedangkan interaksi protonasi merupakan interaksi terikatnya sebuah proton pada sebuah molekul dengan cara menambahkan muatan positif ke gugus karbonil (Susilo dkk, 2017).

Membran lipid *Octadecylamine* memiliki rumus dan berat molekul $C_{18}H_{39}N$ dan memiliki struktur kimia $CH_3(CH_2)_{16}CH_2NH_2$ seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.14. Adapun bagian gugus fungsi luar membran lipid *Octadecylamine* adalah NH_2 .



Gambar 4.14 Struktur Lipid *Octadecylamine*

Gugus NH_2 pada membran lipid *Octadecylamine* ini yang akan berinteraksi dengan larutan sampel. Interaksi yang terjadi antara membran lipid *Octadecylamine* dengan HCl adalah sebagai berikut $NH_2 + HCl \rightarrow NH_3^+ + Cl^-$. Sehingga dari interaksi ini dapat dikatakan bahwa interaksi yang terjadi adalah interaksi kimia karena menghasilkan zat baru yaitu $NH_3^+ + Cl^-$. Sedangkan interaksi yang terjadi antara membran lipid *Octadecylamine* dengan sampel NaCl adalah sebagai berikut:



Gambar 4.15 Interaksi Gugus NH_2 dengan NaCl

Gambar 4.15 merupakan interaksi antara gugus membran lipid *Octadecylamine* yaitu gugus NH_2 dengan NaCl . Dimana interaksi 4.15 di atas disebut dengan interaksi protonasi. Interaksi protonasi yang terjadi adalah dengan menambahkan muatan positif Na^+ ke gugus NH_2 .

Adanya interaksi antara sampel HCl dan NaCl dengan membran lipid *Octadecylamine* ini menyebabkan sensor QCM yang dilapisi membran lipid dapat bekerja pada konsentrasi rendah untuk sampel HCl dan bekerja pada konsentrasi tinggi untuk sampel NaCl . Selain itu, sensor yang dilapisi membran lipid memiliki massa yang lebih besar sehingga keluaran frekuensi osilasi yang dihasilkan lebih kecil dari pada sensor QCM yang tanpa dilapisi membran. Akan tetapi hal ini hanya berpengaruh untuk sampel HCl yang mengalami reaksi kimia, sedangkan pada sampel NaCl yang mengalami interaksi protonasi tidak berpengaruh. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil analisis nilai limit bawah untuk sampel NaCl yang sama-sama berada pada konsentrasi 800 mM. Sedangkan pada sampel HCl , limit bawah untuk sensor QCM yang dilapisi membran lipid lebih tinggi dari pada yang tidak dilapisi membran lipid.

Sensitivitas sensor diperoleh dari deteksi limit yang dilakukan analisis regresi linear pada bagian daerah kerjanya. Nilai sensitivitas sensor ini ditunjukkan oleh nilai *slope* yang dihasilkan. Nilai *slope* pada pengujian sampel HCl dan NaCl

bernilai negatif (-) yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan frekuensi saat konsentrasinya ditambah. Nilai sensitivitas untuk sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih tinggi dari pada sensor QCM yang tidak dilapisi membran lipid. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya lapisan membran lipid *Octadecylamine* pada permukaan sensor, berpengaruh terhadap nilai dari sensitivitas sensor. Interaksi yang terjadi antara sampel dengan membran lipid menyebabkan sensor QCM yang dilapisi membran lipid lebih sensitif dalam merespon sampel dibandingkan yang tidak dilapisi membran lipid.

Hasil dari ketiga karakterisasi ini (*respond time*, deteksi limit, sensitivitas sensor), selain karena dipengaruhi oleh massa yang ada pada permukaan sensor QCM, karakterisasi ini juga dipengaruhi oleh interaksi antara sampel dengan membran lipid *Octadecylamine*. Pengaruh massa dan pengaruh interaksi sampel dengan membran inilah yang kemudian menyebabkan terjadinya penurunan osilasi frekuensi sensor. Faktor tersebut yang menjadi salah satu alasan mengapa sensor QCM yang dilapisi membran lipid lebih sensitif terhadap rasa asam dibandingkan rasa asin. Hal ini dikarenakan ketika berinteraksi dengan sampel HCl terjadi reaksi kimia yang menghasilkan zat baru dan ketika berinteraksi dengan sampel NaCl hanya terjadi interaksi protonasi yang tidak sampai menghasilkan zat baru.

4.3 Kajian Integrasi Islam

Sensor QCM ini difungsikan sebagai sensor rasa yang dapat merespon sampel rasa dasar. Penelitian ini mencoba mengetahui karakteristik sensor QCM dalam merespon rasa asam dan asin. Adapun prinsip kerja dari sensor QCM ini hampir sama dengan lidah manusia. Lidah manusia mampu merespon hampir

semua rasa dasar dengan tingkat sensitivitas terhadap rasa tertentu. Jadi, ada saat tertentu dimana lidah manusia belum mampu mendeteksi rasa makanan maupun minuman. Faktor karakteristik seperti inilah yang dipakai dalam sensor QCM atau lebih dikenal dengan istilah *respond time* atau waktu respon, deteksi limit dan sensitivitas sensor.

وَلِكُلِّ أُمَّةٍ أَجَلٌ فَإِذَا جَاءَ أَجْلُهُمْ لَا يَسْتَأْخِرُونَ سَاعَةً وَلَا يَسْتَقْدِمُونَ

“Tiap-tiap umat mempunyai batas waktu, maka apabila telah datang waktunya mereka tidak dapat mengundurkannya barang sesaatpun dan tidak dapat (pula) memajukannya” (Q.S al-A’raf: 34).

Berdasarkan tafsir al-Qurthubi firman Allah SWT pada lafadz *وَلِكُلِّ أُمَّةٍ أَجَلٌ* “tiap-tiap umat mempunyai batas waktu”, memiliki tafsiran bahwa bagi tiap umat ada jangka waktu yang sudah ditentukan dan hanya Allah lah yang mengetahuinya. Kata *أَجَلٌ* dalam ayat ini berarti batas waktu tertentu. Penggunaan istilah *سَاعَةً* (sesaat) karena istilah tersebut adalah tingkatan masa waktu yang paling sedikit (paling singkat). Selain itu, lafadz tersebut merupakan *zharaf zaman* (kata keterangan waktu).

Penjelasan al-Qur’an surah al-A’raf ayat 34 ini menjelaskan bahwa setiap hal itu memiliki batas waktu tersendiri. Istilah batas waktu yang ada pada Surah al-A’raf ayat 34 dapat dikatakan sebagai *respond time* dalam penelitian sensor QCM ini. *Respond time* merupakan waktu tanggap yang diperlukan sensor dalam menanggapi sampel. Ada beberapa istilah yang dianalisis dalam *output respond time* yaitu waktu naik (waktu dimana sensor mulai merespon sampel) dan juga waktu *steady state* (waktu dimana sensor dalam keadaan stabil). Masing-masing

respon sensor hasilnya berbeda-beda, tergantung dari sampel dan jenis sensor yang digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *respond time* dari pengujian sampel HCl dan NaCl dengan menggunakan sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran lipid menunjukkan hasil yang berbeda. Adapun untuk waktu naiknya sama yaitu pada detik ke-3 s. Sedangkan untuk waktu *steady state* nya sensor QCM yang dilapisi membran lipid sama-sama memiliki waktu respon yang baik dalam merespon sampel yaitu pada detik ke-12 s dan sensor QCM sebelum dilapisi membran lebih cepat merespon sampel HCl pada detik ke-14 s dari pada NaCl pada detik ke-15 s.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Hasil *respond time* menunjukkan bahwa sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih cepat merespon sampel dari pada yang tidak dilapisi membran lipid. Sensor QCM yang dilapisi membran lipid sama-sama memiliki waktu respon yang baik dalam merespon sampel HCl maupun NaCl (detik ke-12 s). Sedangkan sensor QCM tanpa membran lipid lebih cepat merespon sampel HCl (detik ke-14 s) dari pada NaCl (detik ke-15 s). Waktu naik dari keempat pengujian memiliki waktu yang sama (detik ke-3 s) dikarenakan rangkaian pemrosesan data pada alat OpenQCM diproduksi oleh pabrik yang sudah terkalibrasi.
2. Hasil deteksi limit menunjukkan bahwa nilai limit bawah pada sampel HCl lebih rendah dari pada sampel NaCl. Sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dan dengan lapisan membran lipid *Octadecylamine* merespon sampel HCl pada konsentrasi 200 mM dan 300 mM. Sedangkan untuk sampel NaCl merespon pada konsentrasi 800 mM. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antara membran lipid *Octadecylamine* dengan sampel sehingga sensor QCM bekerja pada konsentrasi rendah untuk sampel HCl karena terjadi reaksi kimia dan bekerja pada konsentrasi tinggi untuk sampel NaCl karena terjadi interaksi protonasi.

3. Hasil sensitivitas sensor didapatkan bahwa sensor QCM yang dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih tinggi dari pada menggunakan sensor QCM tanpa lapisan membran lipid dalam merespon sampel HCl dan NaCl. Nilai sensitivitas untuk sensor QCM yang dilapisi membran lipid pada pengujian HCl lebih tinggi yaitu 6374.34554 Hz/mM, dari pada terhadap pengujian NaCl yaitu 1891.84927 Hz/mM. Ini artinya penggunaan membran lipid *Octadecylamine* sebagai pelapis sensor lebih cocok untuk pengujian sampel HCl dari pada sampel NaCl.
4. Ketepatan data (R^2) atau tingkat kepercayaan data sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid *Octadecylamine* lebih tinggi dari pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid. Ketepatan data untuk sensor QCM tanpa dilapisi membran lipid pada sampel HCl adalah sebesar 92.47% dan 93.89% untuk sampel NaCl. Sedangkan pada sensor QCM yang dilapisi membran lipid memiliki ketepatan data sebesar 89.42% untuk sampel HCl dan 93.72% untuk sampel NaCl. Nilai R^2 ini menunjukkan seberapa besar pengaruh sampel terhadap nilai *output* sensor.

5.2 Saran

Agar dapat mendukung perkembangan sensor QCM khususnya untuk sampel liquid, maka perlu dilakukan perkembangan penelitian sebagai berikut:

1. Menggunakan konsentrasi tinggi sehingga memiliki kepekatan yang tinggi, agar limit atas dan saturasi dapat diketahui.

2. Melakukan pengujian terhadap sampel rasa dasar yang lain, agar dapat diketahui respon terbaik dari sensor QCM berbasis membran lipid *Octadecylamine*.
3. Membuat tempat uji untuk sensor QCM model HC49U, agar didapatkan hasil karakterisasi sensor yang akurat dan dapat memperkecil *noise*.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jiid 5*. Jakarta: Pustaka Imam Syafi'i.
- Afniza, 2008. *Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52*. Medan: Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara.
- Agustina, Siti dkk. 2006. *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jakarta: Riset Teknologi Lingkungan Kementerian Perindustrian RI.
- Al-Jazairi, Abu Bakar. 2007. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar*. Jakarta Timur: Darus Sunnah.
- Al-jazuly, Ayu Tsaqifa. 2016. *Pengujian Karakteristik dari 16 Array Sensor Lidah Elektronika untuk Identifikasi Empat Rasa Dasar*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Malang.
- Al-Quran. 2014. *Al-Qur'an Al-Karim dan Terjemahannya*. Surabaya: Halim Publishing & Distributing.
- Amalinda, F., 2016. *Prototipe Sensor Rasa Portable Berbasis Campuran Lipid Dioctyl Phosphate Dan Trioctyl Methyl Ammonium Chloride Dengan Perbandingan Massa 9 : 1*. Palu: Universitas Muhammadiyah Palu.
- Arsyad, M. 2001. *Kamus Kimia Inti dan Penjelasan Ilmiah*. Jakarta: Gramedia.
- Assa'idah. 2012. *Simulasi, Desain dan Pembuatan PCB 2 Tipe Osilator dengan Performa Terbaik*. Palembang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
- As-Sayyid, Abdul Basith. 2006. *Pola Makan Rasulullah*. Jakarta Timur: Almahira.
- Ash-Shiddieqy, Muhammad Hasbi. 2000. *Tafsir Al-Qur'anul Majid An-Nuur*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Az-Zuhaili, Wahbah. 2012. *Tafsir Al-Wasith Jilid 1*. Jakarta: Gema Insani.
- Baroroh, Umi L.U. 2004. *Diktat Kimia Dasar1*. Universitas Lambung Mangkurat: Banjar Baru.
- Bernie, Peter Alfke. 2008. *Applications Engineering*. California: Xilinx.
- Brady, J.E. 2000. *Kimia Universitas Asas dan Struktur*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Casteleiro-Roca, J.L. dkk., 2014. *New approach for the QCM sensors characterization*. Sensors and Actuators, A: Physical, 207,1–9.

- Chagnard, P. Gilbert, dkk. 1996. *An Electronic Oscillator with Automatic Gain Control: EQCM Applications*. Sensors and Actuators B: 32.
- Chindesari, Patria Yudhantya Diaz Ayu. 2011. *Pengaruh Ukuran Butir Kristal Garam Terhadap Fortifikan*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Escuderos, M.E., Sánchez, S. & Jiménez, A., 2011. *Application of a Quartz Crystal Microbalance (QCM) System Coated with Chromatographic Adsorbents for the Detection of Olive Oil Volatile Compounds*. 1–8.
- Farih, M., 2000. *Implementasi Konverter Frekuensi Ke Tegangan Dalam Sistem Identifikasi Aroma Menggunakan Quartz Crystal Microbalance*. , 1–8.
- Fathoni, Imam dkk. 2013. *Studi Penumbuhan Lapisan Tipis PZT dengan Metode Spin Coating*. Universitas Brawijaya: Malang.
- Fraden, J., 2003. *Handbook Of Modern Sensors, Physics, Design and Applications, Third Edition*, San Diego, California: AIP Press.
- Gea, Sahaman, Andriyani. dkk. 2005. *Pembuatan Elektroda Selektif Ion Cu (II) dari Kitosan Polietilen Oksida*. Padang: Universitas Sumatera Utara.
- Gunadarma. 2011. *Larutan*. <http://ocw.gunadarma.ac.id/course/diploma-three-program/study-program-of-computer-engineering-d3/fisika-dasar-2/larutan>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2018, Malang.
- Gupta, V.K. dkk., 2015. *Selective QCM sensor based on atrazine imprinted polymer: Its application to wastewater sample*. Sensors and Actuators B: Chemical, 218, 215–221.
- Guyton AC, Hall JE. 2009. *Text Book of Medical Physcology (Taste and Smell)11th Ed*. Mississippi: Elsevier Book Aid International.
- Hartono dan Yunar Wahyudi. 1999. *Pembuatan Glukosa dari Pati Tapioka secara Hidrolisis Kimiawi*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Hayashi, N. Chen, R. Ikezaki, H. Ujihara, T. 2008. *Evaluation of the Umami Taste Intensity of Green Tea by a Taste Sensor*. J. Agric. Fod Chem. 56 (16), 7384.
- Henderson, John. 1991. *Electronic Devices Concepts and Applications*. Prentice Hall: NJ.
- Hudha, Lalu Sahrul. dkk. 2013. *Rancang Bangun Mini System Spin Coating unuk Pelapisan Sensor QCM (Quartz Crystal microbalance)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Indira, C. 2015. *Pembuatan Indikator Asam Basa Karamunting*. Jurnal Kaunia. XI (I), hal.1-10.

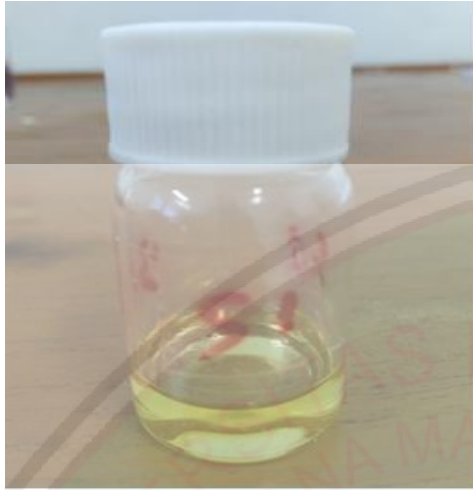
- Irianto, Koes. 2012. *Anatomi dan Fisiologi untuk Mahasiswa*. Bandung: Alfabeta.
- Johannsmann, D. 2015. *Quartz Crystal microbalance in soft matter research, Fundamentals and modeling*, New York: Springer-Verlag, 398.
- Kadidae, La Ode. 2000. *Sintesis Benzileugenol dan Pemanfaatannya Sebagai Komponen Membran Selektif Ion*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- K. Mounika B kiran Babu. 2013. *Sinusoidal and Space Vector Pulse Width Modulation for Inverter*. India: Dept. of EEE, KL University, Vaddeswaram.
- Kobayashi, Y. dkk., 2010. *Advanced Taste Sensors Based on Artificial Lipids with Global Selectivity to Basic Taste Qualities and High Correlation to Sensory Scores.*, 3411–3443.
- Lansida. 2010. *Ekstraksi Bahan Alam*. <http://lansida.blogspot.com>. Diakses pada tanggal 18 Agustus 2018, Malang.
- Maghfira, Erni Tiyas. 2016. *Proses Industri Kimia I, Proses Pembuatan Asam Klorida (HCl)*. Jambi: Fakultas Teknik Universitas Jambi.
- Malvino, 1984. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Mandela, A.P. dkk., 2014. *Data Pada Alat Uji Suspensi.*, 1(1), 1–6.
- Muckley, E.S. dkk. 2016. *Pedot:Pss/Qcm-Based Multimodal Humidity And Pressure Sensor*. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 236, 91–98.
- Mulyadi. 2009. *Sistem Identifikasi Uap Alkohol Menggunakan Deret Sensor Quartz Crystal Microbalance dan Jaringan Saraf Tiruan*. Tarakan: Universitas Borneo.
- Novaetech. 2016. OpenQCM. Retrieved September 20, 2017, from <http://openqcm.com/openQCM/>.
- Oktariawan, I., Sugiyanto, M. & Fema, J. 2013. *Pembuatan Sistem Otomasi Dispenser Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560*. Lampung: Universitas Lampung.
- Othmer, K. 1969. *Encyclopedia of Chemical Technology* 2nd Edition. USA: John Wiley and Sons Inc.
- Park, J dan Mackay S. 2003. *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*. United Kingdom: IDC Technologies.
- Pubchem. 2014. *PubChem Compound*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 4 Januari 2018, Malang.

- Pudjiaji, Ana. 1990. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Qurthubi, Syaikh Imam. 2008. *Tafsir Al Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Riskesdas. 2013. *Riset Kesehatan Dasar*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI.
- Santjojo, D.H. 2010. *Modifikasi Permukaan Sensor Quartz Crystal Microbalance untuk Peningkatan Efektifitas Immobilisasi Antigen-Antibody Immunosensor*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sari, D.Y., 2013. *Pembuatan Lapisan Tipis Tio₂ Dengan Metode Pelapisan Celup Sebagai Fungsi Waktu*. Bandar Lampung: Fakultas MIPA Universitas Lampung.
- Sax dan Lewis. 1987. *Hawley's Condenser Chemical Dictionary*. New York: Van Housted Reinhol.S.
- Sharma, P. dkk. 2014. *Detection Of Linalool In Black Tea Using A Quartz Crystal Microbalance Sensor*. Sensors and Actuators, B: Chemical. Elsevier B.V. 190, pp. 318–325. doi: 10.1016/j.snb.2013.08.088.
- Speller, N.C. dkk., 2017. *QCM virtual sensor array: Vapor identification and molecular weight approximation*. Sensors and Actuators B. 952–960.
- Sukarna, I Made. 2003. *Kimia Dasar I*. FMIPA: Universitas Negeri Yogyakarta
- Susilo, Bambang dkk. 2017. *Teknik Bioenergi*. Malang: UB Press.
- Tazi, I. dkk., 2017. *Detection of Taste Change of Bovine and Goat Milk in Room Ambient Using Electronic Tongue*. , 17(3), 422–430.
- Toko, Kiyoshi dkk. 1998. *Electronic Sensing Tastes*. Electroanalysis Journal Volume 10, issue 10, 657-669.
- Vives, A.A. 2008. *Piezoelectric Transducers and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wibowo, B.S., Tazi, I. & Triyana, K., 2013. *Pengembangan Sistem Sensor Rasa Berbasis Membran Selektif Ion Untuk Klasifikasi Buah Jeruk*. Jurnal Fisika Indonesia, XVII(April). 9–13.
- Wicaksono, Arif. 2015. *Pengaruh Beban Pada Pengukuran Frekuensi Menggunakan Frekuensi Meter Digital Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Yutaka S. 1996. *Steroid saponin from Sansevieria trifasciata*. Phytochemistry Volume 43(6): 1325–1331.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian



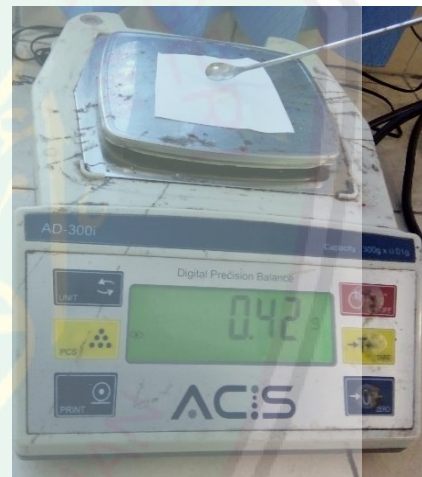
Membran S1 (*Octadecylamine*)



Terahydrofuran (THF)



Bahan Pembuatan Sampel



Proses Preparasi Sampel



Sampel HCl



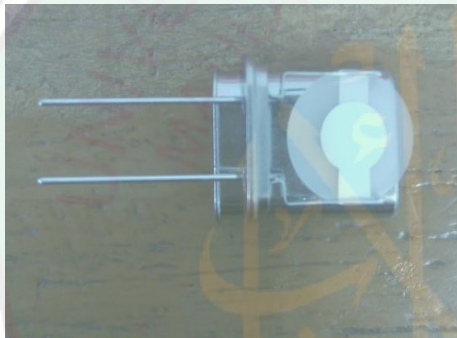
Sampel NaCl



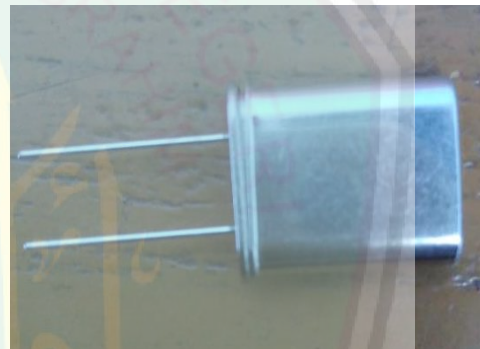
Proses Penetesan membran dengan *Spin coating*



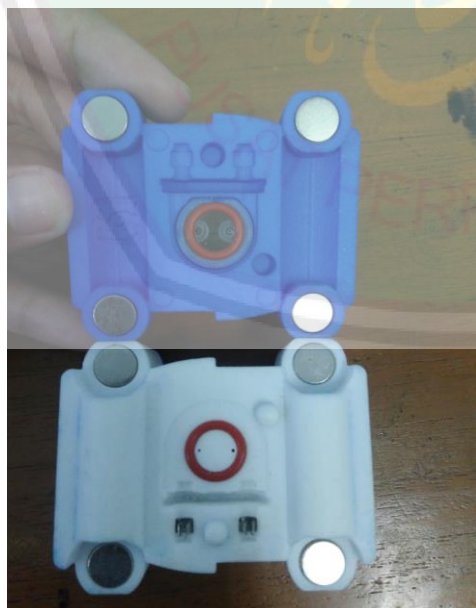
Penetesan Sampel



Sensor QCM



Sensor QCM model HC49U



Tampilan OpenQCM



Persiapan Pengambilan Data



Proses Pengambilan Data



Lampiran 2 Data Hasil Pengujian terhadap Sampel HCl

Sebelum dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>				Sesudah dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>			
Konsentrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata	Konsentrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata
0	1	16000000	15999997,48	0	1	15928670,42	15891108,8
	2	16000000			2	15703056,7	
	3	16000000			3	15939486,21	
	4	16000000			4	15947877,79	
	5	15999987			5	15936452,88	
100	1	15902784	15925801	100	1	15894707,43	15899744,83
	2	15913941			2	15919639,22	
	3	15932352			3	15908482,69	
	4	15940815			4	15889442,7	
	5	15939110			5	15886452,1	
150	1	15819684	15825755	150	1	15910839,58	15783786,1
	2	15817553			2	15895651,27	
	3	15825402			3	15846592,91	
	4	15831078			4	15769177,84	
	5	15835059			5	15496668,92	
200	1	13585306	13520395	200	1	15598826,31	15676799,5
	2	13557816			2	15668357,78	
	3	13514647			3	15693259,61	
	4	13483347			4	15706300,17	
	5	13460857			5	15717253,61	
250	1	12625914	12658431	250	1	15349673,27	15277551,43
	2	12650483			2	15281696,11	
	3	12665089			3	15235806,64	
	4	12673190			4	15243007,06	
	5	12677480			5	15277574,06	
300	1	12391806	12412443	300	1	11877594,15	11940328,65
	2	12405008			2	11899363,15	
	3	12414683			3	11964746,03	
	4	12420735			4	11981639,57	
	5	12429985			5	11978300,35	
350	1	12058521	12051252	350	1	11254951,95	11284623,8
	2	12069674			2	11281179,78	

	3	12084620			3	11293390,73	
	4	12011905			4	11295537,01	
	5	12031539			5	11298059,53	
400	1	11664316	11712202	400	1	10716719,39	10729076,
	2	11701957			2	10722992,29	47
	3	11719361			3	10732908,97	
	4	11731453			4	10735195	
	5	11743923			5	10737566,71	
450	1	11556056	11588768	450	1	10680929,18	10695742,
	2	11584508			2	10691351,78	15
	3	11594100			3	10699564,76	
	4	11601422			4	10702485,36	
	5	11607756			5	10704379,68	
500	1	11351806	11406340	500	1	10569092,17	10592624,
	2	11369208			2	10588805,08	49
	3	11412193			3	10598019,91	
	4	11445226			4	10602127,14	
	5	11453269			5	10605078,17	
550	1	11337066	11362326	550	1	10124836,7	10131174,
	2	11356885			2	10121591,08	16
	3	11368326			3	10125639,75	
	4	11373147			4	10138557,57	
	5	11376207			5	10145245,68	

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian terhadap Sampel NaCl

Sebelum dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>				Sesudah dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>			
Konsentrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata	Konsentrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata
0	1	16000000	15999997, 48	0	1	15928670,42	15891108, 8
	2	16000000			2	15703056,7	
	3	16000000			3	15939486,21	
	4	16000000			4	15947877,79	
	5	15999987			5	15936452,88	
100	1	15885408,56	15881021, 39	100	1	15999999,06	15999998, 26
	2	15875021,9			2	15999997,98	
	3	15880201,67			3	15999997,16	
	4	15880791,06			4	15999997,58	
	5	15883683,79			5	15999999,5	
200	1	15885106,26	15880259, 33	200	1	15839479,2	15850434, 43
	2	15874228,27			2	15845964,46	
	3	15883557,5			3	15853142,51	
	4	15885695,63			4	15857134,55	
	5	15872708,99			5	15856451,42	
300	1	15864856,86	15861875, 74	300	1	15807340,88	15818638, 56
	2	15874491,43			2	15817558,8	
	3	15852490,54			3	15821171,29	
	4	15852450,1			4	15822622,45	
	5	15865089,8			5	15824499,37	
400	1	15850847,33	15875862, 47	400	1	15672824,14	15664838, 37
	2	15890908,76			2	15677555,49	
	3	15887319,54			3	15646389,14	
	4	15877217,9			4	15654959,54	
	5	15873018,82			5	15672463,56	
500	1	15936631,66	15950438, 61	500	1	15497524,23	15494855, 71
	2	15952610,77			2	15500366,06	
	3	15954014,31			3	15512983,1	
	4	15954376,77			4	15476593,05	
	5	15954559,52			5	15486812,09	
600	1	15783807,46	15832881, 28	600	1	15437174,12	15442624, 81
	2	15782103,68			2	15464748,8	
	3	15812877,6			3	15443168,02	

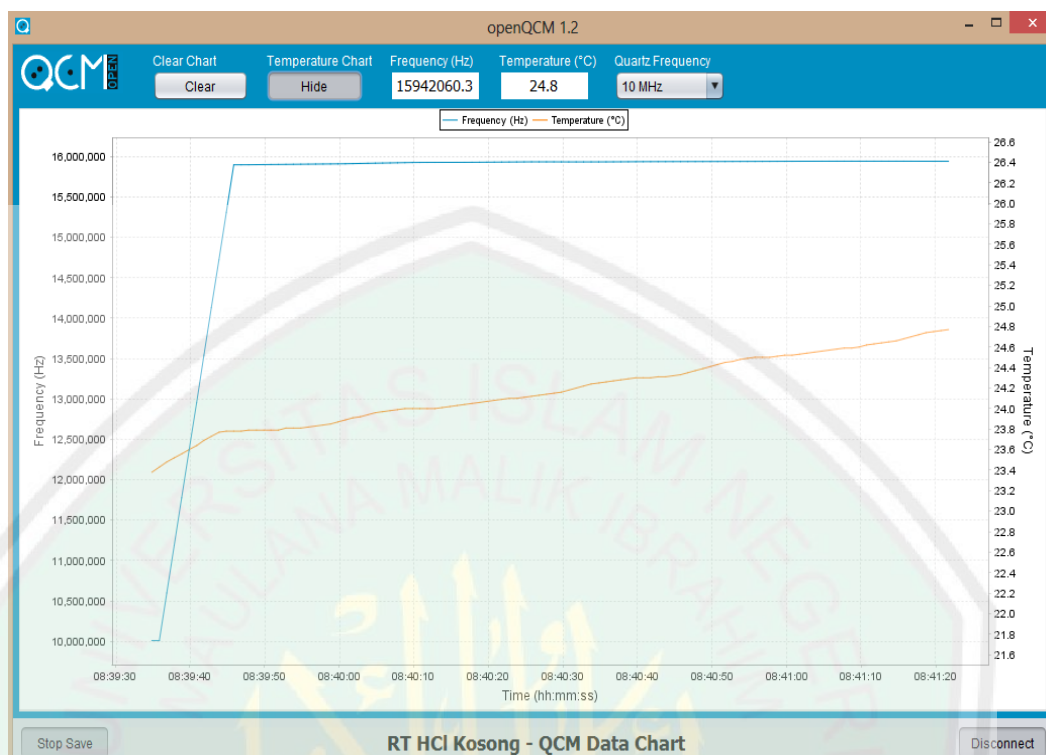
	4	15897674,32			4	15440719,98	
	5	15862600,11			5	15427313,15	
700	1	15953746,33	15951056, 66	700	1	14785138,69	14660475, 32
	2	15955362,82			2	14675954,68	
	3	15950258,6			3	14598705,83	
	4	15948517,84			4	14604481,51	
	5	15947397,71			5	14638095,88	
800	1	12903175,98	12897135, 3	800	1	12097327,12	12115832, 34
	2	12900256,6			2	12116481,18	
	3	12897253,81			3	12124680,74	
	4	12892121,08			4	12124085,27	
	5	12892869,02			5	12116587,39	
900	1	12372912,38	12353796, 75	900	1	11423552,66	11447863, 03
	2	12366045,23			2	11445640,34	
	3	12355349,3			3	11455991,23	
	4	12341378,12			4	11457243,27	
	5	12333298,71			5	11456887,63	
1000	1	12603519,27	12584506, 43	1000	1	11352578,4	11405375, 53
	2	12592532,58			2	11402090,85	
	3	12583299,96			3	11418643,07	
	4	12574558,54			4	11425915,22	
	5	12568621,79			5	11427650,13	
1100	1	12393350,98	12363369, 29	1100	1	11275105,86	11007274, 06
	2	12372496,96			2	11408803,12	
	3	12360551,36			3	10779400,22	
	4	12350385,54			4	10785382,36	
	5	12340061,6			5	10787678,75	
1200	1	12389114,08	12381367, 77	1200	1	10690244,5	10692076, 22
	2	12385239,2			2	10691547,97	
	3	12380354,79			3	10694768,72	
	4	12377386,68			4	10692904,89	
	5	12374744,09			5	10690915,03	
1300	1	12000828,82	12011665, 45	1300	1	10596069,82	10614639, 76
	2	12023817,77			2	10616000,38	
	3	12017121,63			3	10620298,83	
	4	12010908,61			4	10621072,84	
	5	12005650,43			5	10619756,92	

1400	1	11966036,39	11980177, 59	1400	1	10568907,93	10582040, 15
	2	11982655,67			2	10579165,02	
	3	11985570,02			3	10588985,04	
	4	11984385,2			4	10585236,46	
	5	11982240,65			5	10587906,32	
1500	1	11958818,83	11953371, 57	1500	1	10165988,24	10195707, 65
	2	11956582,55			2	10244620,16	
	3	11953181,65			3	10237872,62	
	4	11949018,31			4	10199280,14	
	5	11949256,5			5	10130777,07	
1600	1	11780630,09	11774141, 7	1600	1	10054949,57	10014418, 61
	2	11777188,44			2	10033910,86	
	3	11774572,38			3	10011312,02	
	4	11770922,29			4	9995966,859	
	5	11767395,32			5	9975953,72	
1700	1	11703518,51	11692397, 39	1700	1	9990373,024	9932214,2 73
	2	11696789,78			2	9968953,353	
	3	11692038,62			3	9927678,772	
	4	11686823,18			4	9896623,089	
	5	11682816,89			5	9877443,125	
1800	1	11292473,53	11291703, 41	1800	1	9845736,829	9802570,7 04
	2	11294525,92			2	9819182,513	
	3	11294935,48			3	9796035,083	
	4	11290048,09			4	9784111,062	
	5	11286534,04			5	9767788,033	
1900	1	11360454,95	11354792, 55	1900	1	9780348,114	9743903,2 38
	2	11357135,45			2	9760479,635	
	3	11354070,41			3	9739070,909	
	4	11350103,06			4	9725744,223	
	5	11352198,9			5	9713873,307	
2000	1	10984478,36	10982349, 66	2000	1	9735400,9	9698963,7 14
	2	10984675,72			2	9711775,495	
	3	10982737,47			3	9693771,688	
	4	10981376,55			4	9685746,917	
	5	10978480,21			5	9668123,57	

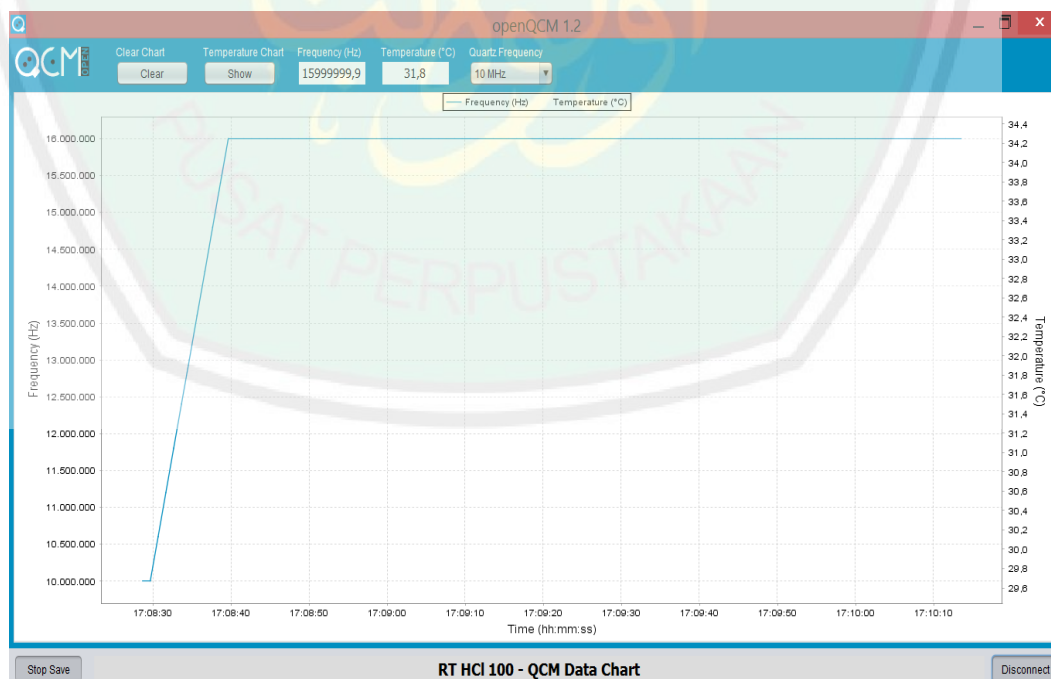
Lampiran 4 Data Respon *Time*

HCl				NaCl			
Sebelum Dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>		Sesudah Dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>		Sebelum Dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>		Sesudah Dilapisi Membran <i>Octadecylamine</i>	
Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	10008897	1	10002870,9	1	10008862	1	10002737,7
2	10008897	2	10002870,9	2	10008863	2	10002737,7
3	10597929	3	10602583,6	3	10604954	3	10602463,8
4	11187092	4	11202296,5	4	11201289	4	11202190
5	11775585	5	11802009,4	5	11797899	5	11801916,2
6	12364315	6	12401722,4	6	12394637	6	12401642,4
7	12534375	7	13001435,3	7	12991619	7	13001368,8
8	12953240	8	13601148,2	8	13588613	8	13601095
9	13791350	9	14200861,1	9	13949291	9	14200821,2
10	13998351	10	14800574,1	10	14111663	10	14800547,4
11	14131133	11	15400287	11	14201289	11	15400274
12	14720118	12	16000000	12	14695889	12	16000000
13	15309266	13	16000000	13	14938553	13	16000000
14	15898651	14	16000000	14	15379397	14	16000000
15	15899147	15	16000000	15	15976333	15	16000000
16	15899535	16	16000000	16	15977284	16	16000000
17	15900717	17	16000000	17	15978073	17	16000000
18	15901679	18	16000000	18	15978553	18	16000000
19	15902518	19	16000000	19	15978955	19	16000000
20	15903229	20	16000000	20	15979148	20	16000000
21	15904023	21	16000000	21	15979365	21	16000000
22	15904918	22	16000000	22	15979677	22	16000000
23	15905925	23	16000000	23	15980092	23	16000000
24	15906802	24	16000000	24	15980496	24	16000000
25	15907623	25	16000000	25	15980860	25	16000000
26	15908499	26	16000000	26	15981132	26	16000000
27	15909273	27	16000000	27	15981393	27	16000000
28	15910169	28	16000000	28	15981695	28	16000000
29	15911526	29	16000000	29	15981983	29	16000000
30	15913370	30	16000000	30	15982214	30	16000000

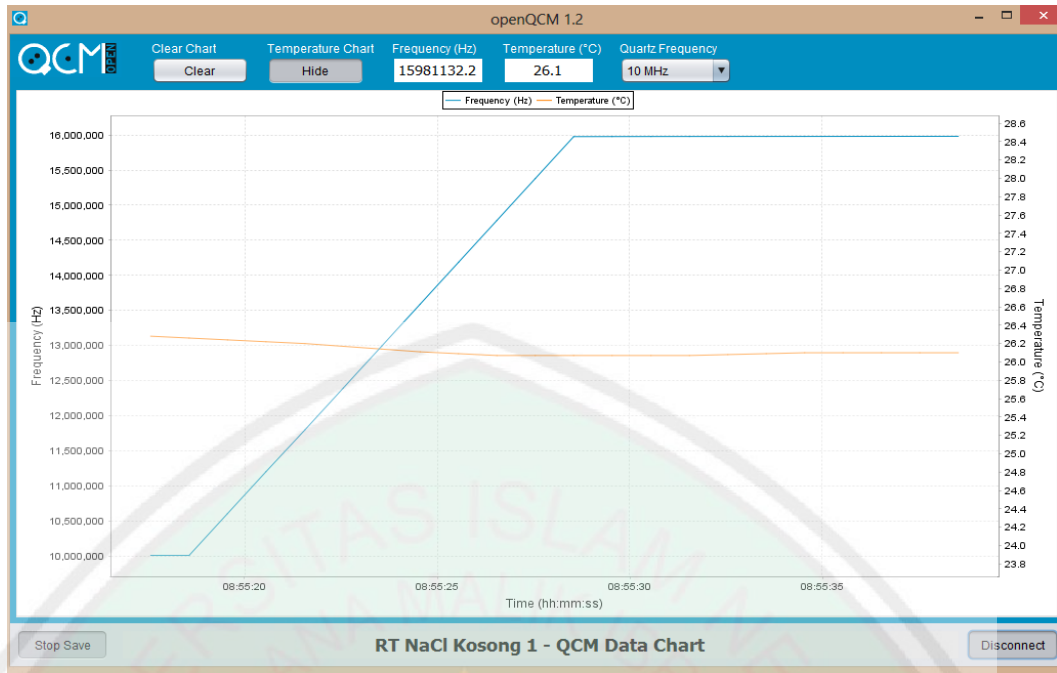
Lampiran 5 Penampang Data pada *Software*



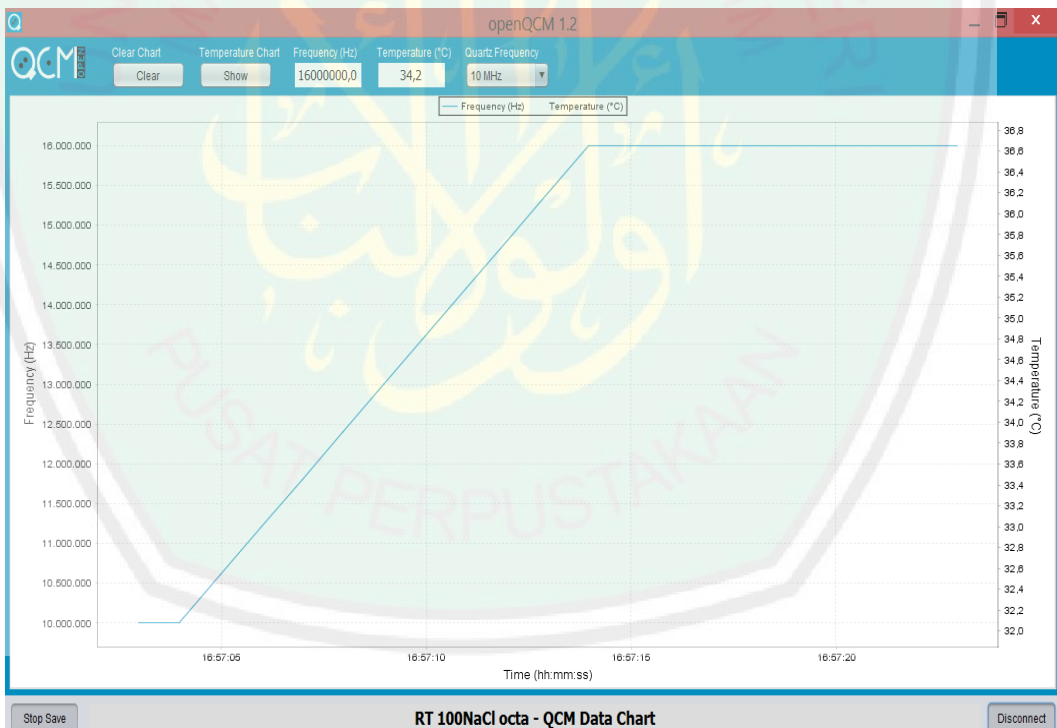
Hasil Data *Respond Time* HCl tanpa Membran



Hasil Data *Respon Time* HCl dengan Membran



Hasil Data Respon *Time* NaCl tanpa Membran



Hasil Data Respon *Time* NaCl dengan Membran

Lampiran 6 Data Hasil Analisis Regresi Linear

1. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran untuk Sampel HCl

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1,35305E7	258238,76592	52,39546	7,94187E-7
	Slope	-4176,43065	595,71535	-7,01078	0,00218

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	6
Degrees of Freedom	4
Residual Sum of Squares	6,21034E10
Pearson's r	-0,96164
R-Square(COD)	0,92474
Adj. R-Square	0,90593

Summary

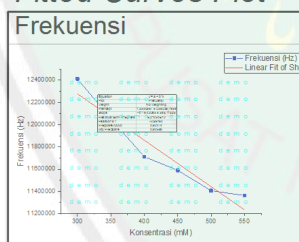
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1,35305E7	258238,76592	-4176,43065	595,71535	0,90593

ANOVA

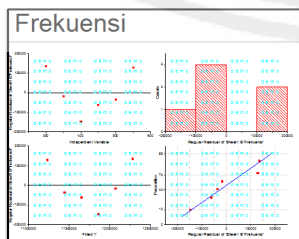
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	7,63113E11	7,63113E11	49,15107	0,00218
	Error	4	6,21034E10	1,55259E10		
	Total	5	8,25216E11			

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

Fitted Curves Plot



Residual Plots



2. Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran untuk Sampel HCl

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1,36047E7	473679,10963	28,72133	8,74645E-6
	Slope	-6374,34554	1092,70161	-5,83356	0,0043

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	6
Degrees of Freedom	4
Residual Sum of Squares	2,08949E11
Pearson's r	-0,94595
R-Square(COD)	0,89482
Adj. R-Square	0,86853

Summary

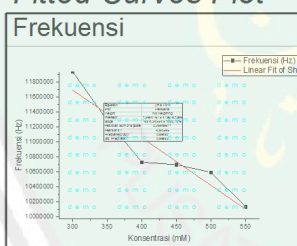
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	
Frekuensi	1,36047E7	473679,10963	-6374,34554	1092,70161	0,86853

ANOVA

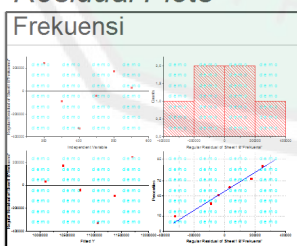
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	1,77766E12	1,77766E12	34,03048	0,0043
	Error	4	2,08949E11	5,22374E10		
	Total	5	1,98661E12			

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

Fitted Curves Plot



Residual Plots



3. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran untuk Sampel NaCl

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1,38893E7	152683,1045	90,9684	0
	Slope	-1370,36311	105,36135	-13,00632	5,0629E-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	13
Degrees of Freedom	11
Residual Sum of Squares	2,22242E11
Pearson's r	-0,96899
R-Square(COD)	0,93894
Adj. R-Square	0,93339

Summary

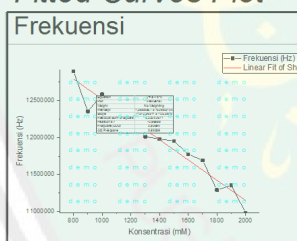
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1,38893E7	152683,1045	-1370,36311	105,36135	0,93339

ANOVA

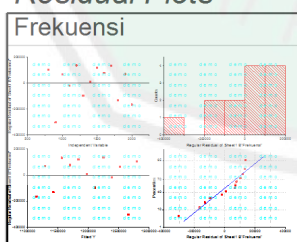
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	3,41777E12	3,41777E12	169,16427	5,0629E-8
	Error	11	2,22242E11	2,02038E10		
	Total	12	3,64001E12			

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

Fitted Curves Plot



Residual Plots



4. Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Membran untuk Sampel NaCl

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1,32065E7	213884,33144	61,746	2,44249E-15
	Slope	-1891,84927	147,59421	-12,81791	5,89009E-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	13
Degrees of Freedom	11
Residual Sum of Squares	4,36117E11
Pearson's r	-0,96812
R-Square(COD)	0,93725
Adj. R-Square	0,93155

Summary

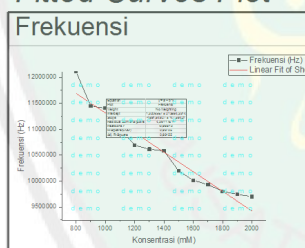
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1,32065E7	213884,33144	-1891,84927	147,59421	0,93155

ANOVA

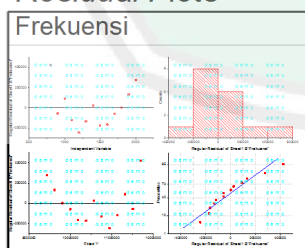
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	6,51395E12	6,51395E12	164,29881	5,89009E-8
	Error	11	4,36117E11	3,9647E10		
	Total	12	6,95007E12			

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

Fitted Curves Plot



Residual Plots





**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Maria Ulfa
NIM : 14640050
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Karakterisasi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid *Octadecylamine* terhadap Respon HCl dan NaCl
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M.Si
Pembimbing II : Erika Rani, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	16 Januari 2018	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	15 Februari 2018	Acc Bab I, II, dan III	
3	3 Mei 2018	Konsultasi Integrasi Agama	
4	6 Agustus 2018	Konsultasi Data dan Bab IV	
5	20 Agustus 2018	Konsultasi Bab IV dan V	
6	30 Agustus 2018	Konsultasi Bab IV, V dan Acc	
7	3 September 2018	Konsultasi Semua Bab dan Abstrak	
8	4 September 2018	Acc Semua Bab dan Abstrak	
9	4 September 2018	Acc Integrasi Agama	

Malang, 4 September 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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