

**KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN
MEMBRAN TRIOCTYLMETHYLAMMONIUM
CHLORIDE (TOMA) PADA ELEKTRODA EMAS
TERHADAP RESPON FORMALIN**

SKRIPSI

**OLEH:
KHOIRUL AINI
NIM. 15640001**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2020**

**KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN
MEMBRAN TRIOCTYLMETHYLAMMONIUM
CHLORIDE (TOMA) PADA ELEKTRODA EMAS
TERHADAP RESPON FORMALIN**

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:

KHOIRUL AINI

NIM. 15640001

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN
MEMBRAN TRIOCTYLMETHYLAMMONIUM
CHLORIDE (TOMA) PADA ELEKTRODA EMAS
TERHADAP RESPON FORMALIN

SKRIPSI

Oleh:

Khoirul Aini
NIM. 15640001

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal: 9 November 2020

Pembimbing I



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

Pembimbing II



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan



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

HALAMAN PENGESAHAN

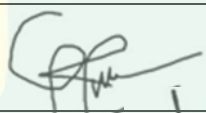
KARAKTERISASI SENSOR QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE (QCM) DENGAN PELAPISAN MEMBRAN TRIOCTYLMETHYLAMMONIUM CHLORIDE (TOMA) PADA ELEKTRODA EMAS TERHADAP RESPON FORMALIN

SKRIPSI

Oleh:

Khoirul Aini
NIM. 15640001

Telah diperiksa dan disahkan
Pada tanggal, 16 Desember 2020

Ketua Penguji :	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Penguji Utama :	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji:	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khoirul Aini

NIM : 15640001

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Trioctylmethyllammonium Chloride (TOMA) Pada Elektroda Emas Terhadap Respon Formalin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumberkutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 9 Desember 2020

Yang Membuat Pernyataan,

METERAI
TEMPEL

57775AHF807456710

6000
ENAM RIBU RUPIAH

Khoirul Aini

NIM. 15640001

MOTTO

Apa yang kita pikirkan menentukan apa yang akan terjadi pada terjadi, jadi jika kita ingin mengubah hidup kita, kita perlu mengembangkan pikiran kita “wayne dyer”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur sedalam-dalamnya penulis mempersembahkan skripsi ini untuk kedua orang tua tercinta

“Bpk Islamet Dan Ibu Warsiah”

Terima kasih atas doa, restu dan dukungan yang tiada henti



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamiin, puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal yang berjudul **“Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Trioctylmethylammonium Chloride (TOMA) Pada Elektroda Emas Terhadap Respon Formalin”** sebagai salah satu syarat memenuhi tugas skripsi di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Tidak lupa pula untaian sholawat dan salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah diutus kebumi sebagai lentera bagi hati manusia, Nabi yang telah menuntun manusia dari jaman yang biadab menuju jaman yang beradab, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal ini. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
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 proposal yang memberikan banyak kesabaran, tenaga, waktu dan ilmu dalam membimbing penulis agar proposal ini tersusun dengan baik dan benar.
5. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan pengajaran.
6. Kedua orangtua, dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
7. Teman-teman fisika angkatan 2015 yang selalu memberikan dukungan serta motivasi.
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan motivasi dalam penulisan skripsi ini. Dalam penyusunan proposal ini, penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan.

Semoga skripsi ini dapat dipertimbangkan untuk menjadi penelitian penulis dalam memenuhi tugas akhir. Amin Ya Rabbal Alamin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Malang, 22 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI	7
2.1 Ikan.....	7
2.2 Formalin	9
2.3 Sensor <i>Quarzt Crystal Microbalance</i> (QCM).....	13
2.4 Osilator.....	20
2.5 <i>Frequency Counter</i>	22
2.6 <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> (TOMA).....	29
2.7 <i>Spin Coating</i>	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.2.1 Alat-alat Penelitian.....	39
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian.....	40
3.3 Diagram Alir Penelitian	41
3.4 Tahap Persiapan	42
3.5 Tahap Pelapisan Sensor QCM	42
3.6 Tahap Pengambilan Data	43
3.6.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar	43
3.6.2 Tahap Pengambilan Data Formalin Dengan Elektroda Emas Murni.....	44
3.6.3 Tahap Pengambilan Data Formalin Setelah Pelapisan Membran	45
3.6.4 Tahap Pengambilan Data Ikan Dengan Elektroda Emas Murni	46
3.6.5 Tahap Pengambilan Data Ikan Setelah Pelapisan Membran.....	47
3.7 Tahap Pengolahan Data.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Data Hasil Percobaan	53
4.1.1 Preparasi Sampel Larutan Formalin.....	53

4.1.2 Preparasi Sampel Larutan Formalin dan Ikan.....	53
4.1.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor <i>Quartz Crystal Microbalance</i> (QCM).....	54
4.2 Data Hasil Pengujian <i>Respond Time</i>	58
4.2.1 Deteksi <i>Respond Time</i> Larutan Formalin.....	58
4.2.2 Deteksi <i>Respond Time</i> Larutan Formalin dan Ikan.....	60
4.3 Data Hasil Pengujian Deteksi Limit.....	64
4.3.1 Deteksi Limit Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni Terhadap Sampel Formalin.....	66
4.3.2 Deteksi Limit Sensor QCM dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Formalin.....	69
4.3.3 Deteksi Limit Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni Terhadap Sampel Larutan Formalin dan Ikan	71
4.3.4 Deteksi Limit Sensor QCM dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Larutan Formalin dan Ikan.....	73
4.4 Pembahasan.....	78
4.5 Kajian Integrasi Islam	80
BAB V PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Formalin	10
Gambar 2.2	Skema QCM Secara Umum	18
Gambar 2.3	Rangkaian <i>Osilator Pierce</i>	21
Gambar 2.4	Kristal SN74LVC1GX04 Driver Osilator.....	22
Gambar 2.5	Driver Osilator Kristal SN74LVC1GX04.....	22
Gambar 2.6	Metode Hybrid untuk Sistem Pengukuran Frekuensi Sensor QCM	26
Gambar 2.7	Desain Sistem Pencacah Frekuensi hybrid yang Diimplementasikan pada CPLD	27
Gambar 2.8	Struktur Kimia <i>Methyltrioctylammonium Chloride</i>	35
Gambar 2.9	Piringan Berputar di <i>Spin Coating</i>	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2	Rencana Analisis <i>Respond Time</i> Sensor	49
Gambar 3.3	Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor	50
Gambar 4.1	Sistem Sensor QCM	52
Gambar 4.2	<i>Respond Time</i> Formalin Dengan Elektroda Emas Murni.....	59
Gambar 4.3	<i>Respond Time</i> Formalin Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> (TOMA)	60
Gambar 4.4	<i>Respond Time</i> Formalin dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni.....	61
Gambar 4.5	<i>Respond Time</i> Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> (TOMA)	62
Gambar 4.6	Data Hasil Pengujian <i>Respond Time</i> Sensor QCM	63
Gambar 4.7	Pengaruh Konsentrasi Larutan Formalin Dengan Elektroda Emas Murni.....	66
Gambar 4.8	Regresi Linear Formalin Menggunakan Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni	67
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi Larutan Formalin Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmerthylammonium Chloride</i> (TOMA).....	69
Gambar 4.10	Regresi Linear Formalin Menggunakan Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> (TOMA)	70
Gambar 4.11	Pengaruh Konsentrasi Formalin dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni.....	71
Gambar 4.12	Regresi Linear Formalin dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni.....	72
Gambar 4.13	Pengaruh Konsentrasi Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> (TOMA)	73
Gambar 4.14	Regresi Linear Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethyllumioium Chloride</i> (TOMA)	74

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Alat-Alat Penelitian.....	39
Tabel 3.2	Bahan-Bahan Penelitian.....	40
Tabel 3.3	Rencana Pengambilan Data Frekuensi Kontrol	44
Tabel 3.4	Rencana Sampel Formalin Dengan Elektroda Emas Murni	45
Tabel 3.5	Rencana Pengambilan Sampel Formalin Setelah Pelapisan Membran.....	46
Tabel 3.6	Rencana Pengambilan Sampel Formalin dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni	47
Tabel 3.7	Rencana Pengambilan Sampel Formalin dan Ikan Setelah Pelapisan Membran	48
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM.....	55
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Sampel Larutan Formalin	56
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Sampel Larutan Formalin dan Ikan	57
Tabel 4.4	Rincian Data Hasil Pengujian <i>Respond Time</i>	62
Tabel 4.5	Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni dengan Sampel Larutan Formalin	68
Tabel 4.6	Analisis Regresi Linear Sensor QCM dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> dengan Sampel Larutan Formalin.....	70
Tabel 4.7	Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni dengan Sampel Larutan Formalin dan Ikan	73
Tabel 4.8	Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran <i>Trioctylmethylammonium Chloride</i> dengan Sampel Larutan Formalin dan Ikan.....	75
Tabel 4.9	Data Hasil Analisa Deteksi Limit Sensor QCM	75
Tabel 4.10	Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan
- Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan Sampel Formalin
- Lampiran 3 Data Hasil Penelitian
- Lampiran 4 Data Hasil *Respond Time*
- Lampiran 5 Analisis Regresi Linear Deteksi Limit
- Lampiran 6 Analisis Regresi Linear *Repond Time*
- Lampiran 7 Bukti Konsultasi Skripsi



ABSTRAK

Aini, Khoirul. 2020. **Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Trioctylmethylammonium Chloride (TOMA) Pada Elektroda Emas Terhadap Respon Formalin.** Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Kata Kunci: Sensor QCM, Ikan, Formalin, TOMA, *Respond Time*, Deteksi Limit, Sensitivitas

Sensor Quartz Cristal Microbalance (QCM) merupakan perangkat elektronika yang memanfaatkan efek piezoelektrik. Sensor QCM memanfaatkan perubahan massa yang kemudian diolah menjadi keluaran berupa frekuensi. Pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui *respond time*, deteksi limit, dan sensitivitas. Sensor QCM yang digunakan kali ini adalah sensor QCM dengan elektroda emas murni dan juga yang telah dilapisi dengan membran TOMA. Variasi sampel yang digunakan dari 100 mM-750 mM, dengan interval 50 mM. Metode yang digunakan untuk menganalisis data kali ini adalah dengan metode analisis regresi linear. Hasil *respond time* sensor QCM baik dengan elektroda emas murni maupun pelapisan membran TOMA memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 9 s. Deteksi limit sensor QCM dengan elektroda emas dapat bekerja pada konsentrasi yang rendah dibandingkan dengan pelapisan membran TOMA yaitu 150 mM dan 40 mM. sensor QCM dengan pelapisan membran TOMA lebih sensitiv dengan sampel campuran larutan dengan formalin dengan nilai sensitivitas 23108 Hz/mM lebih besar dibandingkan dengan sampel larutan formalin dengan nilai sensitivitas 815 Hz/mM. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa sensor QCM dengan pelapisan membran TOMA lebih selektif terhadap sampel campuran formalin dan ikan dari pada sampel larutan formalin.

ABSTRACT

Aini, Khoirul. 2020. **Characterization of Quartz Crystal Microbalance (QCM) Sensor With Trioctylmethylammonium Chloride (TOMA) Membrane Coating on Gold Electrodes Against Formalin Response.** Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

Keywords: QCM sensor, Fish, Formalin, TOMA, Respond Time, Detection Limit, Sensitivity

Quartz Cristal Microbalance (QCM) sensor is an electronic device that utilizes the piezoelectric effect. The QCM sensor utilizes mass changes which are then processed into output in the form of frequency. This research aims to determine the respond time, limit detection, and sensitivity. The QCM sensor used this time is a QCM sensor with pure gold electrodes and also one that has been coated with a TOMA membrane. The sample variation used was from 100 mM-750 mM, with intervals of 50 mM. The method used to analyze the data this time is linear regression analysis method. The results of the QCM respond time sensor both with pure gold electrodes and TOMA membrane coating have the same value, which is 9 s. The detection limit of the QCM sensor with gold electrodes can work at lower concentrations compared to the TOMA membrane coating, namely 150 mM and 40 mM. The QCM sensor with TOMA membrane coating was more sensitive to samples of mixed solutions with formalin with a sensitivity value of 23108 Hz / mM greater than the sample of formalin solution with a sensitivity value of 815 Hz / mM. From these data, it can be seen that the QCM sensor with TOMA membrane coating is more selective for mixed formalin and fish samples than for formalin solution samples.

نبذة مختصرة

مع طلاء غشاء ثلاثي (QCM) توصيف مستشعر التوازن الدقيق للكوارتز البلوري. عيني ، خوارول. 2020 أطروحة. قسم الفيزياء ، . على أقطاب الذهب ضد استجابة الفورمالين (TOMA) أوكتيل ميثيل أمونيوم كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الدولة الإسلامية ، مالانج. المستشار (الأول) د. الإمام التازي ، م. (الثاني) د. عبد الباسيد ، م

، سمك ، فورمالين ، توما ، وقت الاستجابة ، كشف الحدود ، الحساسية QCM مستشعر :الكلمات المفتاحية

هو جهاز إلكتروني يستخدم التأثير الكهروضغطي. يستخدم Cristal Microbalance (QCM) مستشعر الكوارتز تغييرات الكتلة التي يتم معالجتها بعد ذلك إلى خرج على شكل تردد. يهدف هذا البحث إلى تحديد QCM مستشعر QCM المستخدم هذه المرة عبارة عن مستشعر QCM وقت الاستجابة ، والحد من الاكتشاف ، والحساسية. مستشعر كان اختلاف العينة المستخدم من 100 ملي مولار إلى TOMA. بأقطاب من الذهب الخالص وأيضًا تم تغطيته بغشاء 750 ملي مولار ، بفواصل زمنية 50 ملي مولار. الطريقة المستخدمة لتحليل البيانات هذه المرة هي طريقة تحليل لها TOMA لكل من أقطاب الذهب الخالص وطلاء غشاء QCM الانحدار الخطي. نتائج مستشعر وقت الاستجابة مع الأقطاب الكهربائية الذهبية بتركيزات أقل QCM نفس القيمة ، وهي 9 ثوانٍ. يمكن أن يعمل حد الكشف لمستشعر أكثر TOMA مع طلاء غشاء QCM ، وهي 150 ملم و 40 ملم. كان مستشعر TOMA مقارنة بطبقة غشاء حساسية لعينات المحاليل المختلطة مع الفورمالين بقيمة حساسية تبلغ 23108 هرتز / ملي مولار أكبر من عينة مع QCM محلول الفورمالين بقيمة حساسية 815 هرتز / ملي مولار. من هذه البيانات ، يمكن ملاحظة أن مستشعر TOMA طلاء غشاء



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk ke dalam negara maritim, ini dibuktikan dengan banyaknya pulau yang terdapat di Indonesia. Bahkan jika dibandingkan dengan daratan, Indonesia memiliki lebih banyak lautan daripada daratan. Dengan luasnya lautan yang dimiliki Indonesia ini, maka tidak heran jika Indonesia memiliki hasil laut yang melimpah. Hal ini seperti yang terdapat dalam surah An-Nahl ayat 14 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُوا مِنْهُ حَبْلًا حَلِيَّةً تَلْبَسُونََهَا وَتَرَى الْفُلُكَ مَوَاجِرَ فِيهِ يَتَبَنَّعُوا مِنْ
فَضْلِهِ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ {14}

“Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur”

Dari ayat tersebut dapat diketahui, bahwa Allah Swt telah menundukkan lautan agar manusia itu dapat mengarungi lautan dan juga bisa memakan daging segar (ikan) yang ada di lautan. Dari ayat tersebut juga dapat diketahui bahwa manusia telah diperintahkan oleh Allah Swt untuk mengkonsumsi ikan. Dan juga dapat diketahui bagaimana pentingnya mengkonsumsi ikan bagi kesehatan. Karena di dalam ikan mempunyai sumber protein yang dibutuhkan oleh tubuh.

Salah satu hasil yang melimpah ini yaitu ikan. Ikan merupakan salah satu bahan pangan yang mempunyai sumber protein hewani untuk memenuhi kebutuhan protein di dalam tubuh. Namun, ikan merupakan salah satu bahan yang mudah membusuk, ini dikarenakan pada ikan terdapat bakteri, khamir maupun jamur. Selain itu, kadar air yang terdapat pada ikan cukup banyak sekitar 60-84%,

sehingga ini menjadi media yang cocok untuk pertumbuhan bakteri (Afrianto dan Evi, 2011).

Ikan merupakan salah satu bahan pangan sangat mudah membusuk. Sehingga saat ini salah satu cara yang alami untuk menghambat pembusukan ikan yaitu dengan mengubur ikan di dalam es. Kegiatan ini dilakukan karena dari proses penangkapan ikan hingga sampai ke konsumen membutuhkan waktu yang tidak sebentar. Sehingga pedagang harus memutar otak bagaimana cara agar ikan tersebut sampai ke konsumen masih dalam keadaan segar.

Akhir-akhir ini banyak pedagang yang tidak bertanggung jawab yang mencampurkan formalin pada ikan. Ini dimaksudkan agar ikan tersebut bisa bertahan lama dan tidak busuk ketika sampai ke konsumen. Formalin merupakan salah satu bahan kimia yang berbahaya bagi tubuh manusia. Apabila formalin sampai tertelan maka akan menyebabkan rasa terbakar pada mulut dan kerongkongan, dan juga apabila terhirup dalam jangka waktu yang lama maka bisa menyebabkan kanker hidung (BPOM RI, 2008).

Penggunaan sampel formalin kali ini di dukung dengan hasil dari penelitian sebelumnya yang berjudul uji kandungan formalin pada ikan asin dengan menggunakan bantuan FMR (*Formalin Main Reagent*). Pada penelitian tersebut penguji melakukan penelitian tentang kandungan formalin pada ikan asin yang dijual secara bebas di pasar-pasar tradisional. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa dari 4 sampel ikan asin yang dibeli di beberapa pasar tradisional di Malang, ternyata 3 sampel merupakan ikan yang tidak layak konsumsi karna ada kandungan formalin yang melebihi ambang batas (Singgih, 2013).

Penelitian lain tentang kandungan formalin pada ikan juga diteliti oleh Sitiopan (2012) dalam jurnalnya yang berjudul “Studi Identifikasi Kandungan Formalin pada Ikan Pindang di Pasar Tradisional dan Modern Kota Semarang”, dimana pada jurnal tersebut peneliti melakukan penelitian tentang kandungan formalin di dalam ikan bandeng dilakukan secara kualitatif dan hasilnya ditunggu selama 15 menit. Apabila warnanya violet berarti positif mengandung formalin.

Untuk mendeteksi kandungan formalin atau bahan-bahan kimia berbahaya yang terdapat pada ikan, tidak memungkinkan jika mengkonsumsinya dengan cara di coba menggunakan lidah. Karena, bahan-bahan kimia tersebut sangat berbahaya jika sampai masuk kedalam tubuh manusia. Namun, sekarang sudah banyak alat yang bisa mendeteksi kandungan bahan-bahan kimia berbahaya yaitu bisa dengan menggunakan sensor. Salah satu sensor yang bisa mendeteksi kandungan bahan-bahan kimia yaitu FMR, spektrofotometer, dan sensor QCM. Sensor QCM merupakan salah satu sensor yang memiliki sensitivitas terhadap perubahan massa. Cara kerja sensor QCM ini adalah dengan menggunakan efek piezoelektrik untuk mengukur pergeseran frekuensi dan juga sensor QCM ini dapat mendeteksi massa yang ukurannya sampai ke nano (Irawati dkk, 2013).

Penelitian lain tentang sensor QCM dilakukan oleh Mulyadi dan Arisanti (2012) pada jurnalnya yang berjudul “Sistem Penciuman Elektronik untuk Pendeteksian Uap Formalin pada Produk Perikanan”, dimana pada jurnal tersebut peneliti menggunakan hidung elektronik (*e-nose*) yang menggunakan sensor gas berbasis QCM. Respon sensor mengalami perubahan saat material polimer terpapar uap-uap senyawa yang menempel pada membran sensitif tersebut.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Rouhillah dkk (2015) pada jurnalnya yang berjudul “Karakterisasi Frekuensi Harmonisa Sensor *Quartz Crystal Microbalance* sebagai Identifikasi Gas”, dimana pada jurnal tersebut peneliti melakukan membuat rangkaian osilator frekuensi harmonisa $3f_0$ yang mana dengan rangkaian tersebut dapat dihasilkan sensitivitas dan selektivitas yang lebih baik dalam mendeteksi gas.

Berdasarkan dari pemaparan latar belakang penelitian di atas maka dapat dilakukan penelitian untuk mengetahui ikan yang mengandung formalin dengan menggunakan sensor QCM. Dimana pada sensor QCM ini nanti akan dilapisi dengan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana *respond time* dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin?
2. Bagaimana deteksi limit dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Dapat mengetahui *respond time* dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin
2. Dapat mengetahui deteksi limit dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin
3. Dapat menentukan sensitivitas dari sensor QCM berbasis membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) untuk mendeteksi kandungan formalin

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel yang diuji hanya ikan dengan kandungan formalin dan respon sensor terhadap formalin
2. Sampel yang digunakan berfasa cair
3. Penelitian ini tidak membahas analisis karakteristik membran terlalu dalam, hanya sebatas pengaruhnya terhadap sensor
4. Rangkaian prosesor dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produksi pabrik yang sudah terkalibrasi
5. Pelapisan membran lipid menggunakan teknik *spin coating* dan teknik *spin coating* tidak dibahas secara mendalam

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui karakteristik dari sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) yang dapat mengidentifikasi kandungan formalin.



BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Ikan

Ikan merupakan salah satu sumber bahan pangan hewani yang mempunyai kelebihan antara lain memiliki kandungan asam amino esensial yang lengkap, kandungan asam-asam lemak tidak jenuh yang sangat dibutuhkan, kandungan vitamin dan mineral yang cukup serta daya cernanya yang tinggi. Kualitas produk hasil perikanan identik dengan kesegaran. Mutu ikan dapat dipertahankan apabila ditangani dengan hati-hati, bersih dan disimpan pada ruangan dingin dan cepat. Proses perubahan fisik, kimia, dan organoleptik berlangsung dengan cepat setelah ikan mati. Urutan proses perubahan yang terjadi pada ikan setelah mati meliputi *pre rigor mortis*, *rigor mortis*, dan *post rigor mortis*. Banyak faktor yang menentukan kecepatan penurunan kesegaran ikan, diantaranya penyimpanan suhu rendah. Penggunaan suhu rendah 0°C setelah ikan mati dapat memperpanjang masa *rigor mortis*, menurunkan kegiatan enzimatis, bakterial, kimiawi dan perubahan fisik ikan (Suwetja, 1990).

Ikan merupakan bahan pangan yang sangat mudah mengalami kerusakan. Berbagai jenis bakteri dapat menguraikan komponen gizi ikan menjadi senyawa-senyawa berbau busuk dan anyir. Berbagai bakteri patogen (penyebab penyakit), seperti *salmonella*, *vibrio* dan *clostridium* sering mencemari produk perikanan. Beberapa faktor penyebab kerusakan ikan yaitu kadar air yang cukup tinggi yang menyebabkan mikroorganisme mudah tumbuh dan berkembang biak. Secara alami, ikan mengandung enzim yang dapat menguraikan protein menjadi *putresin*, *iobutilamin*, *kadaverin* dll, yang menyebabkan timbulnya bau tidak

sedap. Lemak ikan mengandung asam lemak tidak jenuh ganda yang sangat mudah mengalami proses oksidasi atau hidrolisis yang menghasilkan bau tengik. Ikan mempunyai susunan jaringan sel yang lebih longgar, sehingga mikroba dapat dengan mudah menggunakannya sebagai media pertumbuhan (Ilyas, 1983).

Ikan mempunyai kelebihan sebagai sumber protein dibandingkan sumber protein hewan lainnya. Protein pada ikan sangat baik untuk mendukung kesehatan karena asam amino pada ikan mirip dengan asam amino yang terdapat pada tubuh manusia. Selain itu, ikan merupakan salah satu sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi masyarakat, mudah didapat, dan harganya murah dibandingkan dengan sumber protein dari hewan lainnya (Marpaung, 2015).

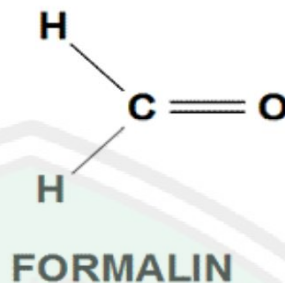
Menurut Soccol dan Oetter (2003) ikan kaya akan gizi utamanya protein, mineral dan lemak, serta penghasil terbesar asam lemak ω -3 (PUFA) khususnya, *eicosapentaenoic (EPA)* dan *docosahexaenoic (DHA)*, yang bermanfaat bagi kesehatan. Sedangkan menurut Larsen (2011) mengkonsumsi *seafood* dapat mencegah timbulnya berbagai penyakit. Selain itu dapat diketahui bahwa makanan dari laut membawa nutrisi yang bermanfaat bagi kesehatan. Saat ini, beberapa senyawa fungsional dari ikan telah banyak dimanfaatkan dalam pangan fungsional antara lain ω -3 (PUFA), Ca dari tulang ikan, karotenoid, dan vitamin D.

2.2 Formalin

Formaldehid merupakan senyawa kimia berbentuk gas atau larutan dan kedalamnya ditambahkan metanol 10-15 % untuk mencegah polimerasi. Dalam perdagangan, tersedia larutan formaldehid 37 % dalam air yang dikenal sebagai formalin. Larutan ini mempunyai sifat tidak berwarna atau hampir tidak berwarna seperti air, sedikit asam, baunya sangat menusuk dan korosif, terurai jika dipanaskan dan melepaskan asam formit. Formaldehid merupakan reduktor yang kuat yang bereaksi kuat dengan bahan pengoksidasi dan berbagai senyawa organik. Bereaksi dengan asam klorida menghasilkan senyawa bisklorometil eter (BCME) yang sangat beracun. Formalin memiliki titik didih 101°C , pH 2,8-4,0, densitas 1,067 (udara=1) $\text{pK}_a = 13,27$ pada suhu 25°C , titik nyala 85 (kelas IIA), titik beku -117°C , tekanan uap $3,890 \text{ mmHg}$ pada suhu 25°C , larut dalam alkohol eter, aseton dan benzena (BPOM RI, 2008).

Menurut Kepala Pusat Penelitian Kimia LIPI, Dr. Leonardus Broto Kardono, formalin pada mulanya berbentuk padat dengan sebutan formaldehida atau istilah asingnya ditulis *formaldehyde*. Zat yang sebetulnya banyak memiliki nama lain berdasarkan senyawa campurannya ini memiliki senyawa CH_2OH yang reaktif dan mudah mengikat air. Bila zat ini sudah bercampur dengan air dia disebut formalin yang memiliki rumus kimia CH_2O . Gambar 2.1 menunjukkan struktur formalin. Bahan formalin yang banyak ditemukan di pasar umumnya mempunyai konsentrasi 37%-40%. Formalin mempunyai fungsi sebagai antibacterial agent dapat memperlambat aktivitas bakteri dalam makanan yang mengandung banyak protein, maka formalin bereaksi dengan protein dalam makanan dan membuat makanan menjadi awet. Tapi ketika masuk kedalam

tubuh manusia, maka ia bersifat mutagenik dan karsiogenik yang dapat memicu tumbuhnya sel kanker dan cacatnya gen pada tubuh (Mahdi, 2008).



Gambar 2.1 Struktur Formalin (Fluka, 2001)

Menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*), lembaga khusus dari tiga organisasi di PBB, yaitu ILO, UNEP, serta WHO, yang mengkhususkan pada keselamatan penggunaan bahan kimiawi, secara umum disebutkan bahwa batas toleransi *formaldehyde* yang dapat diterima tubuh dalam bentuk air minum adalah 0,1 mg/liter (1 ppm setara 1 mg/liter) atau dalam satu hari asupan yang dibolehkan adalah 0.2 mg. Sementara formalin yang boleh masuk ke tubuh dalam bentuk makanan untuk orang dewasa adalah 1,5 mg hingga 14 mg per hari. *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) menyatakan formaldehid berbahaya bagi kesehatan pada kadar 20 ppm. Sedangkan dalam *Material Safety Data Sheet* (MSDS), formaldehid dicurigai bersifat kanker (Fluka, 2001) .

Berat Molekul Formalin adalah 30,03 dengan Rumus Molekul HCOH. Karena kecilnya molekul ini memudahkan absorpsi dan distribusinya ke dalam sel tubuh. Gugus karbonil yang dimilikinya sangat aktif, dapat bereaksi dengan

gugus $-NH_2$ dari protein yang ada pada tubuh membentuk senyawa yang mengendap (Harmita, 2010).

Formalin (formaldehid) adalah salah satu zat yang dilarang berada dalam bahan makanan. Pengawet ini memiliki unsur aldehid yang bersifat mudah bereaksi dengan protein, karena ketika disiramkan ke makanan formalin akan mengikat unsur protein (protein menjadi mati atau tidak berfungsi) mulai dari bagian permukaan hingga meresap kebagian dalamnya. Kemudian protein yang telah mati tidak akan diserang bakteri pembusuk yang menghasilkan senyawa asam, itulah sebabnya makanan menjadi lebih awet (Mirna, 2016)

Berdasarkan peraturan menteri kesehatan (Menkes) Nomor 1168/Menkes/PER/X/1999, dapat diketahui bahwa formalin adalah zat kimia yang dilarang penggunaannya untuk dicampurkan kedalam olahan makanan. Formalin atau yang juga sering dikenal dengan larutan formaldehid dengan kandungan air sebanyak 30-40%. Larutan formaldehid dapat diperoleh dengan kadar 40%, 30%, 20%, dan 10%. Dan dalam bentuk tablet diperoleh dengan berat 5 gr. Formalin dan larutan formaldehid digunakan untuk membunuh bakteri dan digunakan untuk mengawetkan bangkai, dll (Norliana, 2009).

Bahan Tambahan Makanan (BTM) yang belakangan ini digunakan adalah BTM yang dapat membahayakan kesehatan manusia seperti formalin. Formalin diketahui berbahaya untuk tubuh manusia karena telah diketahui sebagai zat beracun, karsinogen, mutagen yang menyebabkan perubahan sel dan jaringan tubuh, korosif dan iritatif. Uap formalin sendiri sangat berbahaya jika terhirup oleh saluran pernafasan dan iritatif jika tertelan. Disamping itu formalin juga dapat merusak persarafan tubuh manusia dan dikenal sebagai

zat yang bersifat racun untuk persyarafan (neurotoksik) dan dapat mengganggu organ reproduksi seperti kerusakan testis dan ovarium, gangguan menstruasi, infertilitas sekunder. Di masyarakat formalin digunakan secara luas sebagai obat antiparasit dan sangat efektif untuk membunuh berbagai macam parasit dan bakteri yang menempel pada ikan hias. Formalin sering ditemukan pada makanan sehari-hari yang dikonsumsi seperti mi basah, ikan asin, tahu dan lain-lain. Bahan Tambahan Makanan lainnya yang juga sering digunakan adalah boraks dengan nama kimianya sodium tetraborat dekahidrat. Senyawa tersebut sedikit larut dalam air dingin dan sangat larut dalam air panas. Boraks bersifat toksik untuk semua sel dan jaringan termasuk ginjal. Dapat menimbulkan radang pada saluran pencernaan, degenerasi/pengecilan hati, pembengkakan pada otak (I.Kadir, 2013).

Formalin dikenal luas sebagai pembunuh hama (*disinfectant*) dan pengawet spesimen dan banyak digunakan dalam industri termasuk industri *plywood* sebagai perekat. Sejuah ini pemanfaatannya tidak dilarang namun setiap pekerja yang terlibat dalam pengangkutan dan pengolahan bahan ini harus ekstra hati-hati mengingat resiko yang berkaitan dengan bahan ini cukup besar. Formalin 2-8% digunakan sebagai germisida (BPOM RI, 2008).

Penggunaan formalin yang salah (*missue*) kerap kali dilakukan dalam mengawetkan pangan walaupun senyawa ini sesungguhnya dilarang (mengingat bahayanya) untuk digunakan sebagai pengawet pangan. Praktek yang salah semacam ini dilakukan oleh produsen pangan yang tidak bertanggung jawab. Beberapa contoh produk pangan yang sering mengandung formalin meliputi ikan

asin, ikan segar, ayam potong, mie basah dan tahu yang beredar di pasaran. (BPOM RI, 2008).

2.3 Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM)

Secara umum sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal *elektrik* baik arus listrik ataupun tegangan. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal *elektrik* meliputi *temperature*, tekanan, gaya, medan magnet, cahaya, pergerakan dan sebagainya. Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya. Karakteristik sensor suhu ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi setiap perubahan suhu yang ingin dideteksinya. Kemampuan mendeteksi perubahan suhu meliputi (H.Jie, 2006):

1. Sensitivitas, yaitu ukuran seberapa sensitif sensor terhadap suhu yang dideteksinya. Sensor yang baik akan mampu mendeteksi perubahan suhu meskipun kenaikan suhu tersebut sangat sedikit. Sebagai gambaran sebuah inkubator bayi yang dilengkapi dengan sensor yang memiliki sensitivitas yang tinggi.
2. Waktu respon dan waktu *recovery*, yaitu waktu yang dibutuhkan sensor untuk memberikan respon terhadap suhu yang dideteksinya. Semakin cepat waktu respon dan waktu *recovery* maka semakin baik sensor tersebut.

3. Stabilitas dan daya tahan, yaitu sejauh mana sensor dapat secara konsisten memberikan besar sensitifitas yang sama terhadap suhu , serta seberapa lama sensor tersebut dapat terus digunakan.

Menurut W. M. Albers (1999) *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensi resonansinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Kemudian menurut Pergeseran frekuensi tersebut sebanding dengan penambahan massa pada permukaannya selama massa tersebut secara kuat menempel dengan tidak terdapat deformasi dari pergerakan osilasi kristal. Menurut H. Jie (2006) QCM memiliki sensitivitas yang tinggi hingga mampu mendeteksi perubahan massa dalam orde mikrogram hingga nanogram. Hal tersebut menyebabkan penelitian mengenai sensor QCM dalam berbagai aplikasi semakin pesat terutama dalam aplikasinya sebagai biosensor. Hal itu juga diikuti dengan berkembangnya metode yang digunakan dalam sistem pengukuran yang melibatkan sensor QCM seperti metode yang berbasiskan perubahan frekuensi, perubahan nilai impedansi (resistansi maupun reaktansi), perubahan arus, perubahan phase, dan perubahan nilai kualitas. Metode yang berbasiskan perubahan frekuensi merupakan metode dasar yang paling mudah diaplikasikan dalam berbagai aplikasi baik dari segi sistem pengukuran maupun analisis hasil pengukuran.

Metode penelitian sensor piezoelektrik dapat dibagi menjadi dua jenis: aktif dan pasif. Metode aktif juga disebut metode osilasi, yang artinya sensor perlu dihubungkan ke rangkaian penguat osilator sebagai bagian untuk menyediakan kritik yang baik. Kristal piezoelektrik akan bergetar pada

frekuensinya sendiri dapat diukur dengan penghitung frekuensi. Namun, dalam metode pasif, kristal piezoelektrik perlu dihubungkan untuk mengukur port instrumen sebagai eksternal komponen, seperti penganalisa impedansi atau penganalisis spektrum, yang merangsang gelombang sinus frekuensi yang berbeda pada dua sisi kristal piezoelektrik dan mencatat output sinyal dari kristal. Dengan membandingkan sinyal input dan output, bisa diperoleh beberapa parameter kristal seperti impedansi, masuk, fase dan sebagainya. Jika dipadukan listrik karakteristik rangkaian ekivalen kristal piezoelektrik dan karakteristik sirkuit eksperimental lingkungan, dapat memperoleh informasi yang relevan dengan menganalisis perubahan parameter kristal sebelum dan sesudah reaksi. Dengan demikian, metode osilasi memiliki beberapa keunggulan, seperti struktur sederhana, pengoperasian mudah, dan pembentukan instrumen fungsional kecil. Tetapi hanya memberikan sifat terbatas kristal piezoelektrik dalam lingkungan reaksi. Sebaliknya, metode pasif dapat memberikan banyak parameter listrik dan juga memperoleh informasi semua sisi dan multi-dimensi dari kristal piezoelektrik. Karena itu, instrumen untuk metode pasif rumit dan mahal, dan metode aktif telah diadopsi ke dalam aplikasi biosensor piezoelektrik (Wei, 2016)

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sebuah resonator kristal kuarsa yang perubahan frekuensi resonansinya dipengaruhi oleh absorpsi materi pada permukaan elektrodanya. Pergeseran frekuensi tersebut sebanding dengan penambahan massa pada permukaannya selama massa tersebut secara kuat menempel dan tidak terdapat deformasi dari pergerakan osilasi kristal. Selain itu, QCM memiliki sensitivitas yang tinggi hingga

mampu mendeteksi perubahan massa dalam orde mikrogram hingga nanogram. Hal tersebut menyebabkan penelitian mengenai sensor QCM dalam berbagai aplikasi semakin pesat terutama dalam aplikasinya sebagai biosensor. Hal itu juga diikuti dengan berkembangnya metode yang digunakan dalam sistem pengukuran yang melibatkan sensor QCM seperti metode yang berbasis perubahan frekuensi, perubahan nilai impedansi (resistansi maupun reaktansi), perubahan arus, perubahan phase, dan perubahan nilai kualitas. Metode yang berbasis perubahan frekuensi merupakan metode dasar yang paling mudah diaplikasikan dalam berbagai aplikasi baik dari segi sistem pengukuran maupun analisis hasil pengukuran. Peningkatan selektifitas sensor QCM dapat dilakukan (Lalu dkk, 2017)

Peningkatan selektifitas sensor QCM dapat dilakukan dengan memodifikasi permukaan sensor QCM sesuai dengan aplikasi atau target yang akan diukur seperti melapiskan polimer tertentu pada permukaan sensor QCM untuk mendeteksi kandungan gas tertentu di udara, mengimobilisasi analit tertentu untuk mendeteksi anti bodi yang bersesuaian dengan analit tersebut. Respon selektif sensor QCM tersebut dapat diamati berdasarkan perubahan frekuensi sensor QCM ketika target selektif terimobilisasi pada permukaan QCM. Hal tersebut dapat diamati dengan mudah apabila data hasil pengukuran ditampilkan secara keseluruhan selama proses pengukuran dalam bentuk grafik hubungan frekuensi QCM terukur dan waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat yang menampilkan hasil pengukuran tersebut secara *real-time* baik dalam bentuk data *real-time* maupun grafik (Lalu dkk, 2017).

Kristal kuarsa ini memiliki sifat piezoelectric, yaitu mampu menghasilkan tegangan listrik ketika diberi tekanan mekanik dan dapat berubah bentuk mekaniknya ketika diberikan tegangan listrik. Untuk menghasilkan resonansi listrik mekanik, maka sifat piezoelectric dimanfaatkan dengan cara memberikan tegangan listrik pada kristal sehingga kristal bergetar pada frekuensi tertentu (Lalu dkk, 2017).

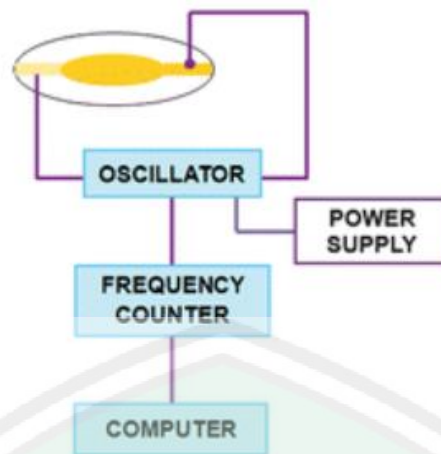
Persamaan Sauerbrey menyebutkan bahwa adanya hubungan antara perubahan massa kristal dengan perubahan frekuensi resonansi kristal (Lalu dkk, 2017).

Berikut adalah persamaannya:

$$\Delta f = -C_f \Delta m \quad (1)$$

dimana Δm adalah perubahan massa pada kristal kuarsa akibat menempelnya molekul pada permukaan kristal. C_f merupakan konstanta kristal yang digunakan. Persamaan diatas akan menghasilkan perubahan frekuensi (Δf) yang negatif, dengan kata lain frekuensi kristal akan menurun sebanding dengan banyaknya molekul yang menempel pada permukaan kristal.

Untuk mengukur frekuensi sensor QCM, berdasarkan propertinya, sistem QCM umumnya terdiri dari 1) rangkaian osilator (memperoleh sinyal frekuensi yang stabil sensor QCM, di bawah frekuensi resonansi), 2) penghitung frekuensi (pengukuran sinyal frekuensi sensor QCM), 3) perangkat lunak (memantau sinyal frekuensi memproses, menyimpan data, dan mengendalikan sistem QCM), dan 4) catu daya (menyediakan daya untuk sistem QCM) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Wei, 2016).



Gambar 2.2 Skema QCM Secara Umum (Wei, 2016)

Mikrokontroler menjadi prioritas pertama dalam desain platform berbiaya rendah untuk mengukur frekuensi QCM. Mikrokontroler menyediakan cara yang sangat fleksibel mengendalikan eksperimen, memperoleh data, dan menghubungkan instrumen ke personal komputer, dan juga menawarkan ahli kimia analitik yang kuat dan murah interfacing ke komputer dan peralatan laboratorium (Wei, 2016).

Arduino adalah papan mikrokontroler *open-souse* komersial yang cukup populer, yang baru-baru ini diterapkan ke berbagai bidang berdasarkan fungsinya yang kuat, mudah pemrograman, dan biaya rendah. Oleh karena itu, papan mikrokontroler Arduino telah digunakan sebagai komponen listrik inti dalam platform sistem QCM kami yang dirancang. Dua papan sirkuit osilator yang praktis dan fungsional juga telah dirancang; satu adalah CMOS (*Complementer Metal Oxide Semiconductor*) rangkaian osilator, yang lainnya adalah TTL (*Transistor-Transistor Logic*) sirkuit osilator. Pemrograman antarmuka telah menerapkan dua metode termasuk pemrograman bahasa Java dan Labview pemrograman (Wei, 2016).

Perubahan massa satu nanogram menghasilkan perubahan frekuensi sekitar 1 Hz. Dengan demikian perubahan kecil dalam massa dapat diukur dengan menggunakan QCM dilapisi dengan membran pengenalan jenis molekul. Penggunaan deret sensor berpolimer yang mempunyai nilai kepolaran berbeda dikombinasikan dengan bahan konduksi maupun semikonduksi untuk meniru sistem penciuman. Polimer tersebut berperan sebagai bahan aktif yang dapat meningkatkan penyerapan uap sampel akibat dari kepolaran molekulnya (Rahman dkk, 2017).

Keseimbangan mikro kristal kuarsa adalah perangkat sensitif yang memanfaatkan gelombang akustik yang dihasilkan oleh osilasi efek piezoelektrik untuk mengukur perubahan massa hingga rentang monogram secara *real-time* deteksi. Proses getaran mekanis ini dikatakan sangat stabil karena resonansi yang tinggi diinduksi oleh arus bolak-balik, tegangan diterapkan pada pelat kristal yang diapit antara pasangan elektroda. Penggunaan QCM sebagai keseimbangan massa sangat meningkat setelah Sauerbrey menunjukkan hubungan antara perubahan massa dan frekuensi resonansi pada kristal berosilasi dengan massa yang teradsorpsi pada permukaan kristal pada tahun 1959 (Rahman dkk, 2017).

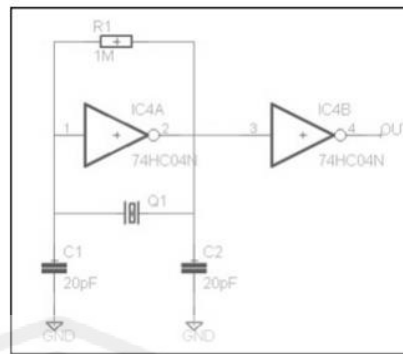
Meningkatkan selektifitas sensor QCM dapat dilakukan dengan memodifikasi permukaan sensor QCM sesuai dengan aplikasi atau target yang akan diukur seperti melapiskan polimer tertentu pada permukaan sensor QCM untuk mendeteksi kandungan gas tertentu di udara, mengimobilisasi analit tertentu untuk mendeteksi anti bodi yang bersesuaian dengan analit tersebut. Respon selektif sensor QCM tersebut dapat diamati berdasarkan perubahan frekuensi sensor QCM ketika target selektif terimobilisasi pada permukaan

QCM. Hal tersebut dapat diamati dengan mudah apabila data hasil pengukuran ditampilkan secara keseluruhan selama proses pengukuran dalam bentuk grafik hubungan frekuensi QCM terukur dan waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat yang menampilkan hasil pengukuran tersebut secara *real-time* baik dalam bentuk data *real-time* maupun grafik (H.Jie, 2006).

2.4 Osilator

Osilator merupakan salah satu bagian dari sistem elektronika yang berfungsi untuk membangkitkan frekuensi dalam bentuk sinusoida, *square*, *sawtooth* atau segitiga. Materi osilator disajikan dalam mata kuliah hampir di berbagai perguruan tinggi di Indonesia yang mempunyai jurusan ilmu rumpun elektro baik eksak maupun kependidikan. Laboratorium merupakan salah satu prasarana pendidikan yang harus dimiliki oleh suatu institusi pendidikan yang memiliki jurusan dibidang ilmu sains dan teknologi. Berfungsi sebagai wadah proses pembelajaran berbasis praktik atau eksperimental yang didalamnya memuat berbagai macam alat praktikum, alat ukur, komponen atau bahan lainnya untuk mendukung keberhasilan tujuan belajar (Atmel, 2007).

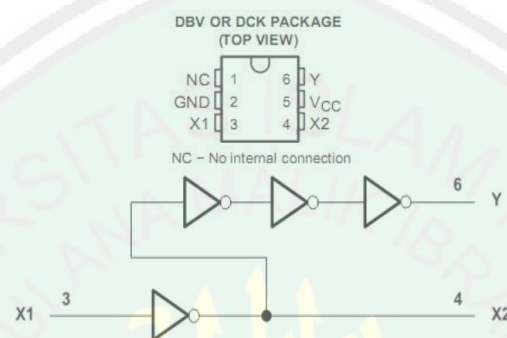
QCM membutuhkan sebuah rangkaian osilator untuk menghasilkan frekuensi osilasi dari kristal di dalamnya. Pada sistem digunakan osilator pierce yang memiliki osilasi yang stabil. Nilai C1 dan C2 pada rangkaian osilator *pierce* menentukan besarnya tegangan balik. Osilator juga digunakan untuk membangkitkan frekuensi kristal referensi (Wicaksono dkk, 2014).



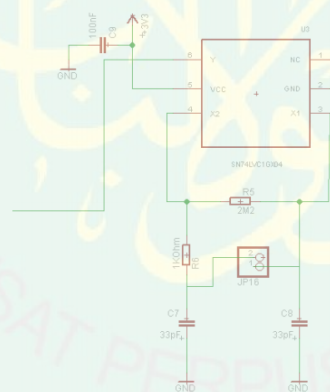
Gambar 2.3 Rangkaian Osilator Pierce (Wicaksono, dkk, 2014)

Untuk mengukur frekuensi seri sensor QCM, ada tiga osilator unit sirkuit yang dirancang untuk platform sistem QCM kami. Unit satu didasarkan pada CMOS teori osilator, yang membuat kristal beresonansi pada frekuensi resonansinya. Itu Inverter CMOS pada awalnya bias ke tengah-tengah wilayah operasinya oleh yang tinggi resistor umpan balik, biasanya lebih dari 1 MΩ; inverter tambahan digunakan untuk *buffer* output dari osilator ke beban yang terhubung. Inverter memberikan perubahan fase 180° dan kristal kapasitor jaringan tambahan 180° yang diperlukan untuk osilasi. Itu keuntungan dari osilator kristal CMOS adalah bahwa ia akan selalu secara otomatis menyesuaikan sendiri untuk mempertahankan perubahan fase 0°-360° ini untuk osilasi. Menurut osilator CMOS teori, driver osilator kristal SN74LVC1GX04 dipilih untuk menjadi komponen inti di unit rangkaian osilator satu. Tampilan atas dan diagram logiknya ditunjukkan pada Gambar 2.4. Oleh karena itu, rangkaian osilator CMOS yang dimodifikasi dirancang dengan kristal SN74LVC1GX04 driver osilator dan sandal jepit tipe-positif-tepi-dipicu SN74LS74AN ganda D, yang digunakan untuk menghasilkan frekuensi diferensial dari dua sensor QCM, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5 menunjukkan satu dari empat rangkaian osilator berdasarkan Driver osilator kristal SN74LVC1GX04. Diagram

skematik seluruh sirkuit dan PCB dirancang dan digambar oleh perangkat lunak Eagle. PCB dicetak dan dibuat di Perusahaan SeedeStudio, dan perangkat untuk komponen disolder disediakan oleh Departemen Teknik di Western Kentucky University (Wei, 2016).



Gambar 2.4 Kristal SN74LVC1GX04 Driver Osilator (Wei, 2016)



Gambar 2.5 Driver Osilator Kristal SN74LVC1GX04 (Wei, 2016)

2.5 Frequency Counter

Nilai frekuensi dapat dihitung dari nilai periodenya. Satu periode isyarat analog terdiri dari satu lembah dan satu gunung. Sedangkan satu periode isyarat digital terdiri dari satu kali logika rendah dan satu kali logika tinggi. Untuk dapat

menentukan nilai frekuensi suatu isyarat dapat digunakan sebuah osiloskop atau sebuah pencacah frekuensi. Pencacah frekuensi dapat menghitung frekuensi masukan hingga ketelitian tertentu. Pencacah frekuensi analog biasanya dapat menghitung dengan ketelitian hingga dua digit, sementara itu pencacah frekuensi digital dapat menghitung dengan ketelitian dua hingga tiga digit (Kurniawan, 2009).

Frequency counter adalah pencacahan banyaknya siklus frekuensi per lama waktu yang digunakan dalam mencacah. Metode *Reciprocal* membutuhkan dua register pencacah, register pertama untuk mencacah banyaknya siklus input, dan yang kedua untuk mencacah banyaknya pulsa *clock*, untuk mengukur durasi waktu. Berbeda dengan metode konvensional, pada metode ini waktu pengukuran didapatkan melalui besar periode yang dibutuhkan untuk satu siklus *clock*. Sedangkan pada metode konvensional, waktu pengukuran sudah ditentukan yaitu selama satu detik (Harjunadi dkk, 2015).

Pencacah frekuensi dapat menghitung frekuensi masukan hingga ketelitian tertentu. Pencacah frekuensi analog biasanya dapat menghitung dengan ketelitian hingga dua digit, sementara itu pencacah frekuensi digital dapat menghitung dengan ketelitian dua hingga tiga digit. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk menghitung frekuensi. Pertama adalah dengan mencacah frekuensi masukan. Dalam durasi waktu tertentu, banyaknya periode isyarat masukan dicacah. Hasil cacahan dibagi dengan durasi waktu tersebut akan menghasilkan nilai frekuensi masukan. Sedangkan metode kedua adalah dengan pengukuran periode isyarat masukan. Pengukuran dilakukan atas dua titik

bersesuaian yang berurutan. Untuk isyarat *clock*, pengukuran periode isyarat *clock* dapat dilakukan dengan mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi turun yang berurutan atau mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi naik yang berurutan (Harjunadi dkk, 2015).

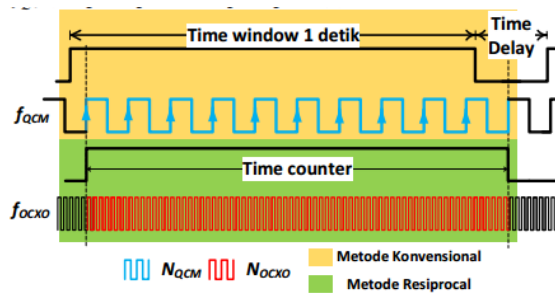
Sebagian *frequency counter* bekerja dengan menggunakan sebuah pencacah yang mana akumulasi jumlah dari kejadian yang terjadi dalam satu periode dari waktu. Setelah periode diset (1 detik, untuk contoh), nilai pada counter ditransfer pada display dan *counter* reset ke nol. Jika kejadian tersebut diukur berulang maka stabilitas dari frekuensi yang dihitung haruslah lebih rendah dari pada frekuensi *clock* osilator (pembangkit gelombang/pulsa) yang digunakan, ketelitian dari pengukuran dapat ditingkatkan lebih baik dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk seluruh jumlah siklus, daripada menghitung jumlah dari seluruh siklus yang diaati dalam waktu tertentu (sering disebut sebagi teknik timbal-balik) (Afniza, 2008).

Frequency counter yang dirancang untuk *frequency* radio (RF) juga sama dalam operasi dan prinsipnya seperti halnya *frequency counter* yang mencacah frekuensi yang lebih rendah. *Frequency counter* mempunyai beberapa batasan sebelum *overflow*. Untuk frekuensi yang sangat tinggi, kebanyakan rancangannya menggunakan *prescaler* (skala pembanding) untuk mengubahnya menjadi sinyal yang dapat dicacah oleh sirkuit digital biasa/normal dalam penghitungan frekuensinya. Display pada instrumen tersebut tetap menampilkan nilai fekuensi yang sebenarnya. Jika fekuensi yang diukur lebih tinggi daripada skala pembanding (*prescaler*) yang teresedia, maka sebuah pemadu sinyal (

mixer) dan pembangkit gelombang lokal dapat memproduksi frekuensi sinyal yang sesuai untuk pengukuran (Afniza, 2008).

Salah satu parameter isyarat elektronis yang sering digunakan adalah besaran frekuensi. Nilai frekuensi dapat dihitung dari nilai periodenya. Satu periode isyarat analog terdiri dari satu lembah dan satu gunung. Sedangkan satu periode isyarat digital terdiri dari satu kali logika rendah dan satu kali logika tinggi. Untuk dapat menentukan nilai frekuensi suatu isyarat dapat digunakan sebuah osiloskop atau sebuah pencacah frekuensi. Kurniawan Pencacah frekuensi dapat menghitung frekuensi masukan hingga ketelitian tertentu. Pencacah frekuensi analog biasanya dapat menghitung dengan ketelitian hingga dua digit, sementara itu pencacah frekuensi digital dapat menghitung dengan ketelitian dua hingga tiga digit (Kurniawan, 2009).

Salah satu metode pencacah frekuensi merupakan metode *hybrid*. Metode ini menggabungkan antara metode konvensional yang berbasis frekuensi dan *reciprocal* yang berbasis periode untuk mencacah sinyal input dan sinyal referensi selama rentang waktu tertentu yang dikendalikan oleh sinyal *time-gate* satu detik. Skema sinyal yang menunjukkan bagaimana metode ini bekerja ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada gambar tersebut ditunjukkan bagaimana sinyal dari sensor QCM (fQCM) dicacah selama rentang *time window* satu detik berdasarkan metode konvensional (Lalu dkk, 2017).

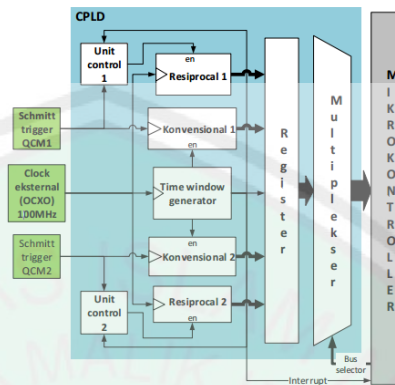


Gambar 2.6 Metode *Hybrid* untuk Sistem Pengukuran Frekuensi Sensor QCM (Lalu dkk, 2017)

Sedangkan sinyal clock eksternal (f_{OCXO}) sebagai *clock* referensi dicacah selama rentang *time counter* berdasarkan metode *reciprocal*. *Time counter* sendiri merupakan rentang waktu yang dibentuk oleh siklus penuh dari f_{QCM} mulai dari *rising edge* pertama ketika memasuki *time window* hingga *rising edge* pertama ketika memasuki *time delay*. Hal tersebut menyebabkan sinyal f_{QCM} dan f_{OCXO} dicacah dengan rentang waktu yang sama (Lalu dkk, 2017)

Berdasarkan metode pencacah frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 2.6 maka dibutuhkan beberapa bagian untuk membangun unit pencacah frekuensi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Bagian tersebut diantaranya adalah *time window* generator untuk membangkitkan sinyal *time window* satu detik, pencacah digital konvensional untuk mencacah sinyal input sensor QCM, dan pencacah digital *reciprocal* untuk mencacah *clock* eksternal. Selain itu, terdapat juga *unit control* yang digunakan untuk membangkitkan sinyal *time counter*. *Unit control* ini dibangun dengan rangkaian *sequential D-Flip-flop* dengan sumber clock (clk) dari sinyal input sensor QCM dan input data (D) dari sinyal *time window*. Selain itu, terdapat bagian register yang digunakan sebagai penyimpan data cacahan sementara

sebelum dikirimkan ke mikrokontroller melalui fungsi multiplexer. Gambar 3 menunjukkan bahwa bagian-bagian tersebut dibangun di dalam IC CPLD (Lalu dkk, 2017).



Gambar 2.7 Desain Sistem Pencacah Frekuensi *hybrid* yang Diimplementasikan pada CPLD (Lalu, dkk, 2017)

Frekuensi *counter* merupakan instrument elektronik, atau sebuah komponen, yang digunakan untuk mengukur frekuensi. Frekuensi didefinisikan sebagai jumlah dari kejadian yang khusus dan terjadi pada satu periode waktu. *Timer* dan *counter* merupakan sarana input yang kurang dapat perhatian pemakai mikrokontroller, dengan sarana input ini mikrokontroller dengan mudah bisa dipakai untuk mengukur lebar pulsa, membangkitkan pulsa dengan lebar yang pasti, dipakai dalam pengendalian tegangan secara PWM (*Pulse Width Modulation*) dan sangat diperkukan untuk aplikasi control dengan inframerah (Afniza, 2008).

Metode Reciprocal membutuhkan dua register pencacah, register pertama untuk mencacah banyaknya siklus input, dan yang kedua untuk mencacah banyaknya pulsa *clock*, untuk mengukur durasi waktu. Berbeda dengan metode konvensional, pada metode ini waktu pengukuran didapatkan melalui besar periode yang dibutuhkan untuk satu siklus *clock*. Sedangkan pada

metode konvensional, waktu pengukuran sudah ditentukan yaitu selama satu detik. Pada tahun 1959, Sauerbrey memperkenalkan resonator kuarsa pertama kali. Dia menunjukkan penemuan tentang karakteristik kristal kuarsa. Kristal ini memiliki sifat yang dapat menghasilkan tegangan listrik ketika diberi tegangan mekanikal dan juga sebaliknya berubah bentuk mekanikalnya ketika diberi tegangan listrik. Sifat ini disebut dengan sifat piezoelectric (Harjunadi dkk, 2015).

Dengan adanya sifat piezoelectric maka resonator kuarsa dapat digunakan sebagai sensor kimiawi. Resonator kuarsa yang memiliki membran yang sensitif terhadap gas dapat digunakan untuk pendeteksian gas. Molekul gas yang ditiupkan dan menempel pada membran yang sensitif ini akan Metode Pencacahan Frekuensi Reciprocal untuk Sensor Gas Resonator Kuarsa yang Diimplementasikan pada *Field Programmable Gate Array* menyebabkan perubahan pada massa membran yang akan mengakibatkan perubahan frekuensi resonansinya (harjunadi dkk, 2015).

Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk menghitung frekuensi. Pertama adalah dengan mencacah frekuensi masukan. Dalam durasi waktu tertentu, banyaknya periode isyarat masukan dicacah. Hasil cacahan dibagi dengan durasi waktu tersebut akan menghasilkan nilai frekuensi masukan. Sedangkan metode kedua adalah dengan pengukuran periode isyarat masukan. Pengukuran dilakukan atas dua titik bersesuaian yang berurutan. Untuk isyarat *clock*, pengukuran periode isyarat *clock* dapat dilakukan dengan mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi turun yang berurutan atau mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi naik yang berurutan (Kurniawan, 2009).

Salah satu parameter isyarat elektronis yang sering digunakan adalah besaran frekuensi. Nilai frekuensi dapat dihitung dari nilai periodenya. Satu periode isyarat analog terdiri dari satu lembah dan satu gunung. Sedangkan satu periode isyarat digital terdiri dari satu kali logika rendah dan satu kali logika tinggi. Untuk dapat menentukan nilai frekuensi suatu isyarat dapat digunakan sebuah osiloskop atau sebuah pencacah frekuensi. Pencacah frekuensi dapat menghitung frekuensi masukan hingga ketelitian tertentu. Pencacah frekuensi analog biasanya dapat menghitung dengan ketelitian hingga dua digit, sementara itu pencacah frekuensi digital dapat menghitung dengan ketelitian dua hingga tiga digit (Kurniawan, 2009).

Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk menghitung frekuensi. Pertama adalah dengan mencacah frekuensi masukan. Dalam durasi waktu tertentu, banyaknya periode isyarat masukan dicacah. Hasil cacahan dibagi dengan durasi waktu tersebut akan menghasilkan nilai frekuensi masukan. Sedangkan metode kedua adalah dengan pengukuran periode isyarat masukan. Pengukuran dilakukan atas dua titik bersesuaian yang berurutan. Untuk isyarat clock, pengukuran periode isyarat clock dapat dilakukan dengan mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi turun yang berurutan atau mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi naik yang berurutan (H. Jie, 2006).

2.6 *Trioctylmethylammonium Chloride (TOMA)*

Elektroda emas juga digunakan sebagai sensor rasa dan juga terdiri dari 3 elektroda: bekerja, referensi dan melawan. Dalam hal ini elektroda kerja terbuat dari emas dan pelapisan dilakukan pada elektroda ini selama percobaan. Untuk pelapisan, elektroda emas diambil dan dicelupkan ke dalam larutan membran

lipid dan kemudian dikeluarkan. Proses ini diulang beberapa kali untuk mendapatkan lapisan ketebalan yang cukup. Dengan demikian juga dikenal sebagai sensor elektroda (Sharma dkk, 2015).

Perkembangan terakhir dari metode ini cenderung menuju ke arah peningkatan selektivitas terhadap spesies tertentu. Membran merupakan bagian yang paling penting dari Elektroda Selektif Ion (ESI). Penyusun membran polimer cair terdiri dari senyawa aktif (ionofor) sebagai penentu selektivitas, polivinil klorida sebagai matrik pendukung membran, *plasticizer* sebagai pelarut membran dan pelentur matrik, serta garam-garam organik tertentu yang berfungsi sebagai katalis. Respon dan selektivitas ESI untuk ion logam anion tertentu tergantung dari komposisi penyusun elektroda lainnya (Buck dan Lindner, 1994)

Waktu respon didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan suatu ESI untuk memberikan respon potensial yang konstan. Makin cepat suatu elektroda selektif ion memberikan nilai yang tetap maka makin baik elektroda tersebut. Waktu respon yang cepat menggambarkan efisiensi suatu ESI, hal ini terutama sangat diperlukan untuk analisis rutin (Atikah, 1994).

Membran lipid memainkan peranan yang sangat penting dalam mendeteksi rasa pada sebuah sensor rasa. Pada permukaan setiap sensor direkatkan membran lipid artifisial yang berfungsi mirip seperti lidah manusia. Karakteristik dari masing-masing sensor dirancang berbeda satu sama lain. Ketika sensor tersebut menyerap rasa, terjadi perubahan potensial pada membran lipid artifisial yang mekanismenya mirip seperti lidah manusia. Selanjutnya,

luaran larik sensor tersebut kemudian diproses oleh perangkat lunak pengenalan pola untuk mengevaluasi rasa secara obyektif (Lelono dkk, 2011).

Membran merupakan suatu lapisan pemisah antara 2 fasa dan mengatur perpindahan masa dari 2 fasa yang terpisah. Membran adalah bahan yang dapat memisahkan 2 komponen dengan cara spesifik, yaitu dengan menahan atau melewatkan salah satu komponen lebih cepat dari komponen lainnya. Membran dapat dibuat dengan menggunakan beberapa metode antara lain pelelehan, pengepresan, *tracketching*, dan pembalikan fase. Berdasarkan bahan pembuatan membran dibagi menjadi dua golongan, yaitu membran dengan bahan organik dan anorganik. Beberapa jenis lipid digunakan untuk memberi informasi bagian utama. Dalam sensor membran merupakan sistem biologis sebagai perangsang (Atikah, 1994).

Salah satu metode untuk mewujudkan sensor rasa mungkin adalah untuk meniru mekanisme transduksi sistem gustatory manusia. Secara biologis penerimaan, lipid dalam membran biologis disarankan untuk memainkan peran penting. Membran lipid telah diinvestasikan diatur secara rinci sebagai kandidat transduser sensor rasa sejauh ini. Karya-karya ini menegaskan bahwa lipid selaput bisa merespons zat-zat rasa begitu untuk membedakan antara kualitas rasa dasar. Interaksi antara zat rasa adalah juga terdeteksi untuk mereproduksi perasaan rasa biologis dari, misalnya, efek sinergis dalam zat umami atau efek penindasan antara pahit dan asin zat (Toko, 1996).

Baru-baru ini kami membangun saluran multichannel menginjak transduser yang terdiri dari lipid membran. Elektroda memiliki sensitivitas, reproduktifitas dan daya tahan lebih tinggi dari itu manusia. Rasanya diukur

serupa cara untuk sensasi gustatory manusia sehingga sensor menunjukkan pola yang mirip dengan yang sama kelompok selera: output serupa diperoleh untuk, misalnya, sukrosa, glukosa dan aspartam (sintetis *sweetness*) milik zat-zat manis. Dalam makalah ini, kami telah menerapkan multichannel ini sensor rasa untuk minuman komersial. Sebuah rasa kualitas mirip dengan beberapa komersial minuman berair diperoleh dari kombinasi dari empat macam zat rasa dasar dengan memanfaatkan pola potensial listrik keluaran (Toko, 1996).

Potensi permukaan yang dihasilkan pada batas permukaan antara larutan rasa encer dan membran lipid terdeteksi oleh kawat Ag di elektroda multichannel. Pengaturan ini Kawat Ag sangat sederhana; Namun, cukup stabilitas diperoleh selama satu minggu atau lebih. Untuk semakin tinggi stabilitas, mungkin lebih baik untuk mengadopsi pengaturan Ag / AgCl / solusi / membran / solusi / referensi elektroda. Bahkan, pengaturan ini ment diadopsi dalam percobaan terbaru. Histeresis diamati untuk beberapa zat rasa (misalnya kina) yang sangat teradsorpsi ke dalam membran. Itu efek histeresis berkurang dengan adopsi pengukuran berulang, seperti yang akan disebutkan kemudian, karena siklus periodik menghasilkan kondisi mantap membran dalam kondisi yang sama (Yusuke dkk, 2013).

Selektivitas sebuah membran didefinisikan sebagai kemampuan membran dalam merespon ion tertentu. Membran pada penelitian ini merupakan membran bermuatan listrik sehingga respon terhadap ion tertentu sampel. Membran akan respon terhadap ion sampel yang berlawanan dengan muatan membran. Membran OA, DOP, dan DA adalah membran negatif, sehingga akan respon terhadap kation sampel. Berbeda dengan membran DDC dan TOMA

yang merupakan membran positif akan respon terhadap anion sampel (Wibowo dkk, 2013).

Selain membran lipid, bagian terpenting dari sistem sensor rasa adalah ion meter. Ion meter berfungsi untuk membaca keluaran membran (berupa potensial listrik), kemudian mengubahnya dalam bentuk digital, lalu diproses oleh pemroses sinyal, dan hasilnya akan ditampilkan pada display (Amalinda, 2016)

Sistem penginderaan rasa dengan membran lipid/polimer yang terdiri dari membran bilipid (BLM) yaitu digunakan untuk mengevaluasi rasa berbagai analit berdasarkan muatan molekuler. Membran lipid / polimer bertindak sebagai transduser yang mengubah informasi rasa yang dihasilkan oleh zat kimia menjadi potensial listrik ubah. Sensor rasa sangat selektif untuk masing-masing dari lima kualitas rasa dasar (asin, asam, umami, pahit dan rasa manis) dan karakteristik mereka dijelaskan oleh selektivitas global mereka. Kualitas-kualitas ini juga penting dalam berbagai makanan yang kadang-kadang dianggap sebagai kualitas rasa dalam arti luas. Sensing sistem akan berkontribusi secara signifikan pada industri makanan & minuman dan farmasi. Menggunakan sensor rasa ini kita dapat memperkirakan pemalsuan makanan juga yang menjadi perhatian utama hari ini (Sharma dkk, 2015).

Selektivitas sebuah membran didefinisikan sebagai kemampuan membran dalam merespon ion tertentu. Membran pada penelitian ini merupakan membran bermuatan listrik sehingga respon terhadap ion tertentu sampel. Membran akan respon terhadap ion sampel yang berlawanan dengan muatan membran. Membran OA, DOP, dan DA adalah membran negatif, sehingga akan respon

terhadap kation sampel. Berbeda dengan membran DDC dan TOMA yang merupakan membran positif akan respon terhadap anion sampel (Wibowo dkk, 2013).

Pada sensor rasa, membran yang digunakan adalah membran selektif ion yang respon terhadap ion-ion sampel yang berlawanan muatan dengan muatan membran. Membran ini dianggap sebagai permukaan datar dengan kerapatan muatan seragam. Perubahan kerapatan muatan permukaan disebabkan oleh interaksi antara bagian hidrofilik lipid membran dengan ion sampel uji. Perubahan kerapatan ini menimbulkan potensial membran yang kemudian dianalisa mewakili rasa tertentu (Wibowo dkk, 2013).

Komponen utama penyusun membran adalah lipid/polimer sebagai zat aditif lipofilik, diokti. Fthalat (DOP) sebagai *plasticizer*, *polivinyl klorida* (PVC) sebagai matriks pendukung dan THF. Setiap bahan mempunyai peranan masing-masing dalam membran. Lipid mempunyai fungsi yang sama dengan lipid pada membran biologi yaitu menyaring ion-ion yang melewati membran. PVC seperti plastik yang keras mempunyai peran mensupport membran agar lebih kuat. Sedangkan THF berfungsi untuk melarutkan komponen-komponen penyusun membran yang lain serta membantu mempercepat proses pengeringan membran (Kadidae, 2000).

Membran merupakan sensor pada sensor rasa dengan komponen utama lipid, dioktil ptalat atau DOP sebagai *plasticizer*, matriks pendukung (PVC), dan THF sebagai pelarut. Lipid berfungsi menyaring ion-ion yang melewati membran, *plasticizer* melarutkan dan melenturkan membran, PVC mendukung

membran agar lebih kuat, dan THF membantu mempercepat proses pengeringan membran (Wibowo dkk, 2013).

Campuran bahan yang digunakan dalam pembuatan membran yaitu lipid, *Polyvinyl Chloride* (PVC), *plasticizer* dan *tetrahydrofuran* (THF). Bahan-bahan tersebut menghasilkan membran lipid yang transparan, tidak berwarna dan memiliki tekstur yang lembut (Toko, 1996).

Methyltrioctyl Ammonium Chloride merupakan senyawa kimia yang memiliki rumus senyawa $C_{25}H_{54}ClN$. Memiliki masa molekul sebesar 404.168 g/mol. Selain itu juga memiliki titik didih sebesar $225^{\circ}C$ dan titik leleh sebesar $-20^{\circ}C$ (Larki dkk, 2015).



Gambar 2.8 Struktur Kimia *Methyltrioctylammonium Chloride* (Larki dkk, 2015)

Membran *Methyltrioctylammonium Chloride* (TOMA) (Aliquat 336) merupakan reagen kuat lain. Ini adalah ligan kationik yang kurang stabil dibandingkan ligan CTAB/CTAC biasa karena ketiganya rantai hidrokarbon pendek dimensi dan afinitas rendah. Namun, ini lebih stabil terhadap serangan udara dan kelembaban dibandingkan ligan kationik lainnya dan lebih mudah ditangani. Tidak seperti bilayer dalam ligan CTAB / CTAC, lapisan mono-hidrofobik dari Aliquat 336 Molekul dapat menstabilkan Au NPs, dimana tiga

rantai hidrokarbon ligan molekul tumpang tindih di tiga sisi dengan molekul ligan lain pada NP permukaan. Dengan demikian, pembentukan monolayer berpola heksagon Molekul ligan pada permukaan Au NP dapat mengatasi masalah kerapatan ligan terkait dengan aplikasi in vivo (Gulnaz, 2017).

Dalam penelitian ini, TOMA digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan konduktivitas di lapisan membran. TOMA adalah kation organik yang memiliki kadar tinggi lipofilisitas. Kehadiran TOMA akan menyebabkan membran memiliki muatan positif dan ini akan menyebabkan anion berinteraksi dengan ion di proses pertukaran. Karena itu, perlu dipelajari lebih lanjut untuk menentukan apakah anion dapat menyediakan efek gangguan pada kinerja SPRE yang dimilikinya telah dibuat (Alva, 2016).

Sensor rasa terdiri dari beberapa jenis membran lipid yang berfungsi untuk mengubah informasi rasa menjadi sinyal listrik. Lipid yang digunakan sebagai bahan membran yaitu: asam oleat (OA), *oleyl amina* (Oam) dan *desil alkohol* (DA), *dioctyl phosphate* (DOP), dan *trioctylmethylammonium chloride* (TOMA). Selain itu, digunakan pula membran lipid campuran DOP:TOMA dengan perbandingan 3:7, 5:5 dan 9:1 (Toko, 1996).

Trioctylmetilammonium chloride (TOMA) dan *dioctyl phenyl phosphonate* (DOPP) digunakan untuk menyiapkan lipid membran untuk rasa pahit. Sintesis membran lipid dilakukan dengan mencampur 200 mg TOMA dalam 1 ml THF dengan pengadukan yang tepat untuk mendapatkan larutan homogen. Pada langkah selanjutnya 0,5 ml larutan lipid dicampur dengan 310 μ l DOPP untuk mendapatkan rasio 2: 3 dan kemudian dicampur dengan 10 ml THF. Jumlah PVC yang dihitung (200 mg) adalah kemudian ditambahkan ke

dalam campuran untuk mendapatkan rasio yang telah ditentukan (Sharma dkk, 2015).

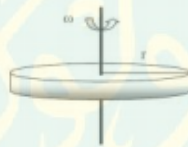
2.7 *Spin Coating*

Spin Coating merupakan teknik khusus dengan menggunakan deposit cairan dalam jumlah kecil yang kemudian diputar pada kecepatan tinggi (sekitar 3000 RPM) dalam suatu bidang datar. Alat deposisi *spin coating* yang ada saat ini juga masih memiliki beberapa keterbatasan (Rustami, 2008), diantara kecepatan putar yang dihasilkan pada nilai tertentu yang proses serta pengontrolannya juga masih bersifat manual. Padahal, kecepatan putaran yang dinyatakan dalam *rotation per minute* (RPM) adalah parameter yang sangat penting dalam metode *spin coating*. Semakin bervariasi nilai kecepatan yang dihasilkan akan membuat pelapisan material uji (dalam hal ini antara TiO₂ dengan *Fluor-Tin Oxide*/FTO) menjadi semakin beragam, dan sangat memungkinkan untuk mendapatkan hasil akhir yang lebih baik lagi.

Selain pengaruh kecepatan, keadaan suhu pada proses *spin coating* juga memberikan pengaruh signifikan pada film tipis yang akan ditumbuhkan. Vorotilov et.al pada 1993 melakukan penelitian tentang pengaruh *annealing temperature* pada proses *spin coating* dengan menggunakan silika sebagai bahan dasar dan mendapatkan kesimpulan bahwa pengaruh pemanasan pada proses berpengaruh pada ketipisan film dan indeks refraksi film tipis pada substrat. Kedua hal tersebut merupakan dua variabel penting yang juga dapat berpengaruh pada sel surya organik yang akan ditumbuhkan pada substrat, sayangnya belum ada penelitian yang dilakukan pada TiO₂ sebagai bahan dasar umum pada sel surya organik/DSSC. Oleh karena itu topik ini menarik untuk dibahas, dan

penelitian ini akan mempelajari tentang pengaruh suhu dan kecepatan putar *spin coating* dalam kaitannya dengan sifat-sifat fisis TiO_2 berupa morfologi dan homogenitas pada substrat FTO yang secara tidak langsung juga akan berpengaruh terhadap kinerja DSSC secara umum (Hidayat dkk, 2014).

Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau spin. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel, yang kemudian diteteskan diatas suatu substrat (dalam hal ini adalah FTO) dan disimpan diatas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi. Karena adanya gaya sentripetal ketika piringan tersebut berputar maka bahan tersebut akan tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata. Sketsa putaran dan metode *spin coating* dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 (Hidayat dkk, 2014).



Gambar 2.9 Piringan Berputar di *Spin Coating*
(Hidayat, dkk, 2014)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang karakterisasi sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) pada elektroda emas untuk mengetahui kandungan formalin pada ikan ini dilakukan pada tanggal 21 Oktober 2019 sampai 15 Juli 2020 di laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Optoelektronika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-Alat Penelitian

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah
1	Holder QCM	1
2	Kristal Kuarsa	2
3	Gelas Beaker	1
4	Open QCM	1
5	Mikro Pipet Tetes	1
6	Botol Semprot	2
7	Kertas saring	1
8	Pot Sampel Kaca	16
9	Mortar	1
10	Neraca	1
11	Hair Dryer	1
12	Blue Tip	32
13	Kabel USB	1

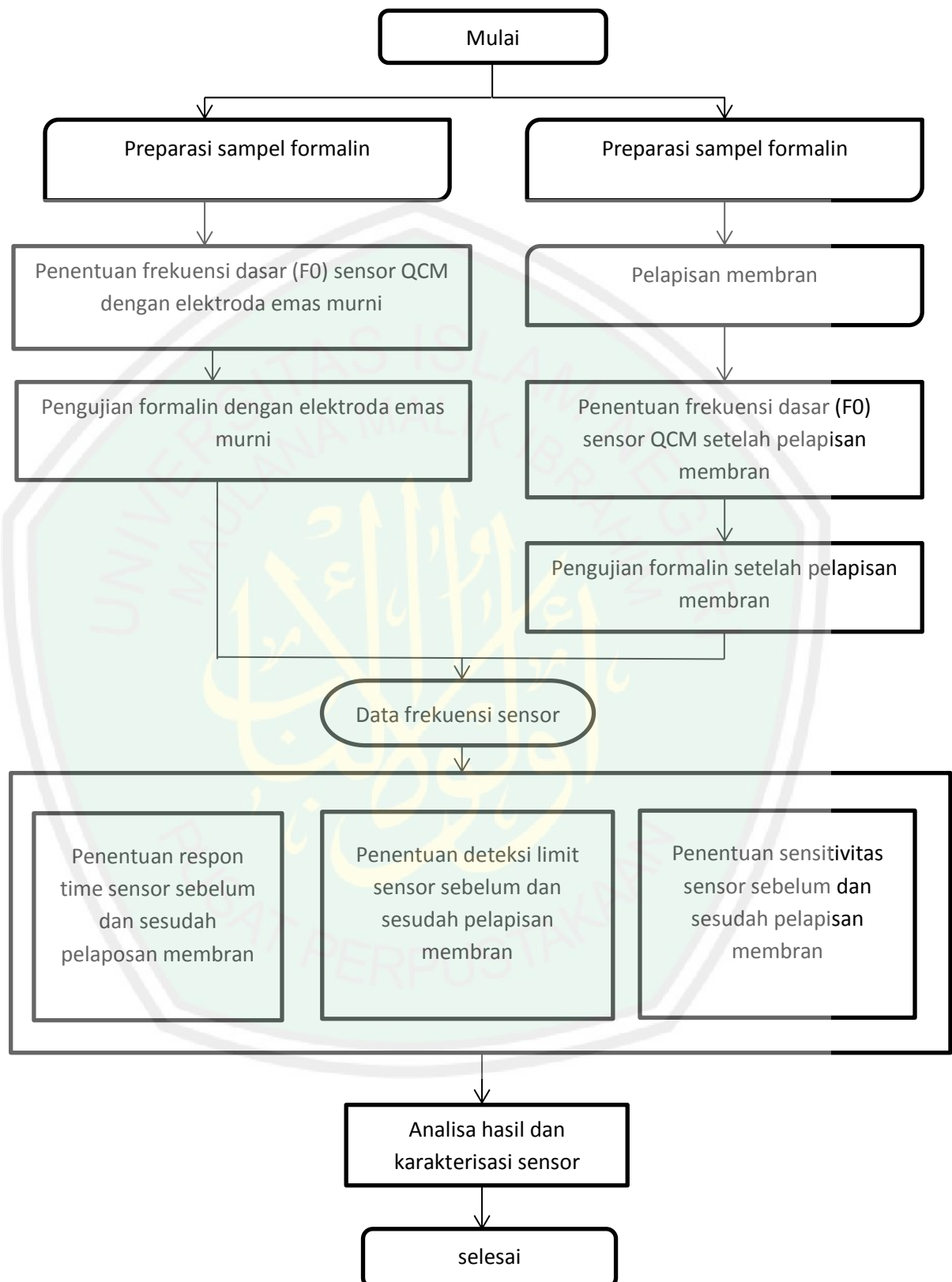
14	Spin Coater	1
15	Masker Wajah	Secukupnya
16	Pinset	1
17	Sarung Tangan	Secukupnya
18	Tissue	Secukupnya
19	Pipet Ukur	1
20	Alu	1
21	Personal Komputer	1
22	Software QCM	1
23	Microsoft Excel	1
24	Origin Pro 2018	1

3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian

No	Nama Alat
1	Ikan
2	Formalin
3	<i>Triethylmethylammonium Chloride</i> (TOMA)
4	Aquades
5	<i>Tetrahydrofuran</i> (THF)
6	<i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC)
7	Plasticizer: 2- NPOE

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahap Persiapan

- 1) Dilakukan penimbangan ikan dengan menggunakan *neraca* digital dan formalin menggunakan pipet ukur yang digunakan sebagai sampel sesuai dengan variasi konsentrasi sesuai rencana penelitian.
- 2) Dilakukan pengenceran formalin dengan aquades sesuai dengan variasi konsentrasi sampel yang digunakan
- 3) Dilakukan penghancuran terhadap daging ikan dan dan dicampurkan dengan larutan formalin dengan aquades untuk diambil sarinya
- 4) Dilakukan pemasangan sensor QCM pada holder QCM

3.5 Tahap Pelapisan Sensor QCM

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

- 1) Dilakukan pengenceran membran yang telah disimpan selama 24 jam kembali menggunakan THF dengan perbandingan 1:1 pada botol lain dan ditunggu selama 10 menit sampai homogen
- 2) Disiapkan mesin *spin coater* dengan menyalakan tombol power dan pompa vakum
- 3) Dilakukan vakum pada mesin selama kurang lebih 10 detik
- 4) Dipasangkan sensor QCM di atas *spin coater*
- 5) Ditutup ruang *rotary spin coater* sebelum alat dijalankan
- 6) Ditekan tombol *run* pada mesin untuk menjalankan alat. Mesin akan berputar pada kecepatan awal sebesar 2000 rpm dengan durasi selama 3 menit

- 7) Diambil larutan membran kurang lebih 150 mikroliter ketika mesin berputar
- 8) Dilakukan peneteskan larutan pada sensor QCM
- 9) Diambil sensor QCM secara perlahan menggunakan pinset
- 10) Dikeringkan sensor QCM selama 24 jam dan siap digunakan untuk pengujian sampel

3.6 Tahap Pengambilan Data

3.6.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar

- 1) sensor QCM dengan elektroda emas tanpa lapisan membran diletakkan di holder dan ditempatkan pada open QCM
- 2) dijalankan *software* openQCM 1.2 dan diberikan tegangan pada rangkaian sensor dengan sensor berosilasi
- 3) ditunggu beberapa menit sehingga frekuensi osilasi sensor berada dalam keadaan *steady state*
- 4) dilakukan pengulangan percobaan minimal 5 kali
- 5) langkah-langkah point 1-5 diulangi dengan sensor QCM yang telah dilapisi membran
- 6) data frekuensi yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft excel
- 7) dilakukan rata-rata dan analisis data sehingga didapatkan frekuensi dasar sensor (f_0) yang akan dicantumkan seperti pada table 3.3.

Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Kontrol

Percobaan ke-	Frekuensi dasar (f_0)	
	Dengan elektroda emas murni	Setelah pelapisan membran
1		
2		
3		
4		
5		

3.6.2 Tahap Pengambilan Data Formalin Dengan Elektroda Emas Murni

- 1) sensor QCM dengan elektroda emas murni dipasangkan pada holder QCM.
- 2) sampel campuran formalin dan aquades diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada table 3.4
- 3) *software* open QCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit
- 4) sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel formalin menggunakan aquades
- 5) *software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan
- 6) seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* adat logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft excel dengan format tabel seperti table 3.4

Tabel 3.4 Rencana Sampel Formalin Dengan Elektroda Emas Murni

Konsentrasi (mM)	formalin dengan elektroda emas	
	Waktu(s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		

3.6.3 Tahap Pengambilan Data Formalin Setelah Pelapisan Membran

- 1) sensor QCM dengan elektroda emas yang telah dilapisi membran dipasang pada holder QCM.
- 2) sampel campuran formalin dan aquades diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada table 3.5
- 3) *software* openQCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit
- 4) sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel formalin menggunakan aquades
- 5) *software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan

- 6) seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft excel dengan format table seperti table 3.5

Tabel 3.5 Rencana Pengambilan Sampel Formalin Setelah Pelapisan Membran

Konsentrasi	Formalin setelah pelapisan membran lipid	
	Waktu(s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		

3.6.4 Tahap Pengambilan Data Ikan Dengan Elektroda Emas Murni

- 1) sensor QCM dengan elektroda emas murni dipasangkan pada holder QCM.
- 2) sampel campuran formalin dan ikan diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada table 3.6
- 3) *software* openQCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit
- 4) sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel formalin menggunakan aquades

- 5) *software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan
- 6) seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft excel dengan format tabel seperti table

3.6

Tabel 3.6 Rencana Pengambilan Sampel Formalin dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni

Konsentrasi	Formalin dan ikan dengan elektroda emas	
	Waktu(s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		

3.6.5 Tahap Pengambilan Data Ikan Setelah Pelapisan Membran

- 1) sensor QCM dengan elektroda emas yang telah dilapisi membran dipasangkan pada holder QCM.
- 2) sampel campuran formalin dan ikan diujikan ke dalam sensor QCM satu persatu sesuai dengan variasi sampel pada table 3.7
- 3) *software* openQCM 1.2 dijalankan dan ditunggu selama 5 menit

- 4) sensor QCM dibersihkan setiap pergantian variasi konsentrasi sampel formalin menggunakan aquades
- 5) *software* dimatikan setelah semua variasi sampel diujikan
- 6) seluruh data yang telah didapatkan dalam *software* data logger QCM kemudian disimpan dalam Microsoft excel dengan format table seperti table

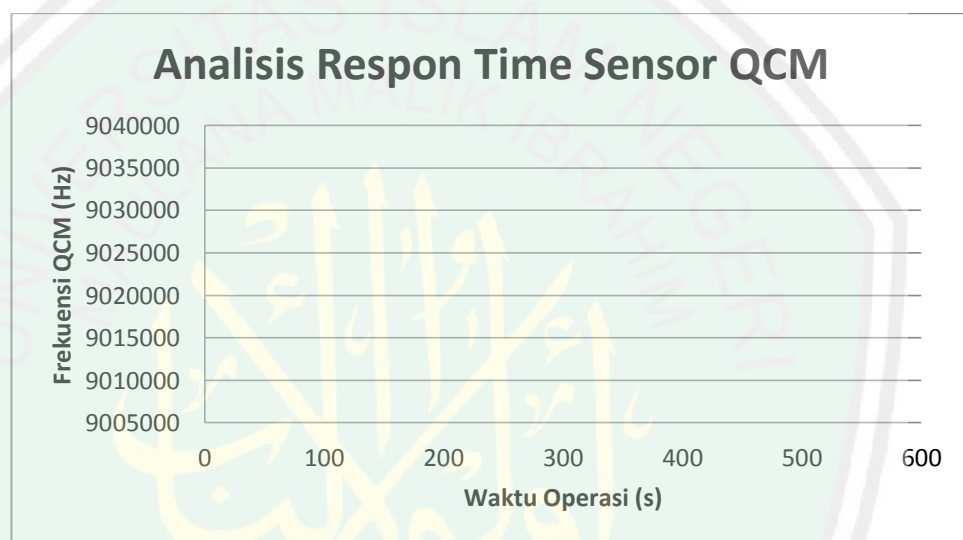
3.7

Tabel 3.7 Rencana Pengambilan Sampel Formalin dan Ikan Setelah Pelapisan Membran

Konsentrasi	Formalin dan ikan dengan membran lipid	
	Waktu(s)	Frekuensi (Hz)
0		
100		
150		
200		
250		
300		
350		
400		
450		
500		
550		
600		
650		
700		
750		

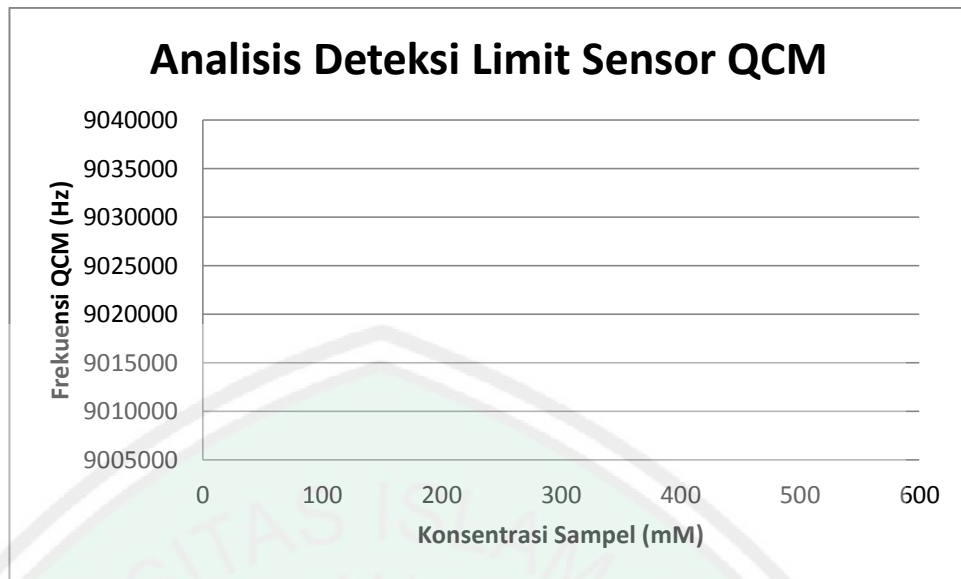
7.1 Tahap Pengolahan Data

1. Dilakukan penentuan frekuensi dasar (f_0) pada sensor QCM sebelum dan sesudah pelapisan membran dengan melakukan percobaan minimal 5 kali untuk mendapatkan frekuensi dasar sesor dalam keadaan *steady state*.
2. Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel anantara variabel waktu dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui tingkat response time sensor menggunakan *software* OriginPro 8.1 yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 3.2 Rencana Analisis *Respond Time* Sensor

3. Dilakukan plot grafik pada data pengujian sampel antara variabel konsentrasi sampel dan perubahan frekuensi osilasi untuk mengetahui deteksi limit sensor menggunakan *software* OriginPro 8.1 yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 3.3 Rencana Analisis Deteksi Limit Sensor

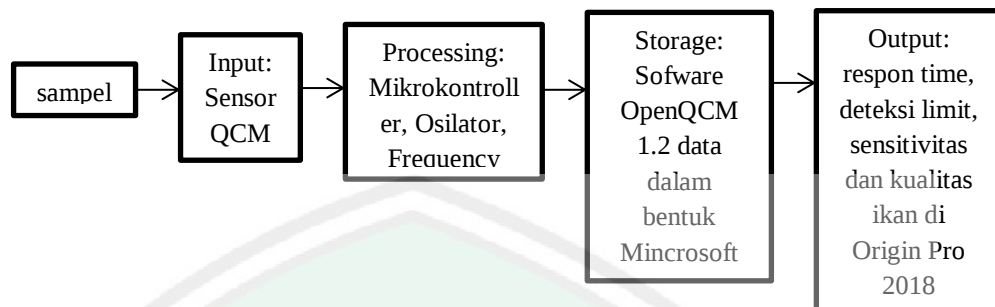
4. Dilakukan analisis grafik deteksi limit dengan menentukan daerah mati, daerah kerja dan daerah saturasi sensor
5. Dilakukan regresi grafik pada bagian daerah kerja sensor menggunakan fit linear untuk mengetahui nilai linearitas dan sensitivitas sensor.
6. Dilakukan analisis hasil berupa karakterisasi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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan salah satu sensor yang dapat mengukur perubahan massa sangat kecil yang berukuran nano dengan cara mengukur perubahan frekuensi pada resonator kristal kuarsa. Kristal kuarsa memiliki sifat piezoelektrik, yaitu mampu menghasilkan tegangan listrik ketika diberi tekanan mekanik dan dapat berubah bentuk mekaniknya ketika diberikan tegangan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakterisasi sensor QCM. Sensor QCM dalam penelitian ini menggunakan dua perlakuan yaitu dengan elektroda emas murni dan dengan pelapisan membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA). Data perubahan frekuensi yang dihasilkan dari penelitian ini akan dianalisis sesuai tujuan yaitu *respond time*, deteksi limit, sensitivitas dan kualitas ikan yang tercemar dengan kandungan formalin.

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) terdiri dari 2 bagian komponen yaitu *hardware* dan *software*. Komponen *hardware* terdiri dari kristal kuarsa, holder QCM, arduino, dan beberapa komponen elektronika serta prosesor dari OpenQCM. *Software* yang digunakan meliputi *software* OpenQCM 1.2, Microsoft Excel, dan Origin Pro 2018. Ketiga *software* ini memiliki fungsi yang berbeda-beda dalam mengolah data. *Software* OpenQCM 1.2 berfungsi untuk menampilkan data hasil berupa grafik frekuensi yang diperoleh dari *processing* data. Data hasil dari *software* OpenQCM 1.2 berupa data logger yang tersimpan dalam bentuk Text File. Sedangkan Microsoft Excel dan Origin Pro 2018

berfungsi untuk mengolah dan menganalisa data yang telah diperoleh. Adapun tahap penggunaan sistem sensor QCM ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Sensor QCM

Sistem sensor QCM secara garis besar terbagi menjadi empat bagian yaitu: bagian masukan (*input*), bagian pemrosesan (*processing*), bagian penyimpanan (*storage*) dan bagian keluaran (*output*). Bagian masukan terdiri atas sensor QCM yang menggunakan dua variasi yaitu dengan elektroda emas murni dan dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) dan juga dengan dua sampel yang berbeda yaitu larutan formalin dan juga campuran antara larutan formalin dan ikan.

Bagian pemrosesan data secara garis besar terdiri dari mikrokontroller, osilator dan juga *frequency counter*. Ketiga komponen tersebut telah diproduksi oleh OpenQCM sehingga bisa langsung digunakan secara praktis. Bagian penyimpanan data terdiri dari *software* OpenQCM yang didalamnya berisi data logger frekuensi dan suhu. *Software* openQCM menampilkan grafik frekuensi dan suhu selama pengujian secara *real-time*. Data hasil yang telah diuji tersimpan di dalam data logger untuk dilakukan analisis. Bagian keluaran merupakan karakterisasi sensor yang berupa *respond time*, deteksi limit, sensitivitas dan

kualitas ikan yang tercemar kandungan formalin yang diolah menggunakan *software* Origin Pro 2018.

4.1 Data Hasil Percobaan

4.1.1 Preparasi Sampel Larutan Formalin

Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan larutan formalin dengan kadar 40%. Preparasi sampel dilakukan dengan mengencerkan larutan formalin dengan aquades. Konsentrasi larutan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dari 100 mM sampai dengan 750 mM dengan interval 50 mM. Interval yang sangat kecil digunakan agar dapat mengetahui sekecil mungkin perubahan frekuensi yang terjadi. Sampel larutan formalin diencerkan dengan aquades menggunakan rumus pengenceran di bawah ini:

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

Keterangan :

M_1 = konsentrasi formalin pekat

V_1 = volume formalin pekat

M_2 = konsentrasi pengenceran yang diinginkan

V_2 = volume pengencer yang digunakan

4.1.2 Preparasi Sampel Larutan Formalin dan Ikan

Pengujian selanjutnya merupakan campuran antara daging ikan dengan larutan formalin yang sudah diencerkan. Ikan yang digunakan merupakan yang masih segar. Setelah massa ikan ditentukan kemudian dihaluskan untuk

didapatkan sari dari ikan untuk kemudian diencerkan dengan larutan formalin yang telah diencerkan untuk diambil sari ikannya.

Proses pengujian sampel yang pertama yaitu pengujian nilai frekuensi dasar (f_0). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi dasar yang nantinya akan dijadikan kontrol dalam pengujian. Pengambilan frekuensi dasar diambil selama 5 menit dengan pengulangan sebanyak 5 kali.

Pengujian selanjutnya merupakan pengambilan data frekuensi, baik dengan sampel larutan formalin maupun dengan sampel larutan formalin dan ikan, baik dengan elektroda emas murni maupun setelah pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA). Untuk selanjutnya dianalisis *respond time*, deteksi limit maupun sensitivitas.

4.1.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM)

Data hasil yang didapatkan dari pengujian sensor QCM baik dengan elektroda emas murni maupun pelapisan membran lipid *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) mengalami sebuah perubahan frekuensi resonansi sensor. Pengujian dilakukan dengan dua pengujian sampel yaitu dengan larutan formalin dan campuran antara larutan formalin dan ikan. Data yang diperoleh dari pengujian frekuensi dasar (f_0) ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM

Pengulangan	Frekuensi Dasar (f_0)	
	Elektroda Emas Murni (Hz)	Setelah Pelapisan Membran (Hz)
1	10002741.83	13635704.42
2	10002770.3	12159156.56
3	10002784.67	11305938.37
4	10002794.27	10633478.92
5	10002798.88	10266594.84
Rata-Rata	10002777.99	11600174.62

Frekuensi dasar (f_0) yang didapat pada tabel 4.1 digunakan sebagai kontrol. Setiap kali sebelum dilakukan pengujian maka dilakukan pengukuran frekuensi dasar terlebih dahulu. Apabila frekuensi yang didapat mengalami perbedaan tidak sama seperti di awal maka dilakukan pembersihan lagi dengan aquades yang dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer* untuk kemudian diukur lagi frekuensi dasarnya. Tujuan dari frekuensi dasar sendiri agar diketahui bahwa di sensor tersebut sudah benar-benar bersih tidak ada sisa-sisa sampel yang menempel, sehingga data yang dihasilkan bisa benar-benar akurat.

Dari tabel 4.1 dapat diketahui perbandingan antara frekuensi dasar elektroda emas murni dan juga frekuensi dasar setelah dilapisi dengan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA), bahwa setelah dilapisi dengan membran TOMA memiliki nilai frekuensi dasar yang lebih besar dibandingkan dengan elektroda emas murni.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sampel Larutan Formalin

Konsentrasi (mM)	Frekuensi sensor QCM	
	Elektroda Emas Murni (Hz)	Dilapisi membran lipid TOMA (Hz)
0	10056632.58	15620642.67
100	15423244.46	15366102.93
150	15425282.67	15279069.81
200	15614218.14	15775254.81
250	15729578.05	15535097.89
300	15795777.89	15748174.91
350	15883045.55	15947188.18
400	15754699.73	15845219.24
450	15869276.48	15913200.55
500	15879515.17	15964208.57
550	13497745.85	15964075.75
600	15855558.16	15941023.81
650	14634325.8	15946140.5
700	15938460.66	15913928.65
750	15923540.99	15958650.22

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sampel Larutan Formalin dan Ikan

Konsentrasi (mM)	Frekuensi Sensor QCM (Hz)	
	Tanpa Membran (Hz)	Dilapisi Membran Lipid TOMA (Hz)
0	15665086.14	14813355.97
100	15942671.81	12868564.63
150	13716387.8	13890943.69
200	13178741.3	13330044.89
250	13344829.35	12662444.05
300	14127214.38	13530558.3
350	14927502.41	12610288.41
400	13216738.3	13234494.02
450	13013406.95	15646836.86
500	14169684.42	15657657.83
550	14897461.26	13448084.13
600	15919809.35	14771672.94
650	15984940.35	15965960.06
700	15926426.96	13135187.57
750	15895745.26	15943980.3

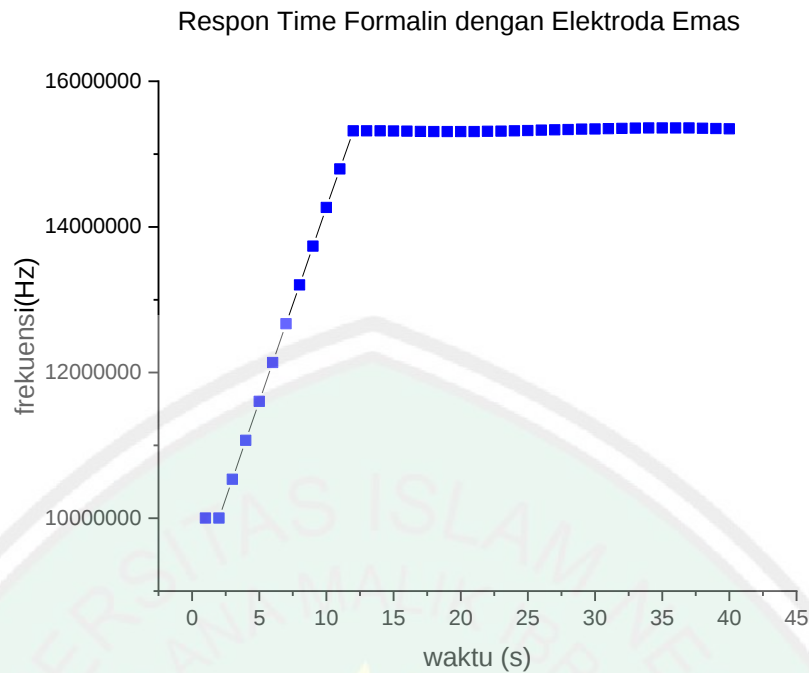
Data yang telah diperoleh seperti yang terdapat pada tabel 4.2 dan juga 4.3. Kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan *software* Origin Pro 2018 untuk mengetahui respond time, deteksi limit dan sensitivitas.

4.2 Data Hasil Pengujian *Respond Time*

Salah satu ciri dari sensor yang bagus, yaitu yang mempunyai *respond time* yang cepat. *Respond time* (waktu tanggap) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sensor untuk memberi tanggapan pada sampel yang digunakan sehingga mengalami perubahan variabel. Data hasil *respond time* diambil selama 40 detik pertama dalam satu kali penetasan sampel. Dan sampel yang digunakan pada hasil *respon time* sebesar 450 mM.

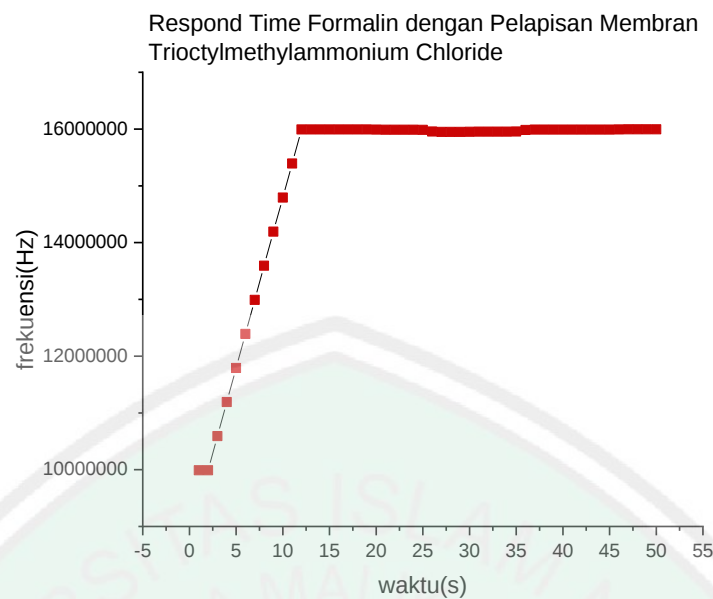
4.2.1 Deteksi *Respond Time* Larutan Formalin

Pengujian *respond time* sampel larutan formalin dilakukan dengan dua variasi sensor QCM yaitu elektroda emas murni dan setelah pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA). Data hasil yang diperoleh baik dari elektroda emas murni ataupun dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA), kemudian dilakukan pengolahan dengan membuat grafik hubungan antara waktu (s) dengan frekuensi (Hz).



Gambar 4.2 *Respond Time* Formalin dengan elektroda emas murni

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa *respond time* elektroda emas murni dengan sampel larutan formalin mengalami kenaikan setelah 3 detik dengan nilai frekuensi sebesar 10535600 Hz. Kemudian sensor terus mengalami kenaikan sampai 12 detik dengan nilai frekuensi sebesar 15319300 Hz. Detik ke-12 sampai dengan detik ke 300 sensor berada pada keadaan stabil (*steady state*).



Gambar 4.3 *Respond Time* Formalin dengan Pelapisan Membran
Trioctylmethylammonium Chloride (TOMA)

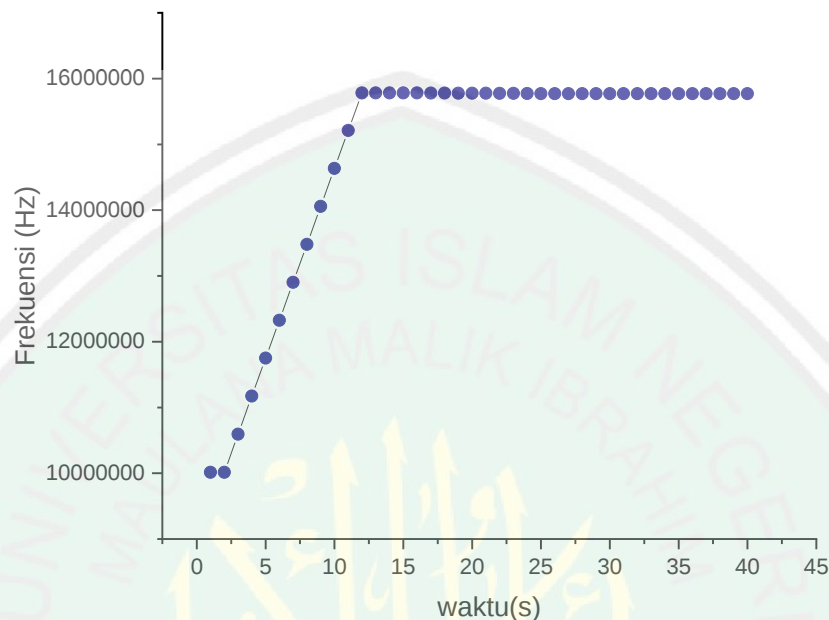
Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa sensor mulai merespon sampel setelah 3 detik dengan nilai frekuensi sebesar 10590500 Hz. Kemudian sensor terus mengalami kenaikan hingga setelah 12 detik dengan nilai frekuensi sebesar 15993000 Hz. Setelah 12 detik hingga detik ke-300 sensor berada pada keadaan stabil (*Steady state*).

4.2.2 Deteksi *Respond Time* Larutan Formalin Dan Ikan

Pengujian *respond time* selanjutnya dengan sampel larutan formalin dan ikan. Sampel formalin dan ikan diuji dengan dua variasi sensor yaitu elektroda emas murni dan juga dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA). Untuk proses pengujiannya sama seperti dengan pengujian pada sampel formalin. Gambar 4.4 merupakan grafik *respond time* sensor QCM

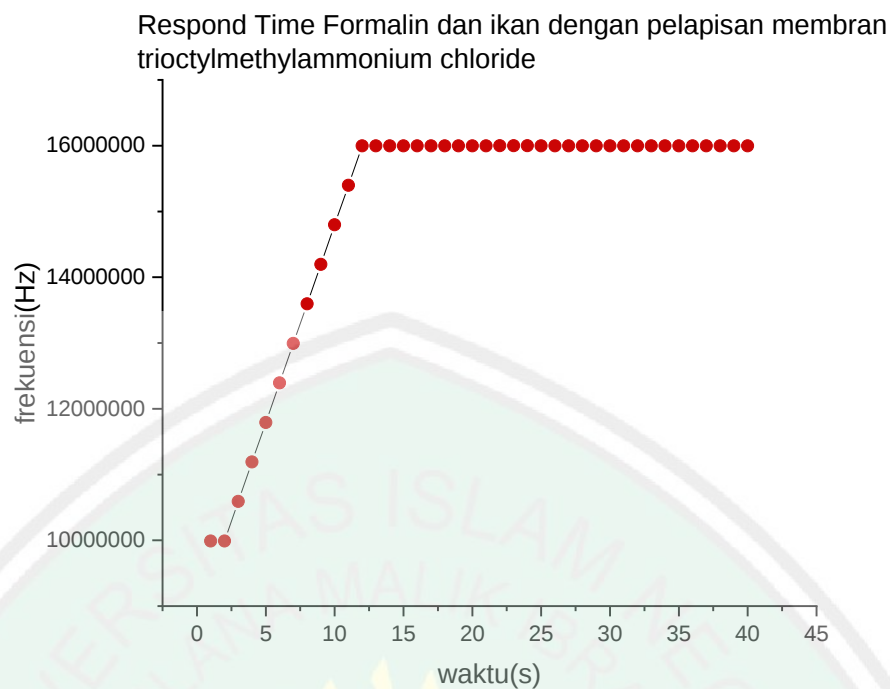
dengan sampel formalin dan tanpa pelapisan membran, dengan grafik hubungan waktu (s) dan frekuensi (Hz) seperti pada gambar dibawah.

Respond Time Formalin dan ikan dengan Elektroda Emas Murni



Gambar 4.4 *Respond Time* Formalin dan Ikan dengan elektroda emas murni

Gambar 4.4 merupakan *respond time* sampel larutan formalin dan ikan, dari grafik 4.4 dapat diketahui bahwa sensor mulai mengalami kenaikan setelah 3 detik dengan nilai frekuensi sebesar 10594500 Hz. Kemudian sensor terus mengalami kenaikan hingga setelah 12 detik dengan nilai frekuensi sebesar 15993000 Hz. Setelah 12 detik hingga 300 detik sensor berada pada keadaan stabil (*steady state*).



Gambar 4.5 *Respond Time* Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran *Trioctylmethyammonium Chloride* (TOMA)

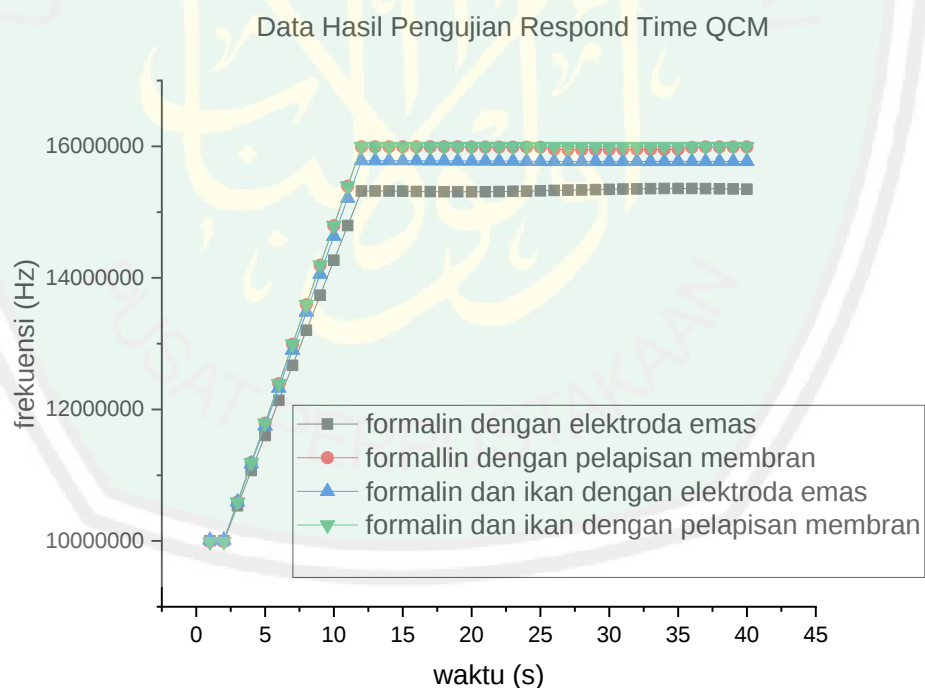
Gambar 4.5 merupakan hasil *respond time* larutan formalin dan ikan dengan pelapisan membran *Trioctylmethyammonium Chloride* (TOMA). Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa sensor mulai mengalami kenaikan setelah 3 detik dengan nilai frekuensi sebesar 10590400 Hz. Kemudian sensor terus mengalami kenaikan hingga setelah 12 detik dengan nilai fekuensi sebesar 15998100 Hz.

Tabel 4.4 Rincian Data Hasil Pengujian *Respon Time*

No	Jenis Sampel	Waktu Naik (s)	Waktu <i>Steady State</i> (s)
1	Formalin Dengan Elektroda Emas	3	12
2	Formalin Dengan Elektroda Emas Dengan Pelapisan Membran TOMA	3	12

3	Formalin Dan Ikan Dengan Elektroda Emas	3	12
4	Formalin Dan Ikan Dengan Elektroda Emas Dengan Pelapisan Membran TOMA	3	12

Tabel 4.4 merupakan hasil *respond time* sampel larutan formalin dan juga larutan formalin dan ikan dengan dua variasi sensor yaitu dengan elektroda emas murni dan setelah pelapisan membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA). Dari data tersebut dapat diketahui bahwa sensor mengalami kenaikan setelah 3 detik dan waktu *steady state* setelah 12 detik baik dengan pelapisan membran maupun tanpa pelapisan membran.



Gambar 4.6 Data Hasil Pengujian *Respond Time* Sensor QCM

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa *respond time* untuk sampel larutan formalin maupun sampel larutan formalin dan ikan dengan pengujian

elektroda emas maupun setelah pelapisan membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA) memiliki waktu yang sama yaitu mulai naik pada detik ke-3 hingga detik ke-12. Namun, dari gambar 4.6 diketahui bahwa yang membedakan merupakan frekuensi yang didapat. Dapat diketahui bahwa pengujian dengan elektroda emas murni menggunakan sampel larutan formalin dan ikan memiliki frekuensi yang lebih besar dibandingkan dengan larutan formalin. Hal ini dikarenakan dari persamaan Sauerberry akan menghasilkan perubahan frekuensi (Δf) yang negatif, dengan kata lain frekuensi kritis akan menurun sebanding dengan banyaknya molekul yang menempel pada permukaan kristal. Jadi, dapat diketahui bahwa setelah pelapisan membran TOMA, lebih banyak molekul yang diserap oleh sensor dibandingkan sebelum pelapisan membran.

4.3 Data Hasil Pengujian Deteksi Limit

Karakterisasi sensor yang perlu diketahui selanjutnya merupakan deteksi limit sensor. Deteksi limit merupakan batas kemampuan dari suatu sensor untuk mendeteksi terjadinya perubahan nilai yang dideteksi. Batas satu limit sensor terbagi menjadi dua yaitu limit bawah dan limit atas sensor. Limit bawah sensor merupakan batas minimal sensor mulai merespon perubahan variabel objek yang dideteksi. Limit bawah pada sensor dimulai setelah daerah mati (*dead band*) sensor. Limit atas sensor adalah batas maksimal sensor dalam mendeteksi objek. Limit atas juga disebut sebagai batas ambang sensor sebelum daerah saturasi.

Pengujian dilakukan dengan sampel larutan formalin dan campuran antara larutan formalin dan ikan, dilakukan dari konsentrasi sangat kecil yaitu 0 mM sampai 750 Mm. Apabila konsentrasi sampel yang digunakan semakin tinggi maka tingkat kepekatan sampel juga tinggi, sehingga dapat mempengaruhi atau

terjadi perubahan nilai frekuensi pada sensor QCM. Untuk menentukan deteksi limit pada percobaan ini dilakukan dengan membuat sebuah grafik hubungan antara konsentrasi dan frekuensi sensor yang diperoleh dari data hasil pengujian yang sudah dilampirkan.

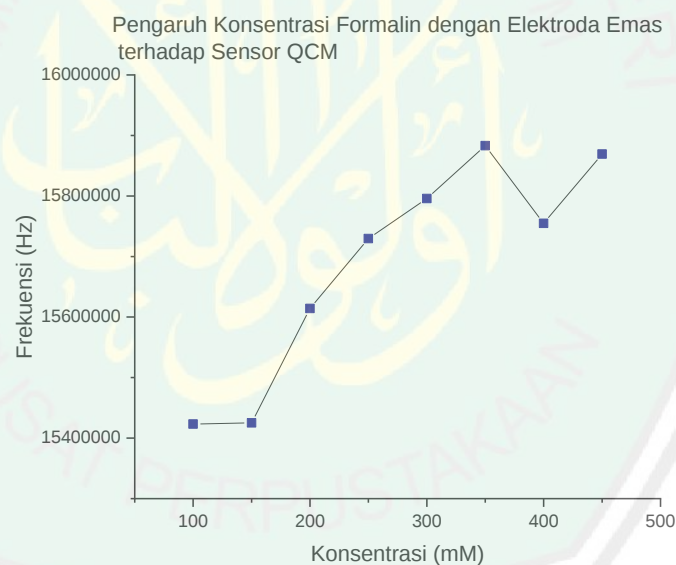
Sensitivitas merupakan salah satu karakteristik sensor. Sensitivitas sensor adalah kepekaan sensor dalam menanggapi respon sampel. Penentuan sensitivitas sensor dengan menganalisis daerah kerja sensor yang berada pada deteksi limit. Deteksi limit terdiri dari daerah mati, daerah kerja, dan daerah saturasi. Daerah kerja sensor berada diantara daerah mati dan daerah saturasi. Daerah kerja nantinya akan diregresi linear pada bagian daerah kerja sensor. Kelinearan grafik akan menghasilkan persamaan hubungan linear. Nilai sensitivitas sensor yang dianalisis yaitu kemiringan kurva (*slope*) daerah kerja pada sensor dan koefisien determinasinya (R^2). Berikut adalah hubungan linear kurva yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$y=a+bx \quad (4.2)$$

Persamaan y adalah nilai output sensor yang berupa nilai frekuensi osilasi sensor, maka nilai frekuensi (y) bergantung pada variasi konsentrasi sampel (x). variabel a adalah nilai frekuensi osilasi (*output*) sensor ketika input (sampel uji) bernilai nol. Variabel a bisa disebut dengan *intercept* (gelinciran) pada analisis regresi linear. Variabel x pada persamaan tersebut yaitu nilai masukan sensor yang pada penelitian ini berupa variasi konsentrasi larutan sampel. Selain persamaan 4.2. analisis regresi linear juga menunjukkan nilai koefisien determinasi disimbolkan dengan R^2 . R square atau koefisien determinasi (R^2) menunjukkan seberapa besar pengaruh variasi konsentrasi sampel (x) terhadap

nilai *output* sensor (y). nilai R^2 diartikan sebagai seberapa besar pengaruh variasi sampel terhadap output sensor. Ketika nilai R^2 mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa sampel uji mempunyai pengaruh yang baik karena mendekati linear. Maka dapat dikatakan bahwa sampel uji mempunyai pengaruh yang baik karena mendekati linear. Nilai sensitivitas sensor diperoleh dari nilai *slope* garis regresi yang diambil pada daerah linear (daerah kerja sensor). Tingkat ketepatan dari nilai sensitivitas ini dapat ditunjukkan oleh besar R^2 yang dihasilkan.

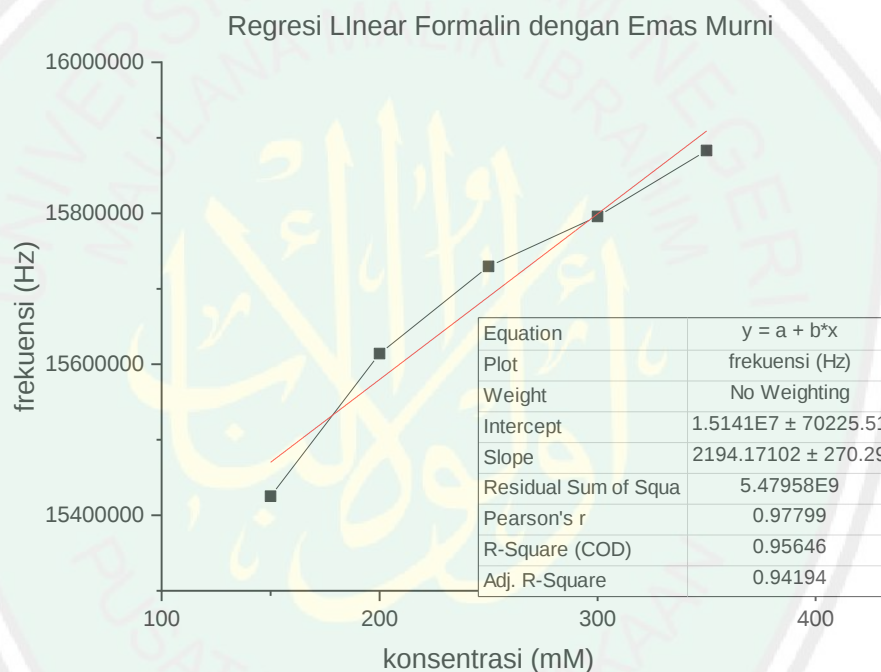
4.3.1 Deteksi Limit Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni Terhadap Sampel Formalin



Gambar 4.7 Pengaruh Konsentrasi Larutan Formalin Dengan Elektroda Emas Murni

Data hasil pengujian deteksi limit sensor QCM dengan elektroda emas murni terhadap sampel formalin seperti ditunjukkan pada gambar 4.7. Kenaikan frekuensi osilasi pada pengujian ini secara signifikan dan dimulai dari

konsentrasi 150 mM dengan nilai frekuensi sebesar 15423244 Hz. Kenaikan ini terjadi sampai konsentrasi tinggi yaitu 350 mM dengan frekuensi sebesar 15883046 Hz. Untuk limit bawah pada pengujian ini terdapat pada konsentrasi 100 mM dengan nilai frekuensi sebesar 15423244 Hz. Dari gambar 4.7 juga dapat diketahui bahwa pada pengujian sampel formalin tanpa pelapisan membran memiliki daerah mati (*dead band*) pada konsentrasi <150 mM, dan juga memiliki daerah saturasi pada konsentrasi >350 mM.



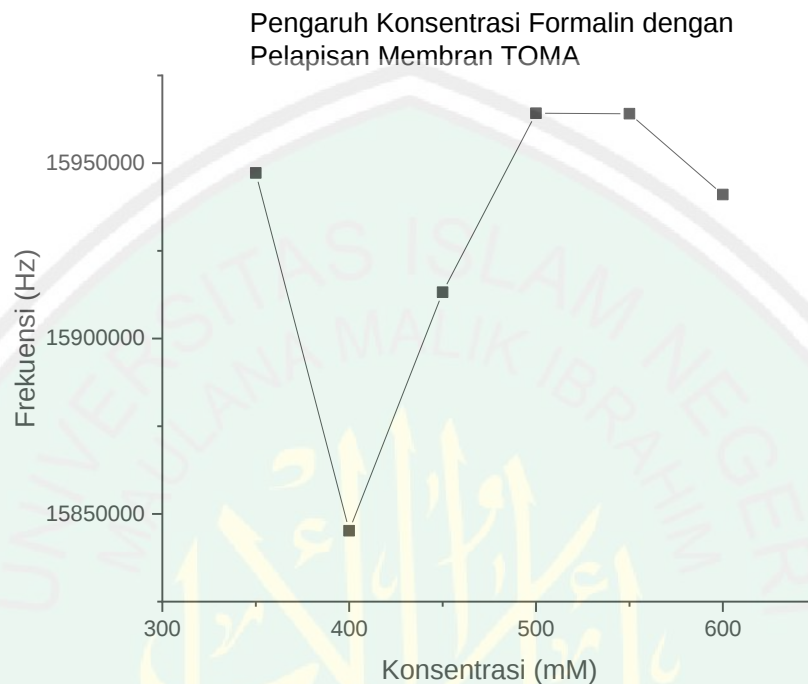
Gambar 4.8 Regresi Linear Formalin Menggunakan Sensor QCM Elektroda Emas Murni

Hasil analisis regresi linear pada pengujian formalin dengan elektroda emas murni diperoleh persamaan $y = 1.5141E7 + 2194.17102x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.95646$. Nilai sensitivitas sensor terhadap sampel larutan formalin yaitu 2194 Hz/mM, sedangkan penaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 95,64%.

Tabel 4.5 Analisis Regresi Linear Sensor QCM Elektroda Emas Murni Dengan Sampel Larutan Formalin

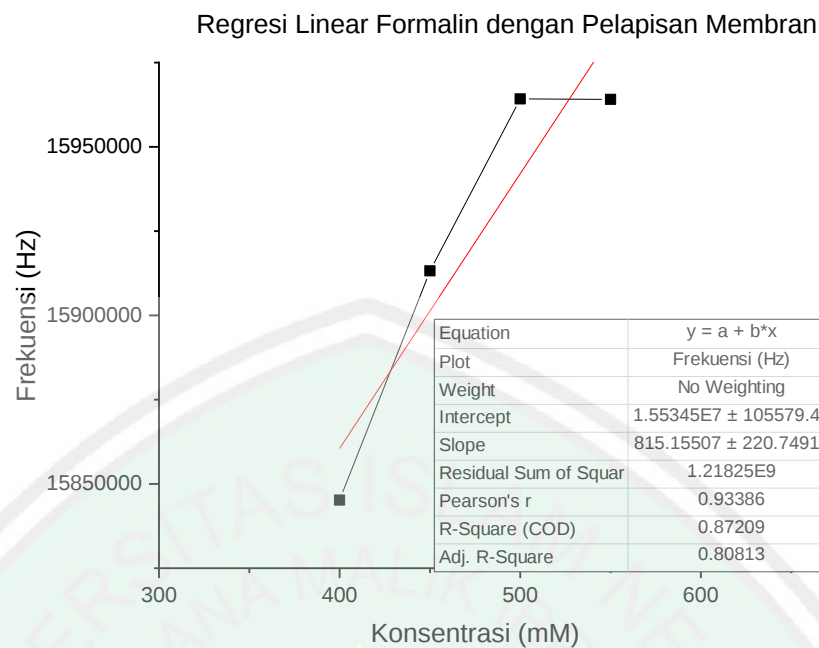
Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi (Hz)
Weight	No Weighting
Intercept	1.5141E7±70225.51
Slope	2194.17102±270.29
Residual Sum of Square	5.47958E9
Pearson's r	0.97799
R-Square (COD)	0.95646
Adj. R-Square	0.94194

4.3.2 Deteksi Limit Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA) Terhadap Sampel Formalin



Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi Formalin Dengan Pelapisan Membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA)

Data hasil pengujian deteksi limit sensor QCM tanpa pelapisan membran *Triocylmethylammonium Chloride* (TOMA) terhadap sampel formalin seperti ditunjukkan pada gambar 4.9. Kenaikan frekuensi osilasi pada pengujian ini secara signifikan dan dimulai dari konsentrasi 400 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13216738 Hz. Kenaikan ini terjadi sampai konsentrasi tinggi yaitu 600 mM dengan frekuensi sebesar 15984940 Hz. Untuk limit bawah pada pengujian ini terdapat pada konsentrasi 400 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13216738 Hz.



Gambar 4.10 Regresi Linear Formalin menggunakan Sensor QCM dengan Pelapisan Membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA)

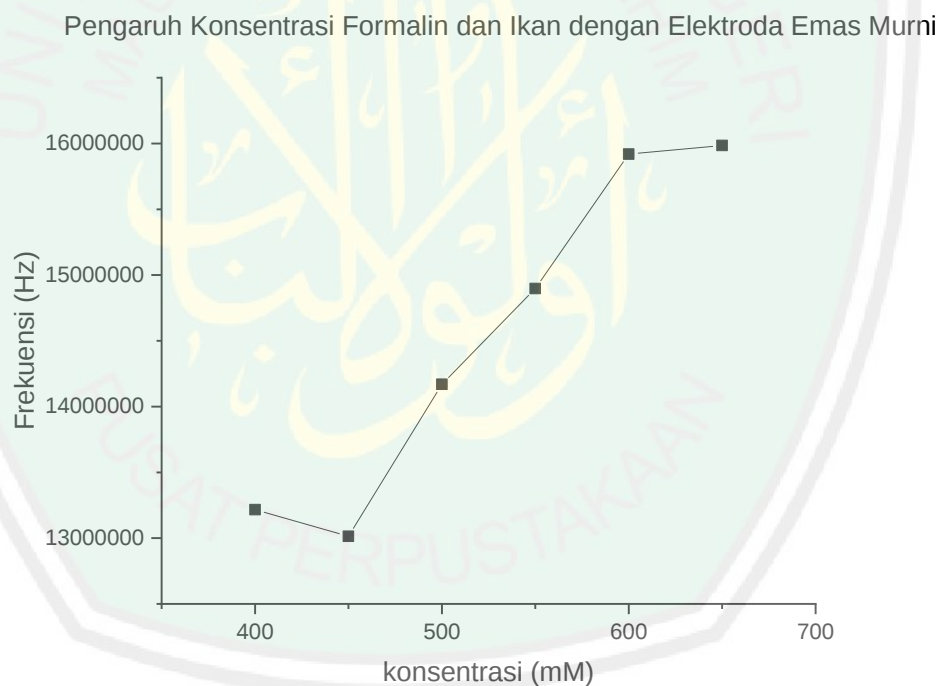
Hasil analisis regresi linear pada pengujian formalin dengan menggunakan elektroda emas murni seperti pada gambar 4.10 diperoleh persamaan $y = 1.55345E7 + 815.15507x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.87209$. Nilai sensitivitas sensor terhadap sampel larutan formalin yaitu 815 Hz/mM, sedangkan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 87.2%.

Tabel 4.6 Analisis Regesi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Trioctylmerhtylammonium Chloride* (TOMA) Dengan Sampel Larutan Formalin

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi (Hz)
Weight	No Weighting

Intercept	1.55345E7±105579.49
Slope	815.15507±220.74915
Residual Sum of Square	1.21825E9
Pearson's r	0.93386
R-Square (COD)	0.87209
Adj. R-Square	0.80813

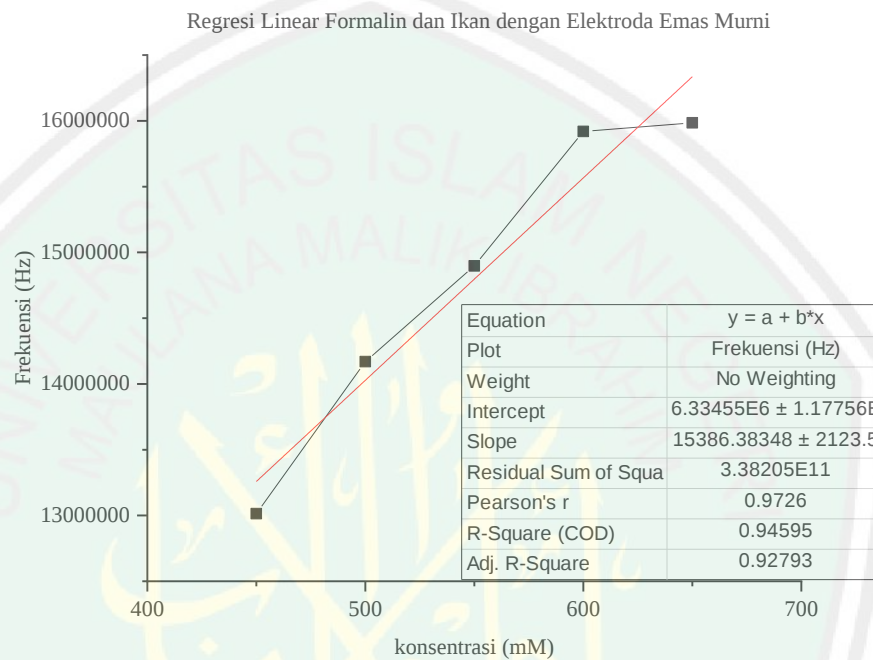
4.3.3 Deteksi Limit Sensor QCM Elektroda Emas Murni Terhadap Larutan Formalin Dengan Ikan



Gambar 4.11 pengaruh konsentrasi formalin dan ikan Dengan Elektroda Emas Murni

Data hasil pengujian deteksi limit sensor QCM dengan elektroda emas murni terhadap sampel formalin seperti ditunjukkan pada gambar 4.11. Kenaikan frekuensi osilasi pada pengujian ini secara signifikan dan dimulai dari

konsentrasi 450 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13013406.95 Hz. Kenaikan ini terjadi sampai konsentrasi tinggi yaitu 650 mM dengan frekuensi sebesar 15919809.35 Hz. Untuk limit bawah pada pengujian ini terdapat pada konsentrasi 450 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13013406.95 Hz.



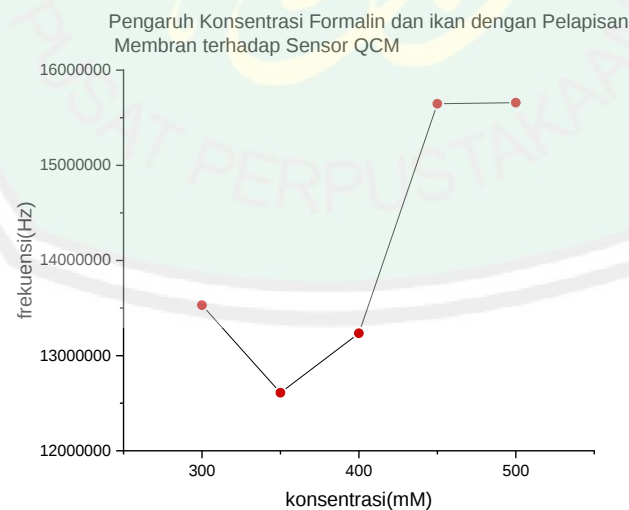
Gambar 4.12 Regresi Linear dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni

Hasil analisis regresi linear pada pengujian formalin dengan menggunakan elektroda emas murni seperti terdapat pada gambar 4.12 diperoleh persamaan $y = 6.33455E6 + 15386.38348x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.94595$. nilai sensitivitas sensor terhadap sampel larutan formalin yaitu 15386.38348 Hz/mM, sedangkan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 94.59%.

Tabel 4.7 Analisis Regesi Linear Sensor QCM Dengan Elektroda Emas Murni Dengan Sampel Larutan Formalin

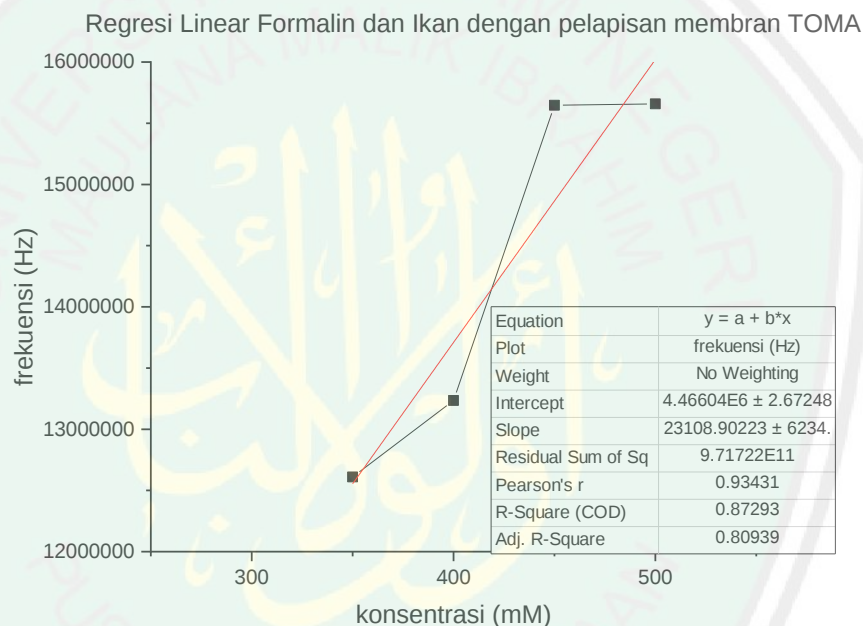
Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b*x$
Plot	Frekuensi (Hz)
Weight	No Weighting
Intercept	7.54728E6±976913
Slope	13307.42533±1836.6
Residual Sum of Square	5.90325E11
Pearson's r	0.96395
R-Square (COD)	0.9292
Adj. R-Square	0.9115

4.3.4 Deteksi Limit Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran Terhadap Sampel Larutan Formalin Dengan Ikan



Gambar 4.13 Pengaruh Konsentrasi Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA)

Data hasil pengujian deteksi limit sensor QCM tanpa pelapisan membran *Triocylmethyllammonium Chloride* terhadap sampel formalin seperti ditunjukkan pada gambar 4.13. Kenaikan frekuensi osilasi pada pengujian ini secara signifikan dan dimulai dari konsentrasi 350 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13530558 Hz. Kenaikan ini terjadi sampai konsentrasi tinggi yaitu 500 mM dengan frekuensi sebesar 15657658 Hz. Untuk limit bawah pada pengujian ini terdapat pada konsentrasi 350 mM dengan nilai frekuensi sebesar 13530558 Hz.



Gambar 4.14 Regresi Linear Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran *Triocylmethyllammonium Chloride* (TOMA)

Hasil analisis regresi linear pada pengujian formalin dan ikan setelah pelapisan membran TOMA terdapat pada gambar 4.14, diperoleh persamaan $y = 4.46606E6 + 23108.90223x$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0.87293$. Nilai sensitivitas sensor terhadap sampel larutan formalin yaitu 23108 Hz/mM, sedangkan pengaruh konsentrasi sampel terhadap frekuensi osilasi sensor sebesar 87.3%.

Tabel 4.8 Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Trioctylmerhylammonium Chloride* (TOMA) Dengan Sampel Larutan Formalin dan Ikan

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi (Hz)
Weight	No Weighting
Intercept	4.46604E6±2.67248
Slope	23108.90223±6234
Residual Sum of Square	9.71722E11
Pearson's r	0.93431
R-Square (COD)	0.87293
Adj. R-Square	0.80939

Hasil analisa deteksi limit sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) ditunjukkan pada rincian tabel dibawah.

Tabel 4.9 Data Hasil Analisa Deteksi Limit Sensor QCM

No	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (mM)	Frekuensi Limit Bawah (Hz)	Daerah Mati	Daerah Kerja
1	Formalin Dengan Elektroda Emas	150	15423244.46	<150	150-350
2	Formalin Dengan	400	13216738	<400	400-550

	Pelapisan Membran TOMA				
3	Formalin Dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni	450	13013406.95	<450	450-650
4	Formalin dan Ikan Dengan Pelapisan Membran TOMA	350	13530558.3	<350	350-500

Data pada tabel 4.9 menunjukkan hasil analisa deteksi limit terhadap dua sampel yaitu formalin dan juga campuran antara formalin dan ikan. Pengujian deteksi limit sensor QCM dengan sampel formalin menunjukkan nilai limit bawah yang rendah daripada pengujian dengan sampel formalin dan ikan. Larutan formalin dengan elektroda emas murni yang diujikan dapat merespon pada konsentrasi 100 mM, sedangkan pada larutan formalin dan ikan tanpa pelapisan membran dapat merespon pada konsentrasi 400 mM. Untuk sampel yang diujikan pada sensor QCM dengan pelapisan membran dapat diketahui ketika sampel formalin memiliki limit bawah 450 mM, sedangkan apabila larutan formalin dan ikan memiliki nilai limit bawah pada saat konsentrasi 300 mM.

Menentukan daerah kerja sensor yaitu ketika sensor sudah mulai merespon adanya penurunan sampel. Daerah kerja terletak diantara daerah mati (*dead zone*) dan daerah saturasi. Pengujian sensor QCM dengan menggunakan sampel

formalin dan juga formalin dan ikan tidak mencapai daerah saturasi, karena konsentrasi yang diambil dibatasi dari konsentarsi 100-650 mM.

Tabel 4.10 Hasil Analisis Sensitivitas Sensor QCM

No	Jenis Penelitian	Konsentrasi limit bawah	Persamaan Regresi Linear	Koefesien determinasi (R^2)
1	Formalin Dengan Elektroda Emas Murni	150	$y=1.5141E7+2194.17102x$	0.95646
2	Formalin Dengan Pelapisan Membran TOMA	400	$y=1.55345E7+815.15507x$	0.8720
3	Formalin Dan Ikan Dengan Elektroda Emas Murni	450	$y=6.33455E6+15386.38348x$	0.94595
4	Formalin Dan Ikan Dengan Pelapisan Membran TOMA	350	$y=4.46604E6+23108.90223x$	0.8729

4.4 Pembahasan

Sensor merupakan salah satu komponen yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memilih sensor yang baik. Sensor yang baik untuk digunakan memiliki beberapa karakteristik yang harus terpenuhi. Karakteristik sensor yang harus diketahui diantaranya waktu tanggap (*respond time*), deteksi limit, sensitivitas dan linearitas sensor. Pada penelitian ini digunakan dua sampel yaitu larutan formalin dan juga larutan formalin dan ikan, kemudian sampel diujikan dengan dua variasi sensor yaitu dengan elektroda emas dan setelah pelapisan membran lipid *Triethylmethylammonium Chloride*. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software* Origin Pro 2018 untuk diketahui *respond time*, deteksi limit dan juga sensitivitas dari sensor.

Hasil untuk karakterisasi yang pertama yaitu *respond time*. Dapat diperoleh hasil *respond time* bahwa *respond time* pada sensor QCM baik dengan menggunakan sampel larutan formalin dan juga larutan formalin dan ikan dengan menggunakan elektroda emas maupun dilapisi dengan membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA) diketahui memiliki *respond time* yang cepat yaitu mulai mengalami kenaikan pada waktu ke-3 sampai waktu ke-12. Dan juga dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa sensor QCM merespon sampel dengan baik dengan elektroda emas murni maupun setelah dilapisi membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA).

Membran lipid *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA) memiliki rumusan senyawa $C_{25}H_{54}ClN$ dengan gugus fungsi luar Cl^- . Gugus Cl^- yang akan

berinteraksi dengan larutan formalin yang memiliki rumus kimia CH_2O , dimana struktur dari formalin yaitu $\text{H}-\text{CHO}$. Ion Cl^- akan berinteraksi dengan ion H^+ yang terdapat pada larutan formalin, kemungkinan itu yang dinamakan interaksi protonasi. Interaksi protonasi merupakan kemampuan suatu molekul untuk mengikat proton dari molekul lain, dimana muatan positif H^+ ditambahkan ke gugus Cl^- .

Sensitivitas sensor QCM dengan sampel larutan formalin dengan elektroda emas murni memiliki sensitivitas lebih besar dibandingkan dengan yang telah dilapisi dengan membran TOMA. Apabila formalin bereaksi dengan asam chlorida akan menghasilkan senyawa bisoklorometil eter yang sangat beracun. Sehingga dari data yang didapat diketahui bahwa ketika dengan elektroda emas murni memiliki sensitivitas yang lebih tinggi daripada dengan pelapisan membran TOMA. Karena apabila setelah dilapisi dengan membran TOMA maka senyawa asam chlorida akan bereaksi dengan formalin dan menghasilkan senyawa bisoklorometil eter, sehingga yang dideteksi oleh sensor QCM menjadi lebih kecil dibandingkan dengan elektroda emas murni.

Sedangkan untuk sampel larutan formalin dan ikan sensor QCM yang telah dilapisi dengan membran TOMA memiliki sensitivitas yang tinggi dibandingkan dengan elektroda emas murni. Ini dikarenakan larutan formalin sudah bereaksi dengan ikan, sehingga ketika diujikan dengan sensor QCM yang telah dilapisi dengan membran TOMA menyerap massa yang lebih besar dibandingkan dengan elektroda emas murni.

Deteksi limit sensor didapat dari daerah kerja sensor dimana daerah kerja sensor merupakan setelah daerah mati (*dead band*) hingga sebelum daerah saturasi sensor. Apabila suatu sensor berada pada daerah mati dan daerah saturasi maka sensor tersebut tidak dapat mendeteksi suatu sampel. Untuk penelitian ini digunakan sensor QCM yang merubah perubahan massa menjadi frekuensi. Sehingga, dapat diketahui bahwa ketika pada daerah mati dan daerah saturasi sensor tidak dapat mendeteksi perubahan massa yang terjadi pada QCM.

Hasil limit bawah sensor QCM ditentukan dengan perbedaan frekuensi setiap konsentrasi. Nilai limit bawah sensor QCM elektroda emas murni memiliki daerah kerja yang lebih rendah daripada sensor yang dilapisi dengan membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA). Sensor QCM dengan membran *Triethylmethylammonium Chloride* (TOMA) memiliki frekuensi keluaran yang lebih kecil daripada dengan tanpa pelapisan membran. Sensor yang telah dilapisi dengan membran memiliki masa yang lebih besar sehingga akan menghasilkan perubahan frekuensi yang lebih kecil.

4.5 Kajian Integrasi Islam

Sensor QCM merupakan salah satu sensor yang merubah perubahan massa menjadi frekuensi. sensor QCM dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa kimia yang tidak dapat dideteksi dengan panca indra. Salah satu bahan kimia yang tidak dapat dideteksi dengan panca indra adalah formalin. Akhir-akhir ini banyak sekali pedagang yang tidak bertanggung jawab mencampurkan formalin kedalam ikan, agar ikan tersebut lebih tahan lama ketika sampai ke

konsumen. Larangan berbuat kecurangan yang dilakukan pedagang seperti terdapat dalam surah al-mutaffifin ayat 1-6:

يُولُوا لِلْمِطِّ فَفِينَ (١) ذِينَالَ إِذَا اكْتَالُوا عَلَى سِتْوَفُوتَاسِ نَ (٢) وَإِذَا كَالُوهُمْ وَزَنُواؤُ هُمْ وَرُسْخِي (٣)نَ
أَلَا وَأَيُّظُنُّ لَنِكَ أَنَّهُمْ بَعُومَ ثُونَ (٤) يَلِ (٥) (مِعْظِيمُ يَوْمَ يَقُومُ النَّاسُ لِرَبِّ الْعَالَمِينَ

Artinya : kecelakaan besarlah bagi orang-orang yang curang. (Yaitu) orang-orang yang apabila menerima takaran dari orang lain, mereka minta dipenuhi. Dan apabila mereka menakar atau menimbang untuk orang lain, mereka mengurangi. Tidakkan orang-orang itu yakin bahwa sesungguhnya mereka akan dibangkitkan. Pada suatu hari yang besar. (Yaitu) hari (ketika) manusia berdiri menghadap Rabb semesta alam (QS-Al-Mutaffifin ayat 1-6)

Mengutip buku *Asbabun Nuzul: Sebab Turunnya Ayat Al-Qur'an*, tafsir tentang ayat itu dijelaskan Imam an-Nasai dan Ibnu Majah dengan sanad yang sahih. Mereka meriwayatkan dari Ibnu Abbas yang berkata sebagai berikut. "Ketika Nabi *shalallahu 'alaihi wasallam* baru saja tiba di Madinah (dalam rangka hijrah dari Makkah), orang-orang di sana masih sangat terbiasa mengurang-ngurangi timbangan (dalam jual-beli). Allah lantas menurunkan ayat 'Celakalah bagi orang-orang yang curang.' Maka setelah turunnya ayat ini, mereka khususnya orang-orang Muslimin di Madinah selalu menepati takaran dan timbangan. Kemudian disebutkan juga di salah satu hadits yang diriwayatkan oleh Muslim pada nomer 147 seperti dibawah ini:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ مَرَّ عَلَى طَبْصِرَةِ عَامٍ، فَأَدْخَلَ يَدَهُ فِيهَا، فَنَالَتْ أَصَابِعُهُ
فَقَالِبَلًا، هَذَا يَا صَاحِبَ الطَّعَامِ؟ قَالَ أَصَابَتْهُ السَّمَاءُ يَا رَسُولَ اللَّهِ، قَالَ أَفَلَا جَعَلْتَهُ فَوْقَ الطَّعَامِ كَيْ
يَرَاهُ النَّاسُ؟ عَشِمَنْ فَلَيْسَ مِنِّي (رواه مسلم)

Artinya: dari Abu Hurairah RA berkata, bahwa Rasulullah SAW melewati (pedagang) dengan setumpuk makanan, lalu beliau memasukkan tangannya ke dalam tumpukan makanan tersebut. Lalu beliau SAW mendapati jari-jari beliau basah, maka beliau bertanya: "apa ini wahai pemilik makanan?" sang pemiliknya menjawab, "Makanan tersebut terkena air hujan wahai Rasulullah." Beliau SAW bersabda: "mengapa kamu tidak meeletakkannya di bagian atas maknan agar manusia dapat melihatnya. Barangsiapa menipu maka dia buka dari golongan kami." (HR. Muslim, Hadits No 147)

Salah satu cerita dibalik hadits diatas yaitu Rasulullah sedang melakukan pengecekan ke pasar, kemudian Rasulullah SAW mencelupkan tangannya kedalam gandum dan gandum tersebut dalam keadaan basah. Kemudian Rasulullah bertanya kepada pedagang dan pedagang pun menjawab bahwa gandum tersebut habis kehujanan. Kemudian Rasulullah memerintahkan agar penjual tersebut meletakkan gandum yang basah berada diatas agar pembeli dapat mengetahuinya. Jadi, dari hadits tersebut dapat diketahui bahwa Rasulullah menyuruh agar pedagang menjual dagangannya secara jujur.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dengan analisis data yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil *respond time* pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) baik menggunakan sampel larutan formalin maupun dengan sampel larutan formalin dan ikan, dengan elektroda emas murni maupun dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* dapat diketahui bahwa waktu tanggap sensor dimulai dari detik ke-3 sampai detik ke-12. Waktu tanggap sensor memiliki waktu yang sama untuk semua sampel. Sehingga, dapat diketahui bahwa sensor QCM merespon sampel dengan baik dengan elektroda emas murni maupun dengan dilapisi membran *Trioctylmethylammonium Chloride* (TOMA).
2. Hasil deteksi limit pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan sampel formalin dapat diketahui bahwa, ketika dengan elektroda emas murni memiliki daerah kerja pada konsentrasi 100 mM-450 mM. Sedangkan ketika dengan pelapisan membran memiliki daerah kerja dari 400 mM – 650 mM. Sedangkan untuk sampel selanjutnya yaitu larutan formalin dan ikan, apabila dengan elektroda emas murni memiliki daerah kerja pada konsentrasi 400 mM -650 mM. Sedangkan sensor dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* memiliki daerah kerja pada konsentrasi 300 mM - 500 mM. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa ketika sensor

QCM dengan elektroda emas dapat mendeteksi sensor pada konsentrasi rendah.

3. Sensitivitas sensor QCM pada sampel larutan formalin dengan elektroda emas murni memiliki nilai 1343 Hz/mM, sedangkan apabila dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* memiliki nilai sensitivitas sebesar 13307 Hz/mM. Ketika pengujian larutan formalin dan ikan dengan elektroda emas memiliki nilai sensitivitas sebesar 364 Hz/mM, sedangkan apabila dengan pelapisan membran memiliki nilai sensitivitas sebesar 14581 Hz/mM. Dari data yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa sensor dengan pelapisan membran *Trioctylmethylammonium Chloride* memiliki nilai yang lebih tinggi baik dengan sampel formalin maupun dengan sampel formalin dan ikan.

5.2. Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan setelah melakukan penelitian ini yaitu:

1. Konsentrasi sampel perlu ditingkatkan untuk mengetahui limit atas dan saturasi sensor.
2. Penggunaan jenis membran lipid perlu ditambah sehingga dapat diketahui membran apa saja yang lebih selektif terhadap sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, E dan Evi, L. 2011. *Pengawetan dan Pengolahan Ikan*. Jakarta: Kanisius.
- Afniza. 2008. *Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52* (Tugas Akhir). Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Departemen Agama RI. 2009. *Al-Qur'an dan terjemah*. Bandung:Jabal.
- Alva, S, dkk. 2016. *Optimization Of Screen Printed Reference Electrode Based On Charge Balance And Poly (Butyl Acrylate) Photocurable Mebrane*. International Journal of Innovation in Mechanical Engineering & Advanced Materials (IJIMEAM). Vol.2 (No.1). 2016. pp. 10-15. ISSN: 2477-541X
- Amalinda, F. 2016. *Analisis Pola Keluaran Prototipe Sensor Rasa Portable Campuran Lipid Dioctyl Phosphate dan Trioctyl Methyl Ammonium Chloride*. Journal of Sainstek 8(1): 20-30
- As-suyuti, jalaluddin. 2008. *Asbabun Nuzul Sebab Turunnya Ayat Al-Qu'ran*. Jakarta: Gema Insani
- Atikah. 1994. *Pembuatan dan karakterisasi Elektroda selektif Nitrat tipe Kawat Terlapis*. Tesis. Institut teknologi Bandung, Bandung.
- Atmel Corporation. 2007. *Atmel 8051 Microcontrollers Hardware Manual*. Atmel U.S.A.: Corporation, San Jose,
- BPOM RI. 2008. *Formalin (Larutan Formaldehyde)*. Jakarta
- Buck, R. P. dan Lindner. E. 1994. *IUPAC Recommendations for Nomenclature of Ion-Selective Electrode*. Pure and Appl.Chem.66.2527-2536.
- Fluka. 2001. *Chemika -Biochemika*.
- Gulnaz. 2017. *Synthesis And Characterization Of Gold And Gold-Cuprous Oxide Nanostructures*. Tesis. Faculty of Science Universiti Teknologi Malaysia
- H. Jie. 2006. *Technical Background, Applications and Implementation of Quartz Crystal Microbalance Systems*. Universityof Jyvaskyla.
- Harjunadi, Reza Barkah, dkk. 2015. *Metode Pencacahan Frekuensi Reciprocal untuk Sensor Gas Resonator Kuarsa yng Diimplementasikan pada Field Programmable Gate Array*. Surabaya:Jurnal Teknik ITS. Vol. 4, No.1:7-11.

- Harmita. 2010. Deteksi Formalin dan Potensi E-nose Sebagai Instrumen Uji Formalin. <http://digilib.unimus.ac.id/files/disk1/114/jtptunimus-gdl-ajibshobac-5661-2-babii.pdf>. Diakses 24 Juli 2019.
- Hidayat, Aldi Satria, dkk. 2014. *Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂*. Bandung:e-Proceeding of Engineering . Vol.1, No.1:497-508
- I.Kadir dan Harsojo. 2013. *Penggunaan Formalin dan Boraks serta Kontaminasi Bakteri Pada Otak-Otak*. Jakarta:Iptek Nuklir Ganendra. Vol. 16, No. 1:9-17. Januari 2013 ISSN 1410-6987
- Ilyas, S. 1983. *Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan: Teknik Pendinginan Ikan*. Jakarta: Paripurna.
- Irawati, Fenny, dkk. 2013. *Immobilisasi BSA pada Sensor QCM dengan Modifikasi Sifat Hidrofobik-Hidrofilik Permukaan Polistiren Menggunakan Radiasi Ultraviolet (UV)*. NATURAL B. Vol, 2 No. 2 Universitas Surabaya, Surabaya
- Kadidae, La Ode, dkk. 2000. *Sintesis Benzileugenol dan Pemanfaatannya sebagai Komponen Membran Elektroda Selektif Ion*. Tesis. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Kurniawan, Freddy. 2009. *Implementasi Mikrokontroller Sebagai Pencacah Frekuensi Berbasis Pengukuran Periode Isyarat Masukan*. Yogyakarta:TELKOMNIKA. Vol. 7, No. 1:57-64. April 2009 ISSN 1693-6930
- Lalu, dkk. 2017. *Pengembangan Sistem Embedded Berbasis ARM Cortex M7 untuk Pengukuran Frekuensi Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance) Portabel*. Teknologi Elektro, Vol. 16, No. 3, September - Desember 2017. p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372
- Larki, Arash, dkk. 2015. *UV- Vis spectrophotometric determination of trinitrotoluene (TNT) with trioctylmethylammonium chloride as ion pair assisted and disperser agent after dispersive liquid–liquid microextraction*. Imam Hosein University, Tehrun, Iran
- Larsen, R, dkk. 2011. *Health benefits of' marine foods and ingredients*. Biotechnology Advaces
- Lelono, D, dkk. 2011. *Rancang Bangun Prototipe Sensor Rasa Elektronik Berbasis Membran Selektif Ion*. Yogyakarta:IJEIS. Vol. 1, No. 1:31-34

- Mahdi, C. 2008. *Mengenal Berbagai Produk Reagen Kit Tester Untuk Uji Formalin, Borak, Zat Pewarna Berbahaya Dan kandungan yodium pada garam beryodium*. Universitas Brawijaya.
- Mahdi, C dan Mubarrak, Shofi A. 2008. *Uji Kandungan Formalin, Borak dan Pewarna Rhodamin pada Produk Perikanan dengan Motode Spot Test*. Berkala Ilmiah Perikanan Vol.3, Universitas Brawijaya.
- Marpaung, Ridawati. 2015. *Kajian Mikrobiologi pada Produk Ikan Asin Kering yang dipasarkan di Pasar Tradisional dan Pasar Swalayan dalam Upaya Peningkatan Keamanan Pangan di Kota Jambi*. Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi Vol. 15 No. 3 Tahun 2015
- Mirna. Dkk. 2016. *Analisis Formalin pada Ikan Asin di beberapa Pasar Tradisional Kota Kendari*. Jurnal Sains dan Teknologi Pangan. Vol. 1, No. 1, p.31-36. Tahun 2016. ISSN: 2527-6271
- Mulyadi, dan Arisanti, Wahyuni, Rika. 2012. *Sistem Penciuman Elektronik untuk Pendeteksian Uap Formalin pada Produk Perikanan*. Jurnal Harpodon Borneo. Vol. 5, No. 1 April 2012 ISSN. 2087-121x. jurusan teknik elektro, Universitas Borneo Tarakan
- Norliana S. 2009. *The health risk of formaldehyde to human beings*. Am. Journal. Pharm. & Toxicol., 4(3): 98-106.
- Rahman, dkk. 2017. *Applications of sensing material on quartz crystal microbalance in detection of volatile organic compound: A Review*. Global Journal of Engineering and Technology Review. Global J. Eng. Tec. Review 2 (2) 10 – 22 (2017). ISSN 0128-2905
- Rouhillah, dkk. 2015. *Karakterisasi Frekuensi Harmonisa Sensor Quartz Crystal Microbalance Sebagai Identifikasi Gas*. Surabaya:Prosiding SENTIA. Vol.7 ISSN 2085-2347
- Rustami, Erus. 2008. *Sistem Kontrol Kecepatan Putar Spin Coating Berbasis Mikrokontroler Atmega8535*. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Sharma, Gaurav, dkk. 2015. *Development of Lipid Membrane based Taste Sensors for Electronic Tongue*. Procedia Computer Science 70 (2015) 146 – 152
- Singgih, H. 2013. *Uji Kandungan Formalin pada Ikan Asin Menggunakan Sensor Warna Dengan Bantuan FMR (Formalin Mean Reagent)*. Jurnal ELTEK, Vol 11 No 01, April 2013 ISSN 1693-4024

- Sitiopan. 2012. *Studi Identifikasi Kandungan Formalin Pada Ikan Pindang Di Pasar Tradisional Dan Modern Kota Semarang*. Jurnal Kesehatan Masyarakat, vol: 1 No: 2
- Suwetja.1990. *Penentuan Kesegaran Beberapa Jenis Ikan dengan HPLC*. Jurnal : Fakultas Perikanan Vol 1 No.3.
- Soccol, M.C.H. and Oetter, M. 2003. *Seafood as Functional Foods*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. An International Journal. 46:443G454.
- Toko, K.. 1996. *Taste Sensor with Global Selectivity*. *Materials Science and Engineering*, C 4, 69-82.
- W. M. Albers. 1999. *Immobilisation of Biomolecules onto Organised Molecular Assemblies*. Cranfield university.
- Wei, Danming. 2016. *Low Cost Quartz Crystal Microbalance System Platform Design For Chemical Nanoparticle Analysis Based on arduino Microcontroller Board*. Tesis. The Faculty of the Department of Chemistry Western Kentucky University Bowling Green, Kentucky
- Wibowo, Surya, Bagus. dkk. 2013. *Pengembangan Sistem Sensorrasa Berbasis Membran Selektif Ion Untuk Klasifikasi Buah Jeruk*. Jurnal Fisika Indonesia No: 49, Vol XVII, Edisi April 2013. ISSN : 1410-2994
- Wicaksono, Adi, Brilianda, dkk. 2014. *Rancang Bangun Sistem Pencacah Frekuensi untuk Sensor Gas Quartz Crystal Microbalance*. Vol. 3 No. 1 Jurnal Teknik POMITS teknik elektro. Fakultas teknologi industri, its.
- Yusuke, Tahara, dkk. 2013. *Development Of Portable Taste Sensor With Lipid/Polymer Membrane*. *Sensors* 2013, 13, 1076-1084.



LAMPIRAN

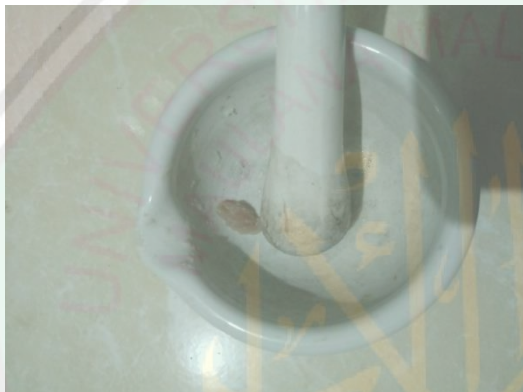
Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan



Alat dan bahan penelitian



sampel larutan formalin



Proses preparasi sampel



sampel ikan



Sensor QCM



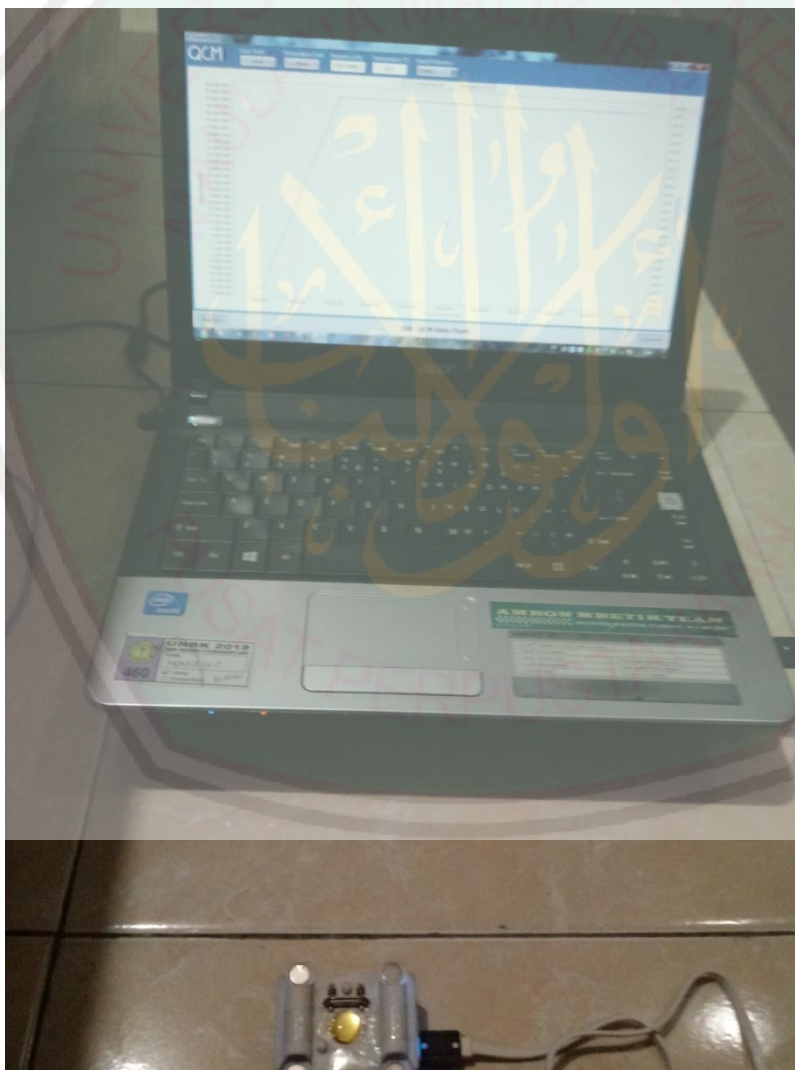
proses preparasi sampel ikan dan formlain



Spin coating



proses pelapisan membran



Proses pengambilan data

Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan Sampel Formalin

No	Konsentrasi M_2 (mM)	Volume V_1 (ml)
1	0	-
2	100	0,141
3	150	0,212
4	200	0,283
5	250	0,353
6	300	0,424
7	350	0,495
8	400	0,566
9	450	0,636
10	500	0,707
11	550	0,779
12	600	0,849
13	650	0,919
14	700	0,990
15	750	1,06

Lampiran 3 Data Hasil Penelitian

1. Data Hasil Pengujian Terhadap Sampel Larutan Formalin

Sebelum pelapisan membran TOMA				Setelah pelapisan membran TOMA			
Konse ntrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-rata	Konsent rasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-rata
0	1	10057194.75	10056632.58	0	1	15695009.18	15620642.67
	2	10006932.95			2	15659707.73	
	3	10149792.4			3	15625826.03	
	4	10007342.73			4	15579434.96	
	5	10061900.07			5	15543235.44	
100	1	15247117.86	15423244.46	100	1	15417058.31	15366102.93
	2	15405024.54			2	15403092.93	
	3	15484279.36			3	15369137.4	
	4	15541331.46			4	15327910.21	
	5	15438469.08			5	15313315.81	
150	1	15224910.87	15425282.67	150	1	15234724.38	15279069.81
	2	15385745.5			2	15259325.37	
	3	15457836.46			3	15282589.81	
	4	15513570.16			4	15292652.56	
	5	15544350.36			5	15326056.94	
200	1	15248413.31	15614218.14	200	1	15655839.16	15775254.81
	2	15660220.62			2	15787890.32	
	3	15699185.41			3	15795091.93	
	4	15721876.3			4	15810928.26	
	5	15741395.04			5	15826524.37	
250	1	15632777.25	15729578.05	250	1	15515830.72	15535097.89
	2	15746366.92			2	15506840.57	

	3	15775612.1			3	15552621.11	
	4	15741321.08			4	15549116.95	
	5	15751812.88			5	15551080.11	
300	1	15675159.19	15795777.89	300	1	15489216.8	15748174.91
	2	15796050.93			2	15760173.67	
	3	15821223.25			3	15802353.78	
	4	15833887.68			4	15840231.03	
	5	15852568.4			5	15848899.27	
350	1	15780695.56	15883045.55	350	1	15859011.27	15947188.18
	2	15902664.11			2	15974535.79	
	3	15906511.04			3	15970534.23	
	4	15906002.83			4	15966218.77	
	5	15919354.2			5	15965640.83	
400	1	15612736.26	15754699.73	400	1	15562679.28	15845219.24
	2	15734924.58			2	15860637.07	
	3	15768802.77			3	15927769.31	
	4	15819575.95			4	15934272.56	
	5	15837459.07			5	15940738	
450	1	15769692.12	15869276.48	450	1	15805451.35	15913200.55
	2	15890935.75			2	15943922.37	
	3	15891210.16			3	15951585	
	4	15893189.62			4	15940011.4	
	5	15901354.76			5	15925032.62	
500	1	15797539.77	15879515.17	500	1	15939367.29	15964208.57
	2	15907187.87			2	15968846.61	
	3	15901022.31			3	15973827.22	
	4	15894536.72			4	15971316.38	
	5	15897289.16			5	15967685.35	

550	1	10200667.98	13497745.85	550	1	15854515.69	15964075.75
	2	12884210.7			2	15986757.72	
	3	13269067.98			3	15993248.88	
	4	15433420.64			4	15993096.92	
	5	15701361.96			5	15992759.53	
600	1	15755395.5	15855558.16	600	1	15837556.82	15941023.81
	2	15903771.2			2	15969106.05	
	3	15896331.1			3	15968879	
	4	15895059.82			4	15966392.46	
	5	15827233.19			5	15963184.74	
650	1	10054062.94	14634325.8	650	1	15842543.21	15946140.5
	2	15770909.92			2	15972676.02	
	3	15778412.18			3	15970859.12	
	4	15780761.26			4	15970587.16	
	5	15787482.69			5	15974036.97	
700	1	15851611.6	15938460.66	700	1	15791645.37	15913928.65
	2	15981287.07			2	15940490.89	
	3	15959603.57			3	15945869.91	
	4	15949100.31			4	15946221.56	
	5	15950700.75			5	15945415.54	
750	1	15814735.04	15923540.99	750	1	15868510.28	15958650.22
	2	15945334.8			2	15983423.65	
	3	15954020.15			3	15981202.07	
	4	15951522.42			4	15980320.79	
	5	15952092.55			5	15979794.29	

2. Data Hasil Pengujian Terhadap Sampel Larutan Formalin dan Ikan

Sebelum pelapisan membran TOMA				Setelah pelapisan membran TOMA			
Konse ntrasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-rata	Konsent rasi (mM)	P	Frekuensi (Hz)	Rata-rata
0	1	15991566.41	15665086.14	0	1	15829671.99	14813355.97
	2	15989167.22			2	14567762.32	
	3	15975149.99			3	13857600.91	
	4	14756461.55			4	14170810.94	
	5	15613085.55			5	15640933.71	
100	1	15801455.3	15942671.81	100	1	14322647.71	12868564.63
	2	15914885.34			2	12465800.78	
	3	15998940.79			3	12436633.69	
	4	15999021.79			4	12511595.1	
	5	15999055.84			5	12606145.87	
150	1	15829877.78	13716387.8	150	1	13611589.92	13890943.69
	2	14108726.79			2	14320703.19	
	3	12983789.38			3	14801118.95	
	4	12756737.21			4	13138450.59	
	5	12902807.84			5	13582855.78	
200	1	13244296.23	13178741.3	200	1	15078617.37	13330044.89
	2	13193918.85			2	12467028.71	
	3	13139579.72			3	13209177.98	
	4	13345472.48			4	12761355.72	
	5	12970439.23			5	13134044.66	
250	1	13895095.19	13344829.35	250	1	12900905.75	12662444.05
	2	13123678.94			2	12580344.96	
	3	13177478.38			3	12528086.5	

	4	13228430.36			4	12711373.41	
	5	13299463.86			5	12591509.65	
300	1	13828214.06	14127214.38	300	1	15804496.9	13530558.3
	2	14180770.76			2	13178974.1	
	3	14210564.7			3	12597648.49	
	4	14188471.22			4	12541113.71	
	5	14228051.18			5	13530558.3	
350	1	14713871.33	14927502.41	350	1	12558486.86	12610288.41
	2	14515595.36			2	12545166.54	
	3	14923032.65			3	12584212.13	
	4	15066297.36			4	12781992.66	
	5	15418715.36			5	12581583.86	
400	1	13619350.36	13216738.3	400	1	12741381.87	13234494.02
	2	13427646.17			2	13101649.05	
	3	13074344.16			3	13219695.29	
	4	13047806.21			4	13486201.18	
	5	12914544.58			5	13623542.72	
450	1	13560912.19	13013406.95	450	1	15549488.78	15646836.86
	2	12848166.61			2	15672915.43	
	3	12898738.31			3	15673854.4	
	4	12875553.89			4	15669709.43	
	5	12883663.73			5	15668216.28	
500	1	14298383.38	14169684.42	500	1	15313794.51	15657657.83
	2	15179640.45			2	15160117.42	
	3	14772783.22			3	15931634.11	
	4	13693910.34			4	15957481.6	
	5	12903704.73			5	15925261.53	
550	1	15690237.3	14897461.26	550	1	12984185.11	13448084.13

	2	15983866.36			2	12609150.13	
	3	15747105.08			3	14337371.79	
	4	13915312.74			4	14552615.17	
	5	13150784.84			5	12757098.47	
600	1	15938902.85	15919809.35	600	1	14717000.64	14771672.94
	2	15930415.05			2	15622401.03	
	3	15908129.25			3	14656754.65	
	4	15909140.06			4	13721474.75	
	5	15912459.53			5	15140733.64	
650	1	15951290.28	15984940.35	650	1	15868940.75	15965960.06
	2	15988774.38			2	15990367.12	
	3	15995042.51			3	15989868.46	
	4	15996530.25			4	15991050.9	
	5	15993064.35			5	15989573.05	
700	1	15951040.66	15926426.96	700	1	13146944.04	13135187.57
	2	15859350.88			2	12935966.53	
	3	15922477.62			3	12867911.72	
	4	15948483.22			4	13301512.59	
	5	15950782.42			5	13423602.96	
750	1	15901500.85	15895745.26	750	1	15860995.68	15943980.3
	2	15887486.89			2	15967875.98	
	3	15901117.72			3	15965115.38	
	4	15891335.28			4	15963331.73	
	5	15897285.54			5	15962582.73	

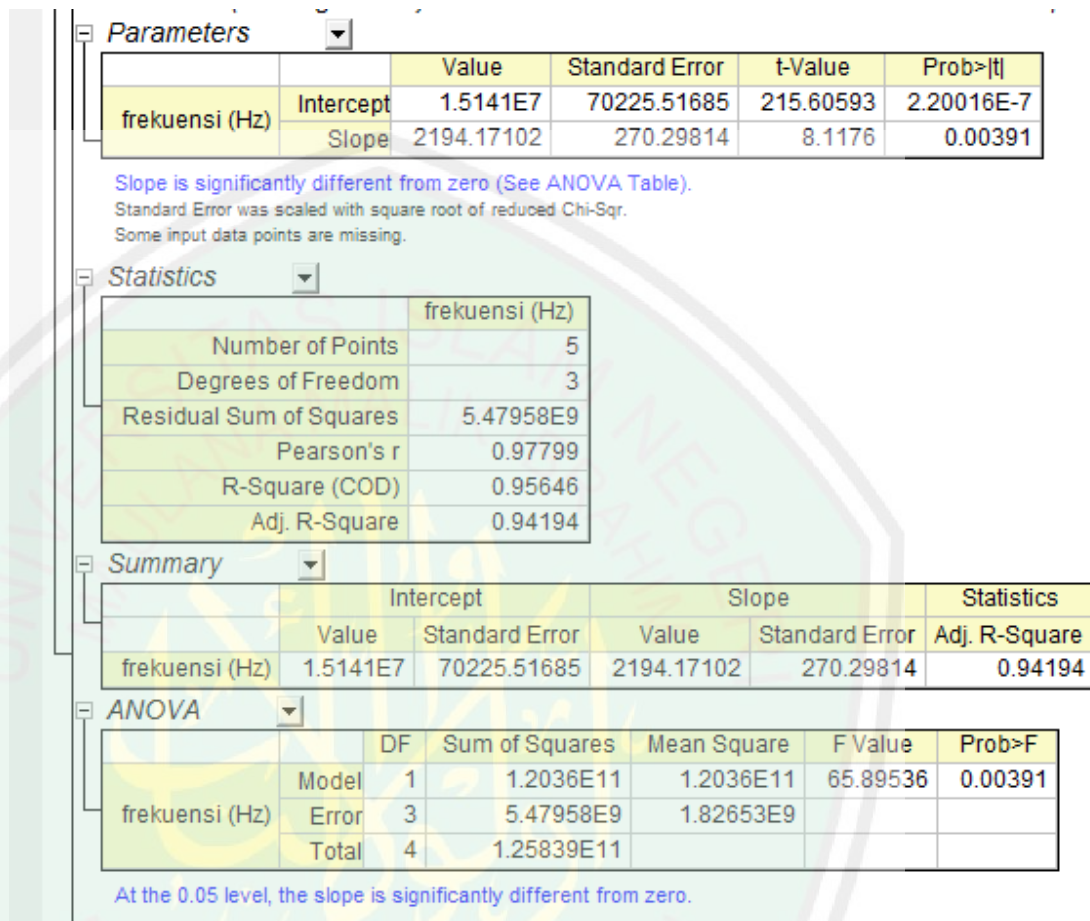
Lampiran 4. Data Hasil *Respond Time*

Formalin				Formalin dan ikan			
Sebelum pelapisan membran TOMA		Setelah pelapisan membran TOMA		Sebelum pelapisan membran TOMA		Setelah pelapisan membran TOMA	
Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (hz)
1	10002700	1	9990310	1	10015000	1	9989470
2	10002700	2	9990310	2	10015000	2	9989480
3	10535600	3	10590500	3	10594500	3	10590400
4	11070600	4	11190900	4	11172600	4	11191200
5	11604000	5	11791200	5	11749400	5	11792000
6	12137000	6	12391600	6	12326000	6	12392900
7	12669900	7	12991900	7	12903200	7	12993800
8	13203300	8	13592200	8	13479900	8	13594700
9	13735200	9	14192400	9	14057000	9	14195500
10	14267000	10	14792600	10	14634600	10	14796400
11	14795600	11	15392800	11	15211400	11	15397200
12	15319300	12	15993000	12	15781300	12	15998100
13	15319300	13	15993100	13	15781400	13	15998100
14	15319300	14	15993200	14	15781500	14	15998100
15	15317000	15	15993300	15	15781400	15	15998100
16	15313900	16	15993300	16	15781300	16	15998100
17	15311100	17	15993300	17	15780400	17	15998200
18	15307900	18	15993300	18	15779800	18	15998200
19	15307900	19	15993300	19	15778500	19	15998200
20	15307900	20	15990700	20	15776900	20	15998300
21	15309500	21	15989100	21	15776600	21	15998300
22	15311800	22	15989000	22	15775500	22	15998300

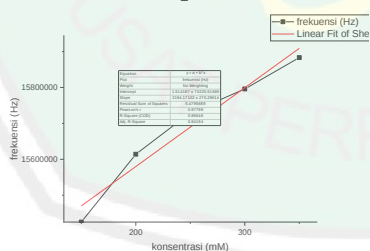
23	15315300	23	15989000	23	15774700	23	15998300
24	15319100	24	15988700	24	15773200	24	15998300
25	15323500	25	15986100	25	15771800	25	15998300
26	15328500	26	15956200	26	15771700	26	15998300
27	15332900	27	15949600	27	15771300	27	15998300
28	15336800	28	15949600	28	15770700	28	15998300
29	15341800	29	15949600	29	15770700	29	15998300
30	15345000	30	15952000	30	15770700	30	15998200
31	15348700	31	15953700	31	15770500	31	15998200
32	15352700	32	15953800	32	15770500	32	15998200
33	15356000	33	15953800	33	15770200	33	15998200
34	15357900	34	15954000	34	15770200	34	15998300
35	15357900	35	15956200	35	15770000	35	15998300
36	15357900	36	15984600	36	15770000	36	15998300
37	15357500	37	15989600	37	15769700	37	15998300
38	15354800	38	15990000	38	15769700	38	15998200
39	15350900	39	15990100	39	15769700	39	15998200
40	15346600	40	15990100	40	15770400	40	15998200

Lampiran 5 Analisis Regresi Linear Deteksi Lmit

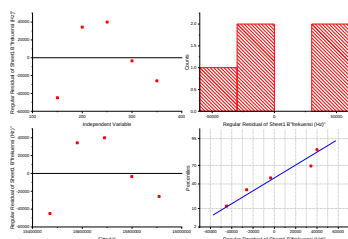
1. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran Untuk Sampel Formalin



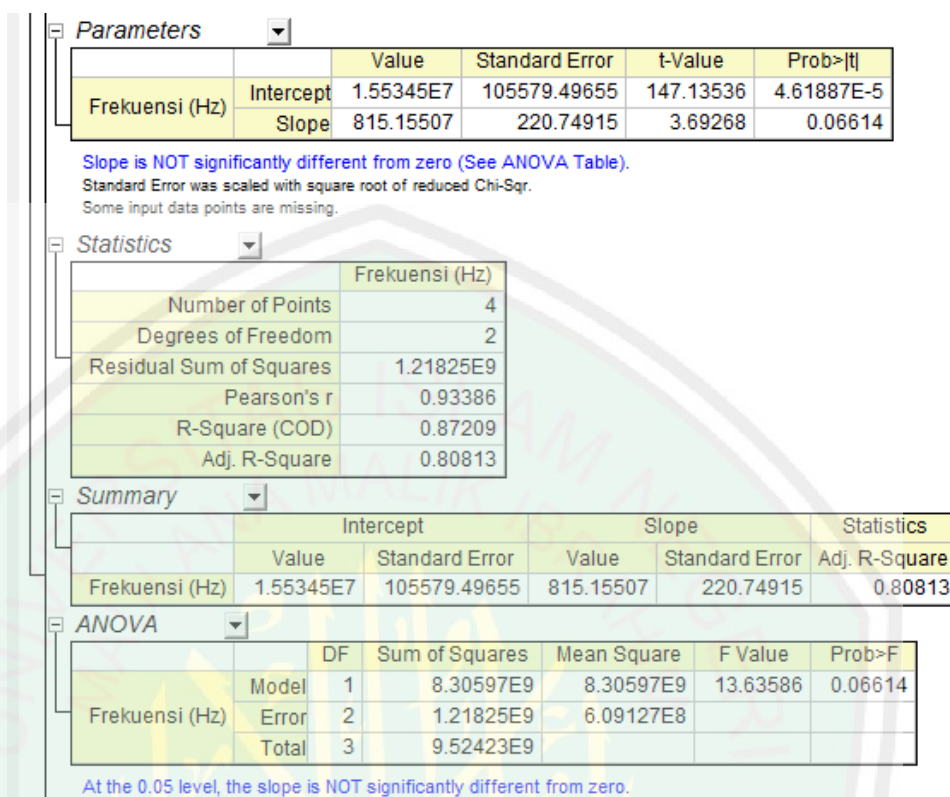
Fitted curves plot



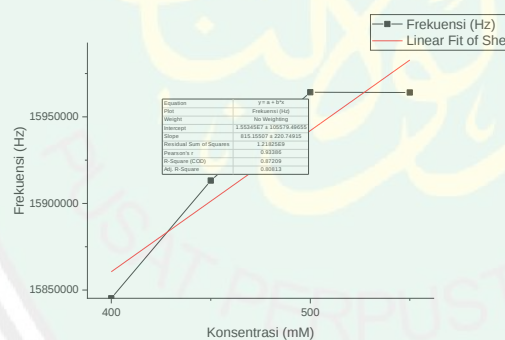
Residual plot



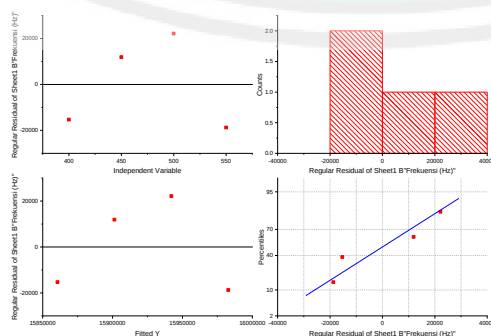
2. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran Untuk Sampel Formalin



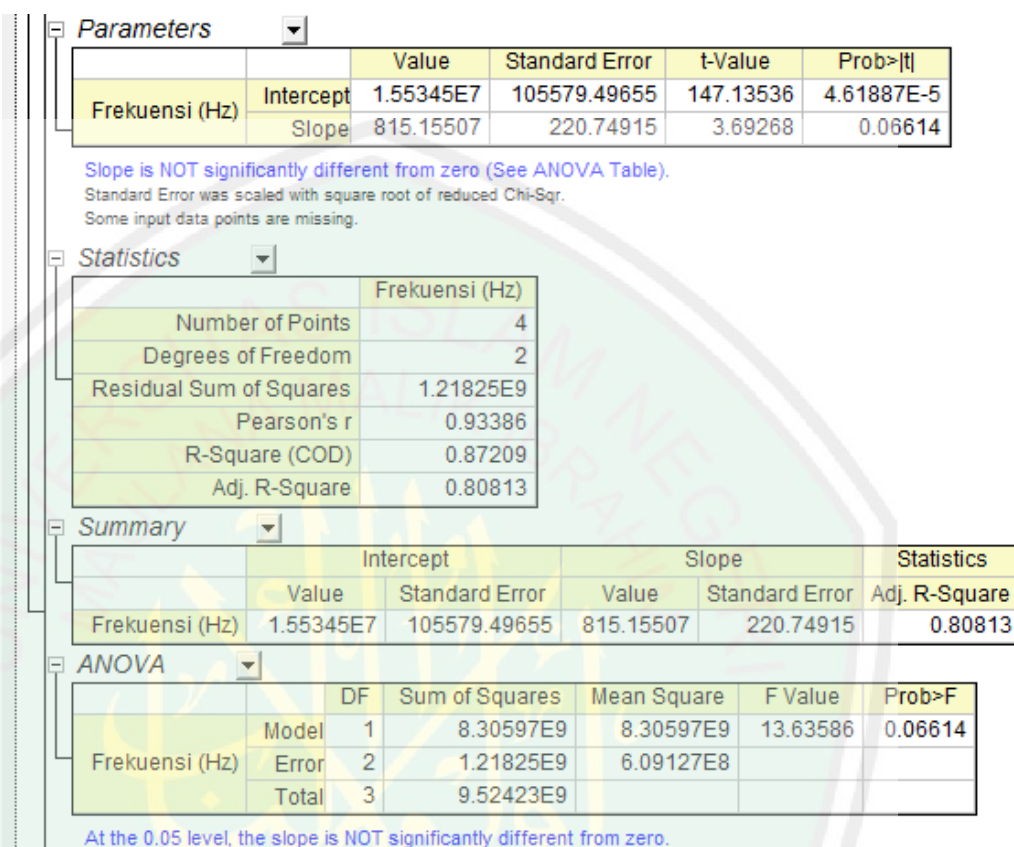
Fitted curves plot



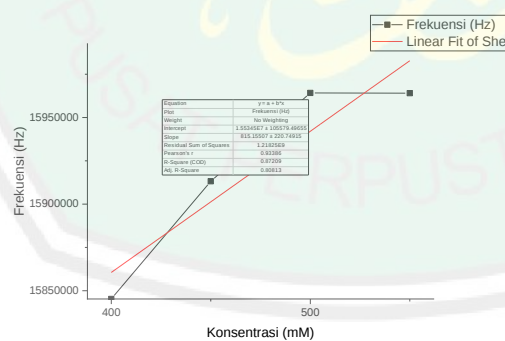
Residual plot



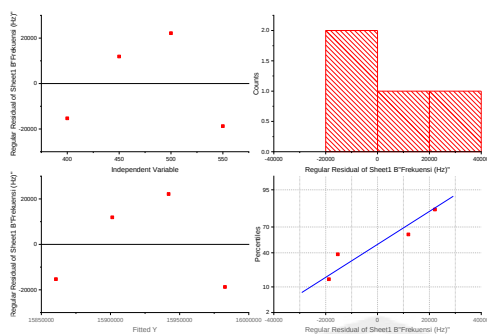
3. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran Untuk Sampel Formalin Dan Ikan



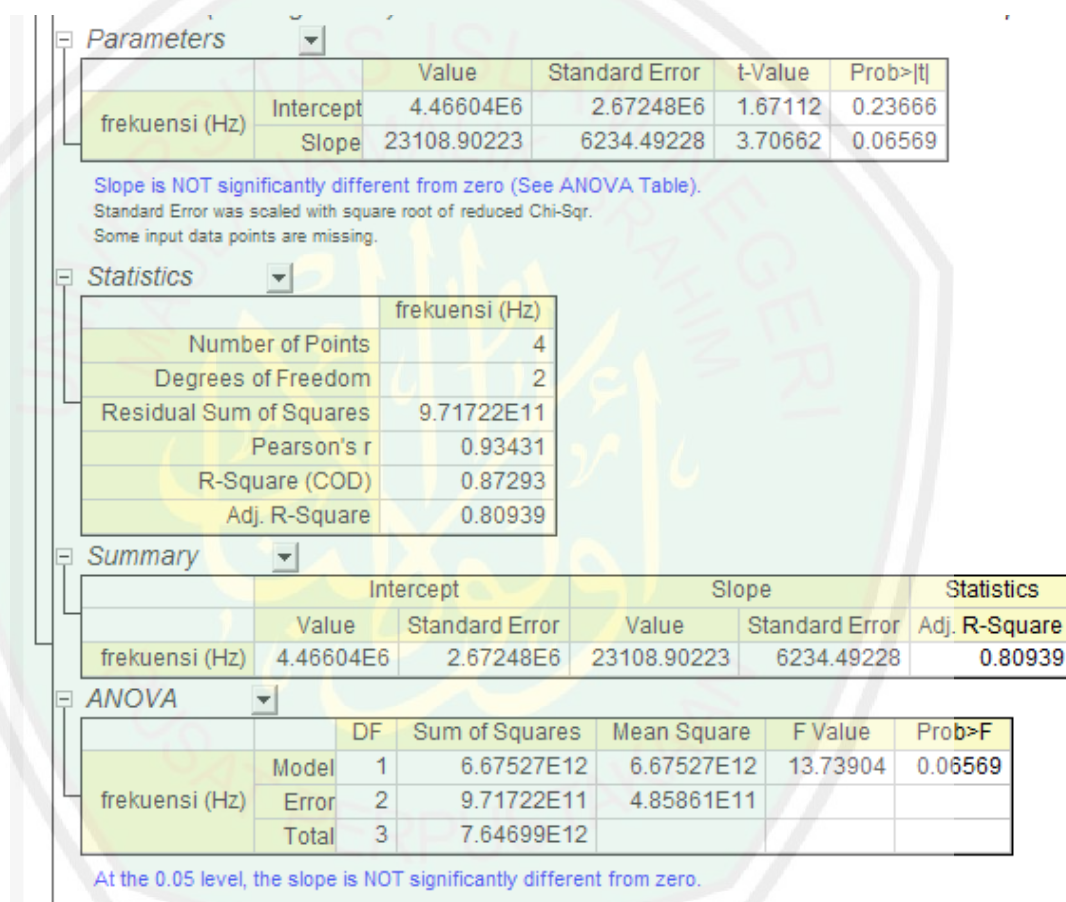
Fitted curves plot



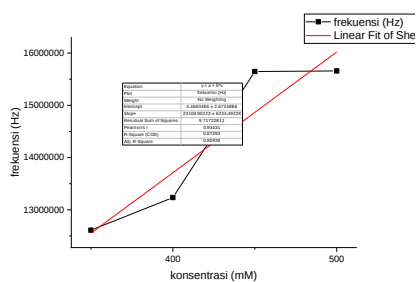
Residual plot



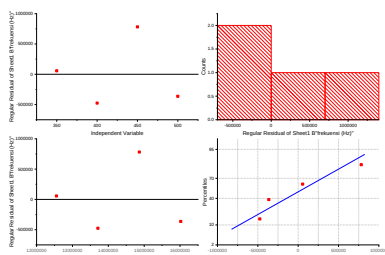
4. Analisis regresi linear sensor QCM dengan pelapisan membran untuk sampel formalin dan ikan



Fitted curves plot

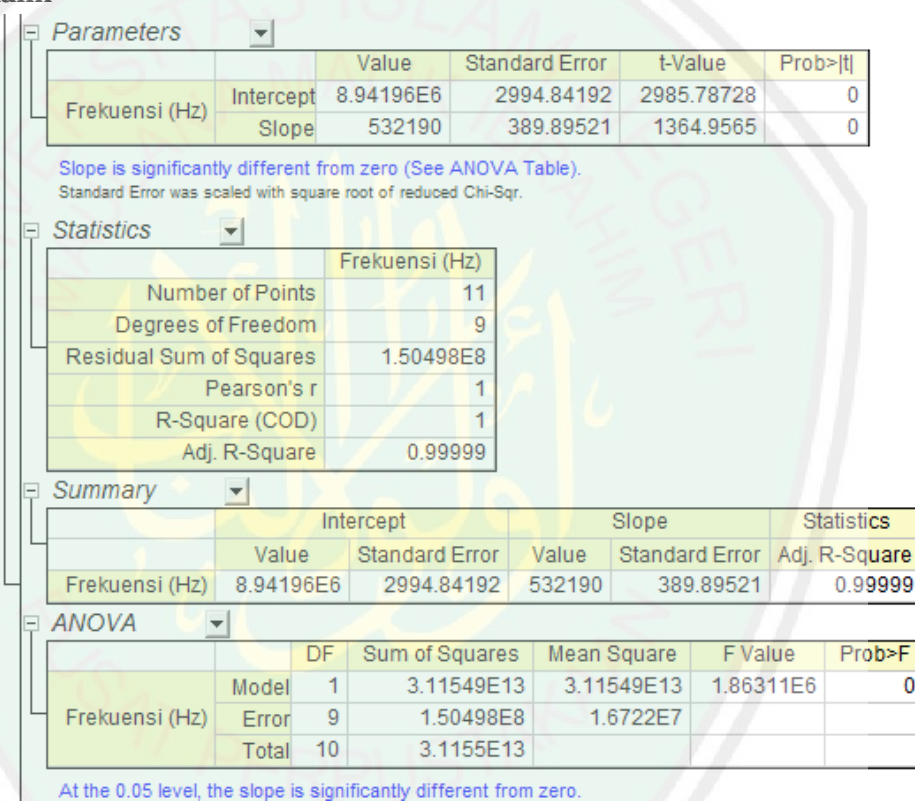


Residual plot

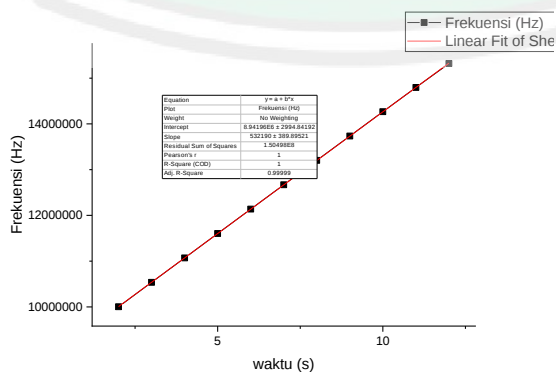


Lampiran 6 Analisis Regresi Linear Respon Time

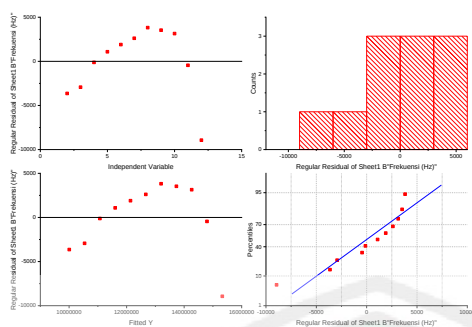
1. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran Untuk Sampel Formalin



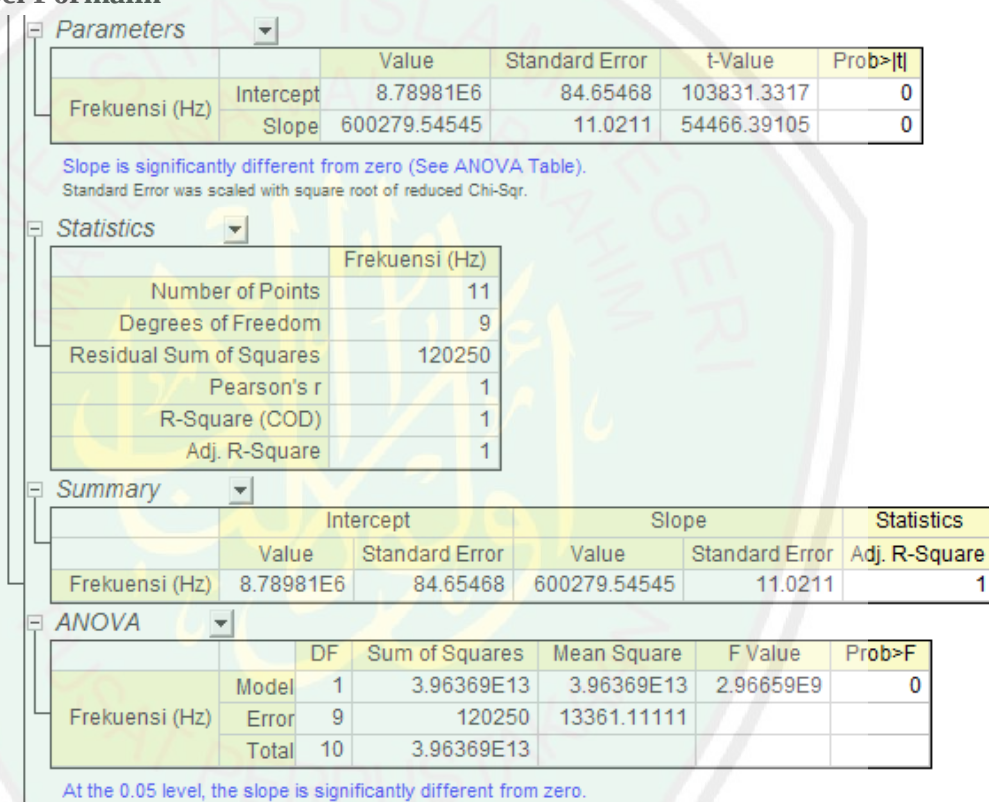
Fitted curves plot



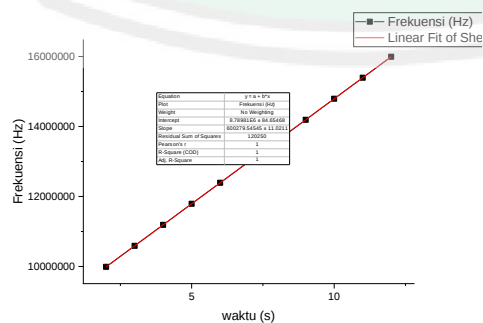
Residual plots



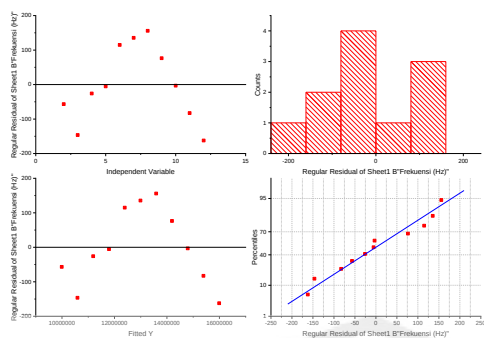
2. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran Untuk Sampel Formalin



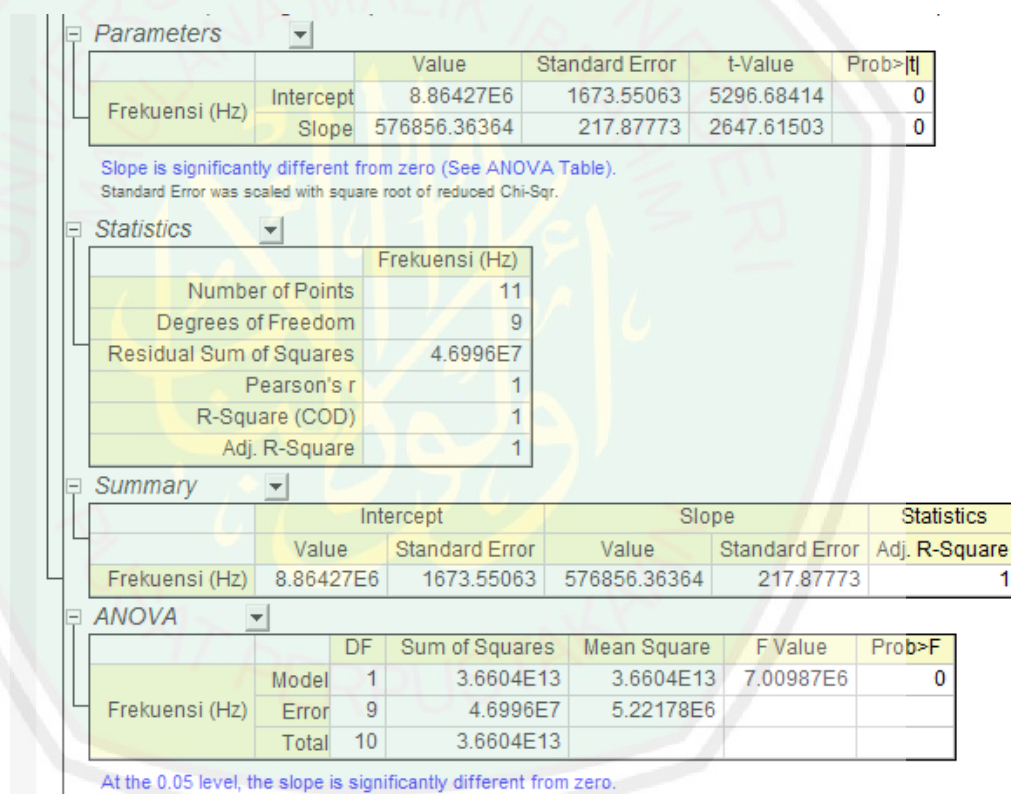
Fitted curves plot



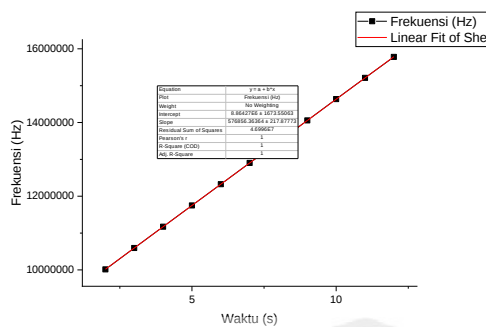
Residual plot



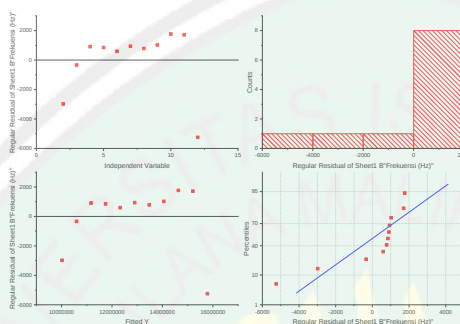
3. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Tanpa Membran Untuk Sampel Formalin Dan Ikan



Fitted curves plot



Residual plot



4. Analisis Regresi Linear Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran Untuk Sampel Formalin Dan Ikan

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi (Hz)	Intercept	8.78776E6	27.83429	315717.19644	0
	Slope	600860.90909	3.62372	165813.49434	0

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

Statistics

	Frekuensi (Hz)
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	13000
Pearson's r	1
R-Square (COD)	1
Adj. R-Square	1

Summary

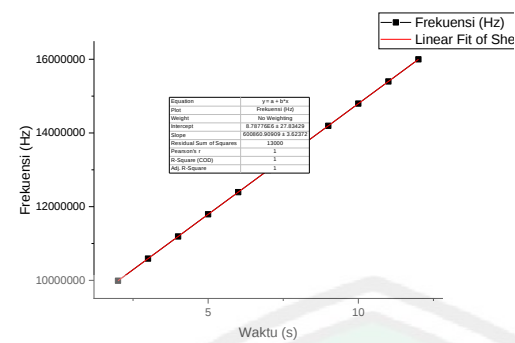
	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi (Hz)	8.78776E6	27.83429	600860.90909	3.62372	1

ANOVA

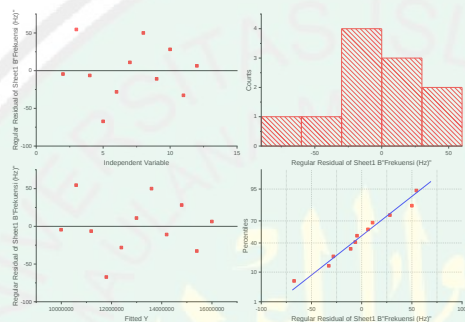
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi (Hz)	Model	1	3.97137E13	3.97137E13	2.74941E10	0
	Error	9	13000	1444.44444		
	Total	10	3.97137E13			

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

Fitted curves plot



Residual plot





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 : Khoirul Aini
NIM : 15640001
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Trioctylmethylammonium Chloride (Toma) Pada Elektroda Emas Terhadap Respon Formalin
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M.Si
Pembimbing II : Drs. Abdul Basid, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	24 Juli 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	27 Juli 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
3	30 Juli 2020	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4	10 Agustus 2020	Konsultasi Data Hasil BAB IV	
5	24 Agustus 2020	Konsultasi Data Hasil BAB IV	
6	27 Agustus 2020	Konsultasi Bab IV	
7	31 Agustus 2020	Konsultasi Bab IV	
8	7 September 2020	Konsultasi Bab IV	
9	7 September 2020	Konsultasi Kajian Agama	
10	15 September 2020	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
11	22 Desember 2020	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 22 Desember 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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