

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF *METHYLTRIOCTYL AMMONIUM CHLORIDE* TERHADAP
RESPON GELATIN BABI DAN GELATIN SAPI**

SKRIPSI

Oleh:
ISMATUL FUADA
NIM. 14640021



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

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF *METHYLTRIOCTYL AMMONIUM CHLORIDE* TERHADAP
RESPON GELATIN BABI DAN GELATIN SAPI**

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:

**ISMATUL FUADA
NIM. 14640021**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
AKTIF *METHYLTRIOCTYL AMMONIUM CHLORIDE* TERHADAP
RESPON GELATIN BABI DAN GELATIN SAPI**

SKRIPSI

Oleh:
Ismatul Fuada
NIM. 14640021

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal 22 November 2018

Pembimbing I



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

Pembimbing II



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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

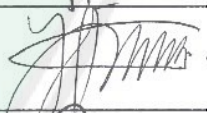
HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISASI SENSOR QCM DENGAN PELAPISAN BAHAN
 AKTIF *METHYLTRIOCTYL AMMONIUM CHLORIDE* TERHADAP
 RESPON GELATIN BABI DAN GELATIN SAPI

SKRIPSI

Oleh:
Ismatul Fuada
 NIM. 14640021

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
 dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
 Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
 Tanggal: 22 November 2018

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



Mengesahkan
 Ketua Jurusan Fisika

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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ismatul Fuada
NIM : 14640021
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakteristik Sensor QCM Dengan Pelapisan Bahan Aktif
Methyltriocthyl Ammonium Chloride Terhadap Respon
Gelatin Babi Dan Gelatin Sapi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima saksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 November 2018
Yang membuat pernyataan



Ismatul Fuada
NIM. 14640021

MOTTO

Barang siapa yang bersungguh-sungguh dia akan berhasil

(مَنْ جَدَّ وَ جَدَّ)

Jangan pernah takut hari esok jika kamu bisa memenangkan hari ini dengan semangatmu yang luar biasa.

»Merry riana«

Sesungguhnya, jika engkau menghabiskan jatah gagalmu, engkau akan berhasil

≈Mario Teguh≈



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur sedalam-dalamnya atas karunia dan hidayahnya kepada Allah Swt.

Penulis akan mempersembahkan karya tulis ini kepada:

- *Kedua orang tuaku Bapak Kasturi dan Ibu Sarmujik yang selama ini telah memberikan doa, kasih sayang, restu dan dukungan, serta pengalaman hidup yang begitu hebat.*
- *Kakak Tercinta Asnafi', Matain, dan Mulyadi yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan motivasinya. Terimakasih banyak mungkin tanpa kalian bertiga aku tidak akan bisa sekuat sekarang.*
- *Ketiga kakak iparku dan ketiga ponakanku yang tiada henti-hentinya memberikan semangat disaat mengerjakan skripsi.*
- *Almarhum nenek dan pakde ku yang selama masa hidupnya memberikan doa, motivasi dan pengalamannya.*
- *Keluarga besar dari bapak dan ibu yang selalu mendo'akan dan banyak wejangan.*
- *Bapak / Ibu dosen Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang selama ini telah memberikan banyak ilmu baik ilmu agama maupun ilmu pengetahuan seputar Fisika.*
- *Sahabat tercinta Lu'ailik Mufidah S.Ars, Maulidah Fitriah S.Kom, I'anatur Rofiqoh S.Si, dan Muhimmatul Azizah Syifauzzahroh S.Si. Yang selama ini sudah memberikan motivasi, hiburan dan bahkan mau mendengarkan keluh kesahku, serta selalu mendampingiku saat senang ataupun sedih.*
- *My best friends: Andin, Kiki, Indana, Athiyah, Arum, Auliyah, Alvi, dan Mery. Terimakasih selama ini telah memeberikan banyak bantuan dan dorongan dalam mengerjakan tugas, serta hiburan disetiap waktu.*

- *Teman-teman kos Catalanian. Terimakasih selama ini telah menemani, dan memberikan banyak hiburan serta perhatiaannya.*
- *Teman-teman fisika angkatan 2014. Tanpa adanya kalian penulis tidak akan berada pada titik ini. Terimakasih banyak akan kebersamaan kita selama 4.5 tahun.*
- *Adik-adikku: Risma dan Qolbi. Saya ucapkan terimakasih banyak atas dukungan, semangatnya selama ini.*
- *Tim sensor: Sigma, Inayah, Hurum, Vije, Mas Chaidar, dan Mas Nadhif. Terimakasih atas bantuannya dalam menyelesaikan penelitian ini hingga berhasil.*



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmad hidayah dan karunianya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dengan judul tentang **“Karakterisasi Sensor QCM Dengan Pelapisan Bahan Aktif *Methyloctyl Ammonium Chloride* Terhadap Respon Gelatin Babi Dan Gelatin Sapi”**. Shalawat dan salam saya panjatkan kepada nabi kita Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun kami dari zaman jahiliyah menuju zaman terang benderang.

Dengan ini penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari beberapa pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, diantaranya:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Abdul Basid, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Dosen pembimbing skripsi ini yang memberikan banyak kesabaran, waktu, dan ilmu dalam membimbing penulis agar skripsi dapat tersusun dengan baik dan benar.

5. Umaiatus Syarifah, M.A selaku Dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktunya dalam memeberikan bimbingan dan pengarahan dalam bidang Integrase Sains dan Al-Qur'an Serta Hadits.
6. Segenap dosen, laboran, dan admin jurusan fisika universitas islam negeri maulana malik Ibrahim malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengarahan.
7. Teman-teman fisika angkatan 2014 dan teman-teman peminatan Elektronika Instrumentasi yang selalu kompak dan memberikan dukungan.
8. Ahmad Wahibul Amin selaku guru dan orangtua kedua yang selalu mendoakan dan memberikan semangat.
9. Semua pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan motivasi dalam penulisan.

Dalam penulisan ini, penulis merasa bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna oleh karena itu penulis mohon ma'af apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat banyak kesalahan, baik dari segi penulisan pembahasan dan penyusunannya yang kurang rapi. Maka besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

Malang, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
ملخص	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Gelatin	10
2.2.2 Gelatin Babi dan Sapi Berdasarkan Tinjauan Al-Quran	14
2.2.3 Quartz Crystal Microbalance (QCM)	17
2.2.4 Membran Lipid	20
2.2.5 <i>Spin Coating</i>	25
2.2.6 Osilator	27
2.2.7 Elektroda	30
2.2.8 OpenQCM	31
2.2.9 Frekuensi Counter (Pencacah Frekuensi)	37
2.2.10 OriginPro	38
BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Jenis dan Waktu Penelitian	40
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	40
3.2.1 Alat-Alat yang digunakan untuk penelitian	40
3.2.2 Bahan yang digunakan untuk penelitian	41
3.3 Diagram Alir Penelitian	42
3.4 Prosedur Penelitian	43
3.4.1 Tahap Persiapan	43
3.4.2 Tahap Pengambilan Data	46
3.4.3 Tahap Pengolahan Data	52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Data Hasil Percobaan	57
4.1.1 Preparasi Sampel	57
4.1.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM)	60
4.2 Pembahasan	86
4.3 Kajian Integrasi Islam Tentang Sensor QCM Terhadap Sampel Gelatin Babi dan Gelatin Sapi	89
BAB V PENUTUP	92
5.1 Simpulan	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Gelatin	11
Gambar 2.2	Konstruksi Kristal Kuarsa Sebagai Sensor QCM	18
Gambar 2.3	Lipid Bilayer	21
Gambar 2.4	Struktur membrane lipid atau polymer	22
Gambar 2.5	Interaksi membrane lipid dengan sampel	22
Gambar 2.6	Struktur kimia <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	24
Gambar 2.7	(a) Cairan/Resin diteteskan pada media/substrat (b) proses penyebaran dan penipisan pada saat <i>spin coater</i> bekerja.....	25
Gambar 2.8	Proses sederhana <i>spin coating</i>	26
Gambar 2.9	Rangkaian Osilator RC	29
Gambar 2.10	Arduino Micro ATmega32u4 (Novaetech,2016).....	33
Gambar 2.11	QCM <i>Arduino Shield</i> (Novaetech,2016).....	34
Gambar 2.12	Sensor suhu (<i>temperature</i>)(Novaetech,2016)	34
Gambar 2.13	Tampilan <i>Software</i> OpenQCM (Novaetech,2016).....	36
Gambar 2.14	Tampilan Utama OriginPro 2017.....	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Diagram Pembuatan Membran	43
Gambar 3.3	Rencana Analisa Grafik Respon Time	53
Gambar 3.4	Rencana Analisa Grafik Deteksi Limit	54
Gambar 4.1	Sistem Sensor QCM.....	57
Gambar 4.2	Tampilan <i>software</i> OpenQCM 1.2.....	59
Gambar 4.3	<i>Respond Time</i> Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Babi	63
Gambar 4.4	<i>Respond Time</i> Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Gelatin Babi	64
Gambar 4.5	<i>Respond Time</i> Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi.....	65
Gambar 4.6	<i>Respond Time</i> Sensor Quartz Cryatal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	66
Gambar 4.7	Pengaruh Konsentrasi Gelatin Babi Terhadap Sensor Quartz Crystal Micobalance (QCM) Dengan Elektroda.....	70
Gambar 4.8	Pengaruh Konsentrasi Gelatin Babi Terhadap Sensor Quartz Crystal Microbalance Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	71
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi Gelatin Sapi Terhadap Respon Sensor Quartz Crystal Microbalance Dengan Elektroda Perak Murni	72
Gambar 4.10	Pengaruh Konsentrasi Gelatin Sapi Terhadap Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	73
Gambar 4.11	Regresi Linier Pengujian Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni	

	Terhadap Gelatin Babi	78
Gambar 4.12	Regresi Linier Pengujian Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Gelatin Babi	80
Gambar 4.13	Regresi Linier Pengujian Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi	81
Gambar 4.14	Regresi Linier Pengujian Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltriocthyl</i> <i>Ammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Gelatin Sapi	82



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Asam Amino pada Gelatin	12
Tabel 2.2	Standar Mutu Gelatin Menurut SII	14
Tabel 2.3	Membran Lipid	23
Tabel 2.4	<i>Plasticizer</i>	24
Tabel 3.1	Alat –alat percobaan.....	40
Tabel 3.2	Bahan-bahan penelitian.....	41
Tabel 3.3	Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)	47
Tabel 3.4	Rencana Pengambilan Data Pada Sampel Gelatin Babi Sebelum Pelapisan Membran Lipid <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	48
Tabel 3.5	Rencana Pengambilan Data Pada Sampel Gelatin Sapi Sebelum Pelapisan Membran Lipid <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	49
Tabel 3.6	Rencana Pengambilan Data Pada Sampel Gelatin Babi Sesudah Pelapisan Membran Lipid <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	51
Tabel 3.7	Rencana Pengambilan Data Pada Sampel Gelatin Sapi Sesudah Pelapisan Membran Lipid <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	52
Tabel 4.1	Data Frekuensi Dasar (f_0) Sesudah dan Sebelum Diberikan Sampel.....	61
Tabel 4.2	Rincian Data Hasil Pengujian <i>Respond Time</i>	67
Tabel 4.3	Data Hasil Analisa Deteksi Limit Sensor QCM	74
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM Dengan Sampel Perak Murni Pada Sampel Gelatin Babi.....	77
Tabel 4.5	Data Hasil Regresi Linier Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran <i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i> Terhadap Sampel Gelatin Babi	79
Tabel 4.6	Data Hasil Regresi Linier Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi.....	81
Tabel 4.7	Data Hasil Regresi Linier Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Terhadap Sampel Gelatin Sapi.....	83
Tabel 4.8	Hasil Analisa Sensitivitas Sensor QCM.....	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Pengambilan Data
Lampiran 2	Data Hasil Perhitungan Sampel Gelatin Babi dan Gelatin Sapi
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian <i>Response Time</i> Sensor QCM
Lampiran 4	Data Hasil Pengujian Terhadap Gelatin Sapi
Lampiran 5	Data Hasil Pengujian Terhadap Gelatin Babi
Lampiran 6	Data Hasil <i>Respond Time</i>
Lampiran 7	Jumlah Asam Amino Gelatin Babi dan Gelatin Sapi (Jumlah Residu Per 1000 Total Asam Amino) Berdasarkan Pengujian Pengujian Menggunakan FTIR
Lampiran 8	Data Hasil Analisis Regresi Linier
Lampiran 9	Penampang Data Hasil Pengujian Respond Time

ABSTRAK

Fuada, Ismatul. 2018. **Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* Terhadap Respon Gelatin Babi dan Gelatin Sapi**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing (I) Dr. Imam Tazi, M.Si. (II) Umaiatus Syarifah, M.A.

Kata Kunci: Sensor QCM, Membran Lipid, *Respond Time*, Deteksi Limit, Sensitivitas.

Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance) merupakan sensor yang telah berkembang di berbagai macam bidang ilmiah, seperti biosensor, penginderaan kimia, dan ilmu material. Sensor QCM dikembangkan sebagai sensor rasa (*e-tongue*) yang digunakan untuk mengetahui zat kimia yang tidak dapat diketahui oleh lidah manusia. Tujuan penelitian ini untuk menentukan karakterisasi sensor yang meliputi response time, deteksi limit, dan sensitivitas sensor. Sensor yang digunakan yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*. Metode yang digunakan untuk menganalisa data yaitu metode analisa regresi linier. Hasil response time sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran lebih cepat merespon gelatin babi daripada gelatin sapi dengan selisih waktu 1s. Deteksi limit sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran dapat mendeteksi sampel pada konsentrasi yang berbeda-beda. Sensor QCM dengan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* lebih sensitif pada sampel gelatin babi dengan nilai sensitivitas 642.7541 Hz/mM dari pada sampel gelatin sapi yang memiliki nilai sensitivitas 348.9432 Hz/mM. Hal ini dapat dikatakan bahwa sensor QCM lebih sensitif dalam mendeteksi sampel gelatin babi.

ABSTRACT

Fuada, Ismatul. 2018. **Characterization of QCM Sensor Coated by Active Compound *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* in Porcine and Bovine Gelatine**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Dr. Imam Tazi, M.Si (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: QCM Sensor, Lipid Membrane, Response Time, Limit Detection, Sensitivity

QCM (Quartz Crystal Microbalance) sensor is a sensor that developed in various scientific fields, such as biosensor, chemical sensing, and material science. QCM sensor was developed as taste sensor (e-tongue) that used to know chemicals can't be known by the human tongue. This research aims to determine the sensor characterization that includes response time, limit detection, and sensor sensitivity. The sensor used is a QCM sensor with membrane coating *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*. The analytical method used is a linear regression analysis method. The response time result of QCM sensor with membrane coating is porcine gelatin have a faster response than bovine gelatin, the difference is 1s. Limit detection of QCM sensor with a pure silver electrode and QCM sensor with coating membrane can detect a sample with different concentration. QCM sensor with *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* on porcine gelatin is more sensitive than bovine gelatin. Sensitivity values of porcine gelatin is 642,7541 Hz/mM, while the sensitivity values of bovine gelatin is 348.9432 Hz/mM. Based on this research, it can be known that QCM sensor is more sensitive in detection the porcine gelatin sample.

ملخص البحث

الفؤاد ، إسمة. 2018. توصيف رقابة QCM بطلاء المواد الفعالة لميثيلتريوتيل أمونيوم كلوريد (*Methyltriocthyl Ammonium Chloride*) على استجابة الجيلاتين الخنزير والجيلاتين البقر. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم، مالانج. الاشراف: الدكتور إمام تازي، الماجستير، وأمية الشريعة، الماجستير

الكلمات المفتاحية: رقابة QCM ، غشاء الدهن ، زمن الاستجابة (Response Time)، كشف الحد ، الحساسية.

الرقابة QCM (Quartz Crystal Microbalance) هي الرقابة التي تطورت في المجالات العلمية المختلفة، مثل الرقابة البيولوجية ، والاستشعار الكيميائي ، وعلم المواد. تطورت الرقابة QCM كرقابة الحسي (e-tongue) الذي يستخدم لاكتشاف المواد الكيميائية التي لا تعرفها اللسان البشري. الاهداف هذا البحث هي لتحديد توصيف الرقابة التي تشمل وقت الاستجابة، وكشف الحد، وحساسية الرقابة. الرقابة هي الرقابة QCM بكلوريد الأمونيوم الميثيلتريوتيل والرقابة QCM مع طبقة غشاء لكلوريد الأمونيوم الميثيلتريوتيل. الطريقة المستخدمة لتحليل البيانات هي طريقة تحليل الانحدار الخطي. نتائج وقت استجابة للرقابة QCM مع القطب الفضة النقية والرقابة QCM مع طلاء الغشاء هي أسرع لاستجابة الجيلاتين الخنزير من جيلاتين البقر مع اختلاف الوقت دقيقة واحدة. كشف الحد للرقابة QCM مع القطب الفضة النقية والرقابة QCM مع طلاء الأغشية يمكن أن يكتشف العينات بتركيزات مختلفة. الرقابة QCM مع غشاء كلوريد الأمونيوم الميثيلتريوتيل هي أكثر حساسية في عينات الجيلاتين الخنزير مع قيمة حساسية 642.7541 هرتز/مم من عينات جيلاتين البقرة التي كانت لها قيمة حساسية 348.9432 هرتز/مم. يمكن أن يقول أن الرقابة QCM هي أكثر حساسية في كشف عينات الجيلاتين الخنزير.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makanan dibuat dan diproduksi dengan beberapa bahan tambahan seperti zat pewarna, zat perasa, gelatin dan lain sebagainya. Bahan-bahan tambahan tersebut digunakan untuk meningkatkan mutu makanan baik dari segi rasa, tekstur, maupun warna. Zat-zat tambahan pada makanan dapat diperoleh secara alami dan ada juga yang diperoleh melalui proses kimia terlebih dahulu. Selain itu, ada yang diperoleh secara alami yang melalui proses kimia, contohnya gelatin.

Gelatin merupakan salah satu inovasi baru dalam perkembangan industri pangan maupun farmasi. Sehingga para produsen semakin gencar dalam mencari sumber bahan yang akan digunakan untuk penghasil gelatin. Penggunaan gelatin yang hampir digunakan sebagai bahan utama pada industri pangan, obat-obatan, dan kosmetik mengakibatkan banyaknya konsumen yang membutuhkan gelatin sebagai bahan produksi.

Gelatin dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam bidang industri, diantaranya pada industri pangan yang digunakan sebagai zat pengental, menjaga kelembaban produk, stabilitas produk, mengatur kelembutan makanan, memperbaiki tekstur makanan dan bisa digunakan sebagai perekat makanan. Gelatin juga dapat digunakan pada bidang farmasi, sebagai bahan dasar pembungkus kapsul atau tablet obat. Selain kedua bidang tersebut gelatin juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pada kosmetik, khususnya digunakan untuk menstabilkan emulsi pada produk-produk sampo, penyegar dan pelindung

kulit seperti lotion atau emulsi *cream*, sabun cair, cat kuku, lipstick, krim pelindung sinar matahari dan lain sebagainya (Dewi Hastuti, 2007).

Gelatin dapat dibuat dari bahan baku yang banyak menghasilkan kolagen, seperti kulit dan tulang binatang ternak baik dari kulit sapi, tulang sapi, kulit babi, kulit ikan, tulang ikan dan lain sebagainya. Akan tetapi, perlu diketahui bahwa faktor ketersediaan bahan baku, kemudahan dalam proses pembuatan gelatin, kualitas yang dihasilkan, dan nilai ekonomis menyebabkan sebagian besar gelatin yang berada di pasaran bersumber dari kulit babi. Sebagai gambaran Jerman yang rata-rata mengonsumsi daging sekitar 60 kg/kapita/tahun, dimana dari 2/3 daging yang dikonsumsi bersumber dari daging babi. Sehingga, dapat diketahui bahwa Jerman dapat menghasilkan daging sebesar 6-7 ton daging babi. Dengan demikian, dapat diketahui seberapa banyak kulit babi yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan gelatin, belum lagi dari negara atau benua yang sebagian besar masyarakatnya mengonsumsi babi. Apabila gelatin dibuat dari kulit dan tulang sapi atau hewan-hewan besar lainnya, membutuhkan proses pembuatan yang lama dan mutu yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan gelatin yang bersumber dari kulit babi. Maka dari itu, banyak konsumen yang mencari dan memanfaatkan gelatin babi (See *et al.*, 2010).

Pemanfaatan gelatin yang cukup luas mengakibatkan kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ke tahun. Pemanfaatan gelatin di dunia diperkirakan mencapai 326,000 ton (See *et al.*, 2010). Selama ini kebutuhan gelatin di Indonesia diimpor dari beberapa negara diantaranya Cina, Australia, Jepang dan negara-negara Eropa. Pada umumnya, gelatin impor bersumber dari bahan

baku kulit sapi, tulang sapi, dan kulit babi. Menurut See *et al.*, (2010) sebagian besar gelatin impor bersumber dari kulit babi dengan presentase paling tinggi 46%, kulit sapi 29,4%, tulang 23%, dan sumber lainnya sebesar 1,5%. Hal tersebut menimbulkan keraguan terhadap kehalalan gelatin, terutama bagi negara-negara yang mayoritas penduduknya beragama Islam seperti Indonesia karena babi merupakan salah satu hewan yang diharamkan untuk dikonsumsi. Sedangkan gelatin yang bersumber dari kulit dan tulang sapi menimbulkan kekhawatiran sendiri baik dari segi kesehatan maupun kebersihan dalam proses pembuatannya (Setiawati, 2009).

Menurut Lembaga Pengkajian Pangan, Obat-obatan dan Kosmetik Majelis Ulama' Indonesia (LP-POM MUI) mengatakan bahwa gelatin merupakan salah satu bahan yang masih diragukan dari sisi kehalalannya bagi umat Islam. Hal ini dikarenakan gelatin masih sering dikategorikan sebagai bahan yang bersifat *subhat* (Hapsari, 2014). Sebagaimana yang dijelaskan dalam Surat Al-Baqarah (2) Ayat 173:

إِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيرِ وَمَا أُهِلَّ بِهِ لِغَيْرِ اللَّهِ فَمَنْ اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ

وَلَا عَادٍ فَلَا إِثْمَ عَلَيْهِ إِنَّ اللَّهَ غَفُورٌ رَحِيمٌ ﴿١٧٣﴾

“Sesungguhnya Allah SWT hanya mengharamkan bagimu bangkai, darah, daging babi, dan binatang yang (ketika disembelih) disebut (nama) selain Allah. Tetapi barang siapa dalam keadaan terpaksa (memakannya) sedang tidak menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah SWT Maha Pengampun lagi Maha Penyayang”.(Qs. Al-Baqarah(2):173)

Ayat di atas menjelaskan tentang makanan-makanan yang diharamkan untuk dimakan, diantaranya bangkai, darah, daging babi, dan binatang yang disembelih tanpa menyebutkan nama selain Allah SWT. وَلَحْمُ الْخَنَازِيرِ (daging babi) dalam teks ayat disebutkan dagingnya secara khusus, mengingat daging merupakan bagian yang paling banyak diminati, sedangkan bagian tubuh yang lainnya mengikuti kepadanya (Suyuti, 2008). Selain Surat Al- Baqarah(2): 173 juga dijelaskan dalam Surat Al-An'am(6):145, Surat Al-Ma'idah(5): 3 dan Surat An-Nahl (16): 115. Hal ini sudah jelas bahwa sesuatu yang bersumber dari Babi haram hukumnya.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, membuat para ilmuwan berinovatif dalam membuat penemuan-penemuan baru yang canggih dan efisien. Sehingga, dapat mempermudah manusia dalam aktivitasnya. Salah satu teknologi yang berkembang adalah teknologi sensor. Sensor merupakan suatu alat yang memiliki kemampuan untuk mengukur beberapa jenis kualitas fisik yang terjadi, seperti tekanan dan cahaya. Sensor akan dapat mengkonversi pengukuran menjadi sinyal bahwa seseorang akan dapat membaca hasilnya (Syam, 2013).

Teknologi sensor yang dapat dimanfaatkan untuk membedakan antara gelatin babi dan gelatin sapi adalah sensor rasa. Sensor rasa dapat digunakan sebagai alternatif pengganti indera manusia yaitu lidah manusia. Lidah merupakan salah satu organ manusia yang berfungsi untuk membantu menelan dan mencerna makanan. Lidah adalah bagian utama dari organ *gustatory* manusia. Permukaan lidah yang mengandung sebanyak 50000 sel *gutstory*. Setiap 40 sampai 60 sel *gustatory* terdapat sebuah *teste buds* yang dapat tersalurkan dengan ribuan syaraf

perasa. Ketika makanan yang masuk pada rongga mulut dan akan tercampur dengan air liur, maka akan menimbulkan rangsangan kimia selama terjadi kontak dengan akhir syaraf perasa. Rangsangan kimia akan dibawah oleh sel-sel pengecap reseptor. Sensor rasa yang dikembangkan saat ini adalah lidah elektronik (*e-tongue*). Lidah elektronik merupakan suatu alat yang digunakan untuk membedakan karakterisasi secara fisika-kimia sebagai contoh dari suatu rasa (Tian *et al.*, 2015).

Wibowo *et al* (2013), mengembangkan sebuah sensor rasa atau lidah elektronik (*e-tongue*) dengan selektivitas global yang berbasis pada larik sensor ion membran (*ISMS*). Sensor ini digunakan untuk menganalisa tiga jenis buah jeruk dengan menggunakan sebanyak enam jenis lipid yang berbeda-beda. Lidah elektronik (*e-tongue*) pada penelitian tersebut dilengkapi dengan system pengenalan pola yang berbasis *Participle Component Analysis (PCA)*.

Pengembangan selanjutnya, Beullens *et al* (2006), dalam jurnalnya *The Electronic Tongue and ATR-FTIR For Rapid Detection Of Sugars And Acids In Tomatoes*, pada penelitian ini lidah elektronik (*e-tongue*) terdiri dari 27 potensiometrik sensor dan AT-FTIR serta teknik spectroscopic yang akan digunakan untuk menentukan kandungan asam dan gula yang terdapat pada 4 mutu buah tomat: Araca, Climaks, dan DRW73-29.

Berdasarkan latar belakang diatas, dilakukan penelitian mengenai sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM). Sensor tersebut merupakan sensor tunggal yang terdiri dari lapisan tipis kristal kuarsa dengan elektroda logam yang terdapat di masing-masing sisinya. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) memiliki

kelebihan yaitu mudah mengenali berbagai macam analisis dengan menerapkan pelapisan yang berbeda-beda (Casteleiro-Roca *et al.*, 2014). Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni yang dilapisi dengan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride* yang akan digunakan dalam pengujian ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana *response time* dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi?
2. Bagaimana deteksi limit dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui *response time* dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi.

2. Dapat mengetahui deteksi limit dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi.
3. Untuk menentukan sensitivitas dari sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan ilmu pengetahuan baru tentang perkembangan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) khususnya bagi peneliti dalam bidang sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).
2. Aplikasi dari sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dalam bidang makanan.
3. Penelitian karakterisasi sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi ditunjukkan untuk pengembangan lidah elektronik (*e-tongue*) yang berbasis sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).

1.5 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan yaitu gelatin babi dan gelatin sapi.
2. Sampel yang digunakan berfasa cair.
3. Membran yang digunakan pada penelitian ini yaitu membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*.

4. Variasi konsentrasi sampel yang digunakan mulai dari 0 mM sampai 120 mM, dikarenakan keterbatasan alat ukur.
5. Pelapisan membran lipid menggunakan teknik *spint coating*, tidak membahas ketebalan lapisan membran.
6. Teknik *spint coating* tidak dibahas secara inti.
7. Rangkaian prosesor dan *software* yang digunakan pada penelitian ini merupakan produk pabrik yang udah dikalibrasi.
8. Analisa karakteristik membran tidak dibahas secara mendalam, hanya pengaruhnya terhadap *outputan* sensor.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) saat ini telah banyak di aplikasikan pada beberapa penelitian seperti penerapan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang di lapisi dengan bahan komotografi yang mudah menyerap. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan teknik kristal kuarsa piezoelektrik untuk mendeteksi enam senyawa *volatile organic* dengan tingginya sensitivitas sensor terhadap minyak zaitun, seperti heksanal, asam asetat, Z-3-heksanal asetat, undecane, 1-octen-3-ol, dan 2-butanon (Escuderos, *et al.* 2011).

Speller *et al* (2017), dalam jurnalnya *QCM virtual sensor array: Vapor identification and molekuler weight approximation*. Penelitian ini menggunakan sebuah teknik yang disebut dengan teknik VSA. Teknik tersebut memungkinkan untuk mengidentifikasi alkohol yang berkaitan erat dengan isomer. Penggunaan lapisan komposit pada penelitian ini dapat memperkirakan berat molekul dengan mudah. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah analisis statistik yang mempunyai akurasi tinggi. Metode analisa tersebut mendapatkan jumlah berat molekul hingga mencapai korelasi linier $R^2 \approx 0.99$. Hal ini merupakan hasil laporan pertama dari sensor array QCM yang memenuhi kedua identifikasi dan jumlah berat molekul gas organik.

Candle (2015), dalam jurnalnya telah mengembangkan sebuah sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang termodifikasi dengan Ni(OH)_2 sebagai

alat untuk mendeteksi gelatin babi. Penelitian ini dilakukan dengan cara sensor dicelupkan pada larutan gelatin babi dengan variasi pH dan konsentrasi yang berbeda-beda. Sehingga pada penelitian ini gelatin dapat dibedakan pada pH 9. Selain itu juga dapat diketahui bahwa kekuatan ion yang terdapat pada gelatin babi tidak terlalu kuat untuk berikatan dengan permukaan sensor sehingga senyawa ion pada gelatin ada yang lepas dari permukaan sensor. Maka ketika pengujian dengan menggunakan gelatin babi ini mengalami penurunan frekuensi dibawah 40 Hz.

2.2 Dasar Teori

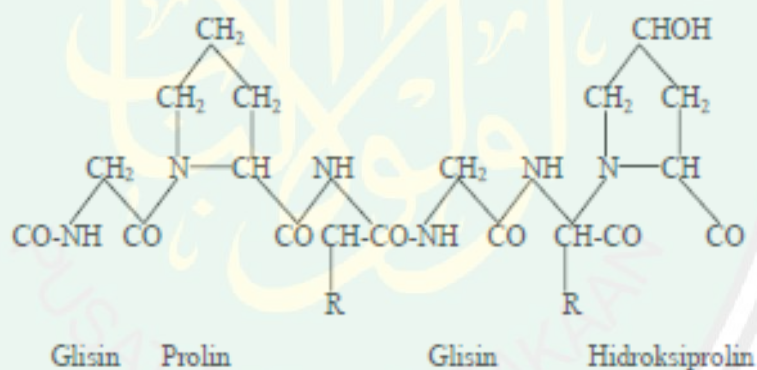
2.2.1 Gelatin

Gelatin merupakan suatu protein yang diperoleh dari proses hidrolisis parsial kolagen, yang terdapat pada tulang dan kulit hewan. Sebagian besar gelatin bersumber dari kulit babi, kulit sapi, dan tulang binatang ternak (Amiza *et al.*, 2015). Menurut Gomez-Guillen *et al* (2011), gelatin merupakan sebuah komponen protein terlarut yang diperoleh secara parsial hidrolisis kolagen, serat protein yang utama dapat dipilih dari tulang, tulang rawan, dan kulit. Gelatin dapat terpengaruhi oleh faktor instrinsik seperti sumber, usia hewan, dan jenis dari kolagen. Kolagen banyak ditemukan pada kulit, tulang rawan, urat, dan tulang pada hewan.

Gelatin adalah suatu protein yang terdiri dari beberapa asam amino. Sifat-sifat yang dimiliki tergantung dari komposisi asam amino tersebut. Komponen asam amino bervariasi tergantung pada sumber kolagen, spesies hewan penghasil jenis kolagen (Hajrawati, 2006). Gelatin dapat diperoleh dengan cara denaturasi

panas kolagen. Pemanasan kolagen yang dilakukan secara bertahap akan menyebabkan struktur rusak dan rantai-rantai akan terpisah. Berat molekul, bentuk konfirmasi sensitif terhadap perubahan temperatur yang dapat menghancurkan makromolekulnya (Hajrawati, 2006).

Gelatin merupakan hasil hidrolisis parsial kolagen yang diperoleh melalui proses ekstraksi dalam air panas yang dikombinasikan dengan perlakuan alkali dan asam. Pembuatan dengan proses alkali umumnya lebih banyak mengandung hidroksiprolin dan lebih sedikit tirosin dibanding dengan proses asam. Berikut adalah struktur kimia dari gelatin (Amiruldin, 2007).



Gambar 2.1 Struktur Kimia Gelatin (Amiruldin, 2007)

Gelatin merupakan molekul besar dan kompleks yang memiliki rata-rata bobot molekul berkisar 15.000-25.000. Komposisi kimia dari gelatin terdiri dari 50.5% karbon, 6.8% hydrogen, 17% nitrogen, dan 25.5% oksigen. Biasanya untuk sampel yang lebih murni kandungan nitrogen yang dimiliki oleh gelatin berkisar antara 18.2% sampai 18.4% (Amiruldin, 2007). Senyawa gelatin merupakan suatu polimer linier asam-asam amino. Pada umumnya rantai polimer gelatin tersebut

merupakan perulangan dari asam amino glisin-prolin-prolin atau glisin-prolin-prolin-hidroksipolin. Dalam gelatin tidak mengandung asam triptofan, sehingga gelatin tidak digolongkan sebagai protein lengkap. Terdapat 18 asam amino yang tersusun dalam gelatin baik terikat maupun dihubungkan dengan ikatan peptide yang membentuk rantai polimer yang panjang. Adapun komposisi asam amino yang terdapat pada gelatin (Amiruldin, 2007).

Tabel 2.1 Komposisi Asam Amino pada Gelatin (Eastoe dan Leach, 1997).

Asam Amino	Jumlah (%)	Asam Amino	Jumlah (%)
Alanin	11,0	Lisin	4,5
Arginin	8,8	Metionin	0,9
Asam Aspartat	6,7	Prolin	16,4
Asam Glutamat	11,4	Serin	4,2
Genilalanin	2,2	Sistin	0,07
Glisin	27,5	Theorin	2,2
Histidin	0,78	Tirosin	0,3
Hidroksiprolin	14,1	Valin	2,6
Leusin dan Iso Leusin	5,1	Phenilalanin	1,9

Gelatin mempunyai rumusan molekul $C_{102}H_{151}N_{31}O_{39}$, dimana rumusan tersebut diperoleh dari reaksi kimia perubahan kolagen menjadi gelatin dengan jalan hidrolisis (Suhenny *et al.*, 2015):



Gelatin dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan cara pembuatannya, diantaranya yaitu gelatin tipe A dan tipe B. Gelatin tipe A merupakan gelatin yang terbuat dari kulit hewan muda (terutama kulit babi), sehingga proses pelunakannya dilakukan lebih cepat yaitu dengan cara proses peredaman asam (A=acid). Pada umumnya gelatin tipe A berasal dari kulit babi yang memiliki titik peredaman

protein (titik isoelektrik) pada pH yang lebih tinggi sekitar (7.5-9.0). Gelatin tipe B merupakan gelatin yang dihasilkan dari bahan yang keras seperti tulang dan kulit hewan yang tua, sehingga proses peredamannya dilakukan dengan waktu yang lama dan menggunakan larutan basa (B=Basa). Gelatin tipe ini biasanya berasal dari kulit atau tulang sapi dan memiliki titik peredaman protein (titik isoelektrik) pada pH (4.8-5.0) (Suhenry *et al.*, 2015).

Berdasarkan kekentalan (viskositas) dan kekuatan gel (gel strength) gelatin digolongkan menjadi 5 golongan yang dapat dinyatakan dalam gram bloom (Dewi Hastuti, 2007). Dimana gram bloom merupakan tes yang digunakan untuk mengukur kekuatan gel (gel strength), yang terdiri dari hasil sebuah gambaran protocol pada konsentrasi gelatin (6.67%), suhu atau temperatur (10°C), dan waktu pematangan (17h), sehingga kemungkinan kekuatan gel (gel strength) dinyatakan dalam “Bloom Value” (Gomez-Guillen *et al.*, 2011):

- a. Gelatin berkualitas no.1 kekuatan gel (gel strength) 210 gram bloom dan viskositas 32 millipose (mp).
- b. Gelatin berkualitas no.2 kekuatan gel (gel strength) 170 gram bloom dan viskositas 29 millipose (mp).
- c. Gelatin berkualitas no.3 kekuatan gel (gel strength) 130 gram bloom dan viskositas 26 millipose (mp).
- d. Gelatin berkualitas no.4 kekuatan gel (gel strength) 90 gram bloom dan viskositas 23 millipose (mp).
- e. Gelatin berkualitas no.5 kekuatan gel (gel strength) 50 gram bloom dan viskositas 20 millipose (mp).

Gelatin yang baik harus dapat memenuhi standart mutu yang sesuai dengan standar industri indonesia (SII) (Suhenry, *et al.* 2015).

Tabel 2.2 Standar Mutu Gelatin Menurut SII (Suhenry, *et al.* 2015)

Parameter	Keadaan
Warna	Tidak berwarna, kadang-kadang kuning pucat
Bau dan Rasa Larutan	Normal (dapat diterima konsumen)
Susut Pengeringan	Maksimum 16%
Kadar Abu	Maksimum 3.25%
Logam Berat	Maksimum 50 mg/kg.gel
Arsen	Maksimum 2 mg/kg.gel
Tembaga	Maksimum 30 mg/kg.gel
Seng (Zn)	Maksimum 100 mg/kg.bahan
Sulfit	Maksimum 1000 mg/kg.bahan

2.2.2 Gelatin Babi dan Gelatin Sapi Berdasarkan Tinjauan Al-Quran

Seperti yang diketahui bahwa sumber utama yang digunakan untuk membuat gelatin yaitu kebanyakan bersumber dari kulit binatang ternak seperti babi dan sapi. Bagian tubuh yang dimanfaatkan dari kedua hewan tersebut adalah kulit dan tulangnya.

1. Babi

Babi merupakan binatang ternak yang paling cepat tumbuh dan berkembang biak diantara hewan ternak lainnya. Babi termasuk dalam keluarga mamalia dari spesies *Artiodactyla*. Babi juga termasuk sejenis hewan *ungulate* yang bermuncung panjang dan berhidung ceper pemakan daging maupun tumbuh-tumbuhan dan merupakan hewan yang berasal dari Eurasia (Hilda, 2013).

Bagian tubuh babi yang banyak diminati adalah dagingnya. Daging babi merupakan daging yang sangat sulit dicerna karena banyak mengandung lemak.

Selain itu, babi juga memiliki lemak punggung yang tebal dan bersifat *oxidative acidity*, sehingga secara struktur kimia sudah tidak layak untuk dikonsumsi. Penelitian ilmiah modern di dua negara yaitu Cina dan Swedia menyatakan bahwa daging babi merupakan penyebab utama penyakit kanker anus dan kolon. Babi banyak mengandung parasit, bakteri, dan virus yang berbahaya sehingga dikatakan sebagai *reservoir* penyakit (Hilda, 2013).

Babi merupakan hewan yang seluruh bagian tubuhnya bisa dimanfaatkan menjadi berbagai produk turunan dalam industri pangan, obat-obatan dan kosmetik maupun barang gunaan. Selain murah produk turunan dari babi juga memiliki hasil yang bagus. Pandangan hidup masyarakat yang kapitalistik dan sekuler saat ini yang tidak mengenal halal dan haram sangat mempengaruhi gaya hidup mereka termasuk dalam memproduksi berbagai produk yang dikonsumsi dan digunakan manusia. Keuntungan materi menjadi sebuah tujuan dan dibalut dengan prinsip ekonomi kapitalis yaitu menggunakan modal sekecil-kecilnya untuk mendapatkan hasil yang lebih besar. Maka tidak heran bahwa babi dan produk turunan masuk kedalam berbagai jenis produk. Hal ini, dapat membahayakan keselamatan umat karena aspek kehalalan dan keharamannya sudah tidak bisa terjamin lagi (Aminah, 2015).

Islam dengan tegas mengharamkan daging babi, hal ini sesuai dengan firman Allah SWT dalam Qs. Al-Baqarah (2): 173.

إِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخَنِزِيرِ وَمَا أُهْلَ بِهِ لِغَيْرِ اللَّهِ ۖ

فَمَنْ أَضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَلَا عَادٍ فَلَا إِثْمَ عَلَيْهِ ۚ إِنَّ اللَّهَ غَفُورٌ رَحِيمٌ ﴿١٧٣﴾

“Sesungguhnya Allah SWT hanya mengharamkan bagimu bangkai, darah, daging babi, dan binatang yang (ketika disembelih) disebut (nama) selain Allah. Tetapi barang siapa dalam keadaan terpaksa (memakannya) sedang tidak menginginkannya dan tidak (pula) melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sesungguhnya Allah SWT Maha Pengampun lagi Maha Penyayang”.(Qs. Al-Baqarah(2):173)

Sebagaimana yang dijelaskan dalam surat al-Baqarah (2) ayat 173 mengenai makanan-makanan yang diharamkan untuk dimakan, diantaranya bangkai, darah, daging babi, dan hewan-hewan yang disembelih tanpa menyebutkan asma Allah SWT. Penggalan kalimat *إِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ* (sesungguhnya diharamkan atas kamu) mempunyai maksud haram untuk memakannya, mengingat ayat sebelumnya konteks pembicaraan yang menyangkut masalah makanan, maka demikian pula ayat ini yang jatuh sesudahnya, masih dalam satu konteks pembicaraan. *وَلَحْمُ الْخَنِزِيرِ* (daging babi) dalam teks tersebut disebutkan dagingnya secara khusus, mengingat daging merupakan bagian yang paling diminati, sedangkan tubuh lainnya (lemak, bulu, tulang) mengikut kepadanya (Suyuthi, 2008).

2. Sapi

Sapi merupakan salah satu jenis binatang ternak yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan manusia. Sapi tergolong dalam anggota suku *Bovidae* atau *Bovinae*. Binatang ternak sapi digolongkan sebagai hewan

mamalia atau hewan yang menyusui. Nama latin dari binatang ini adalah *Bos Taurus* yang mendapatkan tempat pada kigdom Animalia (Sasmitaloka, et.al., 2017).

Sapi dipelihara untuk dimanfaatkan bagian tubuhnya, seperti daging, susu, kulit, tulang dan bagian-bagian yang lainnya. Dibeberapa daerah sapi dimanfaatkan sebagai alat transportasi, sebagai alat pembajak tanah dan lain sebagainya. Seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan yang menyangkut binatang sapi makin meningkat, terutama daging, susu maupun kulit sapi (Sasmitaloka, et. al., 2017).

Sapi juga banyak disebutkan dalam al-Quran, baik sebagai perumpamaan, petunjuk, maupun sebagai hewan dalam bentuk denotatif. Salah satu ayat al-quran yang menyebutkan sapi dalam rangka memberi petunjuk kepada manusia dalam firman Allah QS. Al-Baqarah (2): 67.

وَإِذْ قَالَ مُوسَىٰ لِقَوْمِهِ إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُكُمْ أَنْ تَذْخَبُوا بَقَرَةً قَالُوا أَتَتَّخِذُنَا هُزُوًا
قَالَ أَعُودُ بِاللَّهِ أَن أَكُونَ مِنَ الْجَاهِلِينَ ﴿٦٧﴾

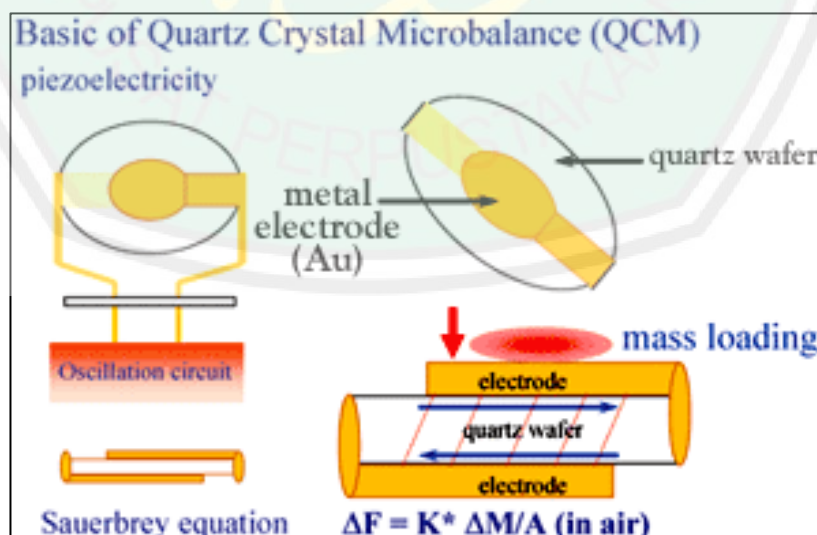
“Dan (ingatlah), ketika musa berkata kepada kaumnya: ”Sesungguhnya Allah menyuruh kamu menyembelih seekor sapi betina.” Mereka berkata: “Apakah kamu hendak menjadikan kami buah ejekan?” Musa menjawab: “Aku berlindung kepada Allah agar tidak menjadikan salah seorang dari orang-orang jahil”. (Al-Baqarah (2):67)

2.2.3 Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sensor tunggal yang terdiri dari lapisan tipis kristal kuarsa dengan elektroda logam yang

tersimpan dimasing-masing sisinya (Zhao *et al.*, 2016). Kristal kuarsa yang digunakan pada sensor QCM ini merupakan jenis kristal kuarsa AT-Cut. Jenis kristal kuarsa tersebut merupakan jenis kristal yang stabil, sehingga bisa digunakan sebagai sensor massa. Ketika permukaan kristal kuarsa diberikan tegangan pada bagian elektroda maka akan terjadi perubahan bentuk kristal kuarsa. Perubahan tersebut dikarenakan sifat piezoelektrik dan pengenalan kristal kuarsa (Zhao *et al.*, 2016).

Prinsip kerja dari sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) didasarkan pada perubahan frekuensi osilasi yang sebanding dengan perubahan massa yang tersimpan pada permukaannya. Kelebihan utama sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) adalah mudah dikenal untuk mendeteksi berbagai macam analisa dengan menerapkan pelapisan yang berbeda-beda. Sehingga sensor ini dapat dikatakan sebagai sensor serbaguna (Casteleiro-Roca *et al.*, 2014).



Gambar 2.2 Konstruksi kristal kuarsa sebagai sensor QCM (Alonel, 2013).

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan osilator elektrik yang terdiri dari potongan tipis kristal kuarsa (AT-Cut) dengan elektroda logam yang berada di kedua sisinya. Sebuah bahan kimia yang sensitif diendapkan pada elektroda sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) akan berinteraksi secara analitik, sehingga mengakibatkan penurunan frekuensi osilasi yang sebanding dengan massa yang diserap. Sebagaimana yang terdapat pada persamaan saurbrey' (Bearzotti *et al.*, 2017):

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

Dimana : f = Perubahan Frekuensi (Hz)
 Δm = Perubahan Massa (Gram)
 C_f = Sensitivitas Konstanta Massa
 f_0 = Frekuensi Resonansi Dasar (Hz)
 A = Daerah Elektroda (m^2)

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan sensor yang sangat sensitif dan sekarang ini banyak digunakan sebagai sensor gas. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dibuat dari lapisan tipis kristal kuarsa kosong dengan elektroda logam pada sisinya. Pada permukaan kristal kuarsa akan mengalami suatu peristiwa deformasi dan relaksasi, apabila kedua elektroda tersebut dialiri arus sehingga terjadi eksitasi elektrik. Kedua peristiwa tersebut tergantung pada dimensi kristal, parameter fisik kristal, dan jenis potongan kristalnya. Sensor QCM yang diaplikasikan sebagai alat penginderaan akan dilapisi dengan analitik yang sesuai. Target analitik yang diserap pada permukaan lapisan akan meningkatkan massa sensor QCM dan menghasilkan perubahan frekuensi resonansinya (Sharma *et al.*, 2014).

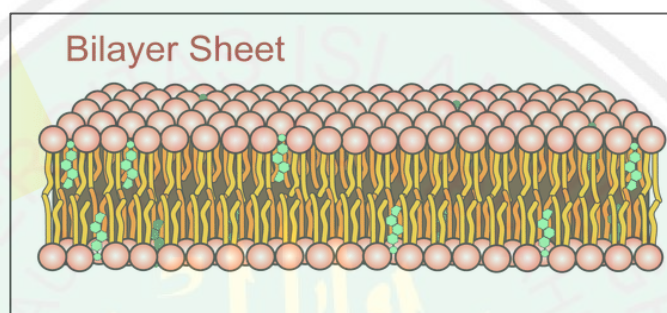
Berdasarkan pada persamaan saurbrey' yang telah dijelaskan sebelumnya, frekuensi resonansi pada sensor QCM akan mengalami penurunan secara linier dikarenakan penyerapan massa. Sampel gas dengan berat molekul yang berbeda dapat dideteksi dalam penyimpanan frekuensi. Dengan kata lain, penyimpanan dalam frekuensi resonansi dapat menunjukkan kemampuan dari sensor dari jarak atau kepekaan sensor (Sharma *et al.*, 2014).

2.2.4 Membran Lipid

Membran memiliki peranan penting dalam sensor rasa sebagai pemisah material baik berdasarkan ukuran maupun bentuk molekul, menahan komponen dari umpan yang mempunyai ukuran lebih besar dari pori-pori membran dan melewatkan komponen yang mempunyai ukuran lebih kecil. Sehingga membran dapat didefinisikan sebagai lapisan tipis yang berada pada dua fasa dan memiliki fungsi sebagai pemisah yang selektif. Pemisah pada membran dapat bekerja berdasarkan perbedaan koefisien difusi, perbedaan potensial listrik, perbedaan tekanan, atau perbedaan konsentrasi. Aplikasi teknologi membran sebagai salah satu teknik pemisahan dapat ditunjukkan untuk pemekatan, fraksionasi, dan perantara reaksi (Paper, 2015).

Fungsi membran selain sebagai pemisah juga berfungsi sebagai sarana pemekat dan pemurni dari suatu larutan yang dilewatkan pada membran tersebut. Kelebihannya adalah membran tidak mengubah struktur molekul zat yang dipisahkan, sehingga prosesnya lebih sederhana (Agustina, 2006). Struktur yang terdapat pada membran terdiri atas lipid bilayer (lipid ganda). Lemak tersebut

bersifat amfipatik, yang mempunyai bagian kepala yang bersifat hidrofilik (dapat berinteraksi dengan air) dan hidrofobik (tidak dapat berinteraksi dengan air). Membran lipid dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu *fosfolipida*, *sfolipid*, dan *kolesterol* (Simons and Sampaio, 2011).

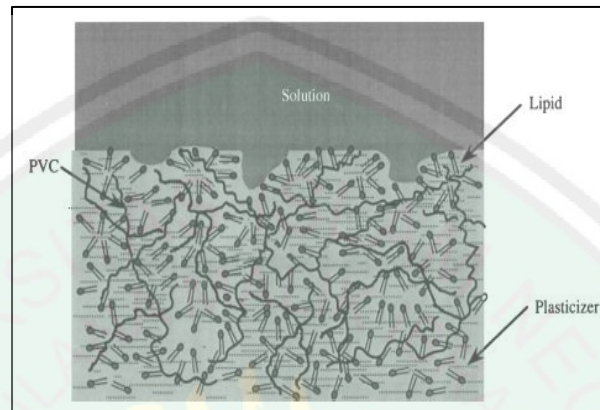


Gambar 2.3 Lipid bilayer (Simons and Sampaio, 2011)

Lipid merupakan salah satu komponen senyawa organik yang terdapat pada tumbuhan dan hewan yang berguna untuk kehidupan manusia (Pudjiadi, 1990). Lipid memiliki gugus-gugus yang bersifat polar yang berkaitan dengan molekul protein dan non polar yang merupakan lipid yang berada dibagian yang bersama dengan cairan yang terdapat pada lapisan tengah. Lapisan lipid yang terdapat dibagian luar menjadikan membran sel bersifat hidrofil yang berarti bahwa molekul air dapat dengan mudah menempel pada membran (Pudjiadi, 1990).

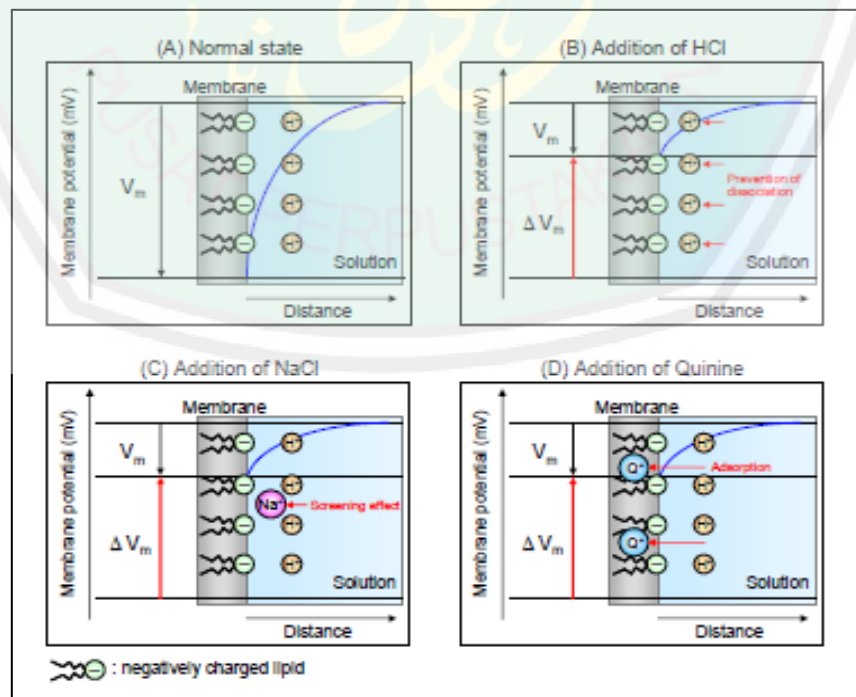
Lipid merupakan komponen utama dalam penyusunan membran sebagai zat aditif *lipofilik*, *dioktil ftalat* (DOP) sebagai *plasticizer*, *polivinil klorida* (PVC) sebagai matriks pendukung, dan THF. Bahan-bahan tersebut memiliki peranan masing-masing dalam membran. Dalam pembuatan membran lipid atau polimer dibutuhkan campuran *plasticizer*, dan *polivinil klorida* (PVC) yang

dilarutkan dalam *Tetrahydrofuran* (THF). Adapun struktur permukaan lipid atau polimer membran dapat diilustrasikan seperti gambar 2.4 (Toko, 1998).



Gambar 2.4 Struktur membran lipid atau polimer (Toko, 1998)

Interaksi antara membran lipid dengan sampel dapat ditunjukkan pada gambar 2.5 (Kobayashi *et al.*, 2010).



Gambar 2.5 Interaksi membran lipid dengan sampel (Kobayashi *et al.*, 2010)

Gambar 2.5 menunjukkan diagram respon mekanisme membran yang bermuatan negatif terhadap zat asam, asin, dan pahit. Dimana pada diagram tersebut menunjukkan potensial membran (V_m), perubahan potensial membran (ΔV_m), yang merupakan keluaran sensor. H^+ merupakan pemisah proton dari molekul lipid, Na^+ yaitu ion natrium dan Q^+ yaitu kina. Diagram diatas juga menunjukkan kurva berwarna hitam. Kurva tersebut mewakili perubahan lapisan ganda listrik terhadap jarak (Kobayashi *et al.*, 2010).

Adapun jenis-jenis lipid dan *platicizer* yang digunakan pada sensor rasa dapat ditunjukkan pada tabel dibawah ini (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>):

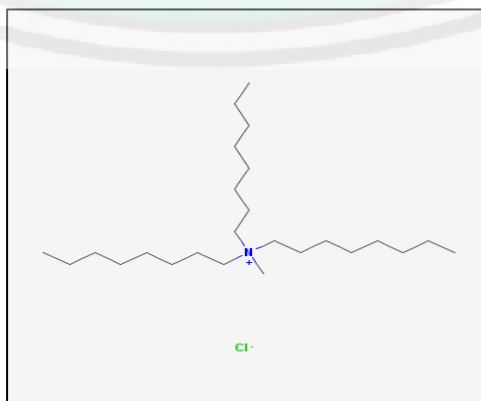
Tabel 2.3 Membran Lipid (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

LIPID			
No	Jenis Lipid	Rumus Kimia	Sifat Fisik
1	<i>Octadecylamine</i>	$C_{18}H_{39}N$	- Berbentuk putih padat - Tidak dapat larut dalam air - Memiliki densitas lebih kecil dari air sehingga mengapung dalam air
2	<i>Oleyl Alcohol</i>	$C_{18}H_{36}O$	- Berbentuk cair - Berwarna kuning muda - Kental pada suhu kamar
3	<i>Oleyc Acid</i>	$C_{18}H_{34}O_2$	- Berbentuk cairan - Berwarna kuning agak mudah - Bau - Ringan - Mudah mengapung
4	<i>Methyltrioctyl Ammonium Chloride</i>	$C_{25}H_{54}ClN$	- Berbentuk cairan

Tabel 2.4 *Plasticizer* (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

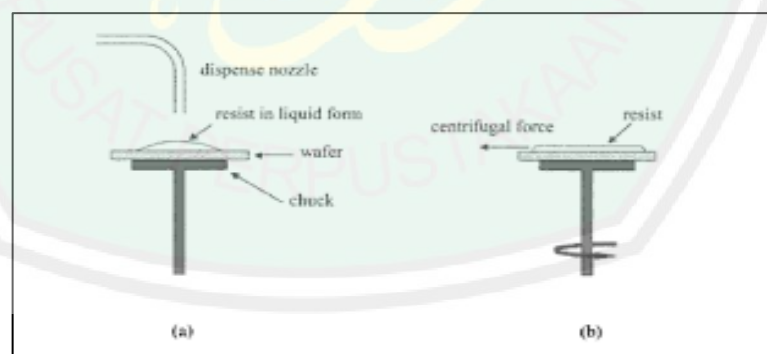
PLASTICIZER			
No	Plasticizer	Rumus Kimia	Sifat Fisik
1	2-NOPE	$C_{14}H_{21}NO_3$	- Berupa larutan - Berwarna kuning bening
2	Bis (2-Ethylhexyl) Sebacate	$C_{26}H_{50}O_4$	- Berupa larutan - Berwarna kuning - Bau segar - Tidak dapat larut dengan air
3	Bis (2-Ethylhexyl) Phosphate	$C_{16}H_{35}O_4P$	- Berupa cairan - Tidak berwarna sapai berwarna kuning terang - Tidak berbau - Terapung dalam air
4	Bis (1-Butylpentyl) Adipate	$C_{24}H_{46}O_4$	

Methyltrioctyl Ammonium Chloride merupakan senyawa kimia yang memiliki rumusan senyawa $C_{25}H_{54}ClN$. Massa molekul pada *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* sebesar 404.168 g/mol. *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* memiliki titik didih yang berfase liquid sebesar 225 °C dan titik leleh sebesar -20 °C (BASF, 2013). Berikut adalah gambar strutur lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

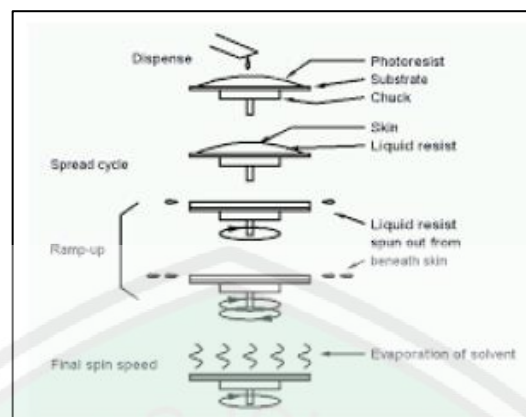
Gambar 2.6 Struktur kimia *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>).

2.2.5 *Spin Coating*

Spin coating merupakan salah satu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat dengan memanfaatkan gaya sentripetal, substrat diputar dengan kecepatan konstan agar diperoleh endapan tipis diatas substrat (Sa *et al.*, 2016). *Spin coating* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mendeposisikan genangan kecil dari cairan resin ke pusat substrat dan kemudian berputar substrat dengan kecepatan tinggi (biasanya 3000 rpm). Percepatan sentripetal akan menyebabkan sebagian besar resin menyebar, dan sampai akhirnya merata. Pada tepian substrat, akan meninggalkan lapisan tipis resin dipermukaannya. Ketebalan film dan property lainnya akan tergantung pada sifat dari resin tersebut (viskositas, laju pengeringan, padatan persen, tegangan permukaan dan lain sebagainya) dan parameter yang dipilih pada saat proses *spin coating* (Labanie, 2011)



Gambar 2.7 (a) Cairan/Resin ditetaskan pada media/substrat (b) Proses penyebaran dan penipisan pada saat *spin coater* bekerja (Labanie, 2011)



Gambar 2.8 Proses sederhana *spin coating* (Labanie, 2011)

Manurut (Sulastri, 2010) *spin coating* adalah metode penumbhan lapisan tipis pada substrat dengan cara meneteskan cairan ke pusat substrat. Ketika *spin coating* berada di laju putaran konstan, sebagian larutan yang berlebihan akan menuju tepi substrat sehingga lapisan larutan pada substrat semakin menipis. Untuk proses *spin coating* dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu tahap deposisi, *spin-up*, *spin-ogg*, dan evaporasi (Labanie, 2011).

Tahap pertama akan dimulai dengan meneteskan atau dialirkan sebuah cairan pelapisan berupa gel diatas substrat. Pada tahap deposisi substrat belum dimulai (diputar). Akibatnya gaya sentrifugal cairan menjadi tersebar secara radial keluar dari pusat putaran menuju tepi piringan. Pada tahap ini substrat mengalami percepatan. Sedangkan pada tahap kedua yakni laju putaran mulai konstan, artinya tidak ada percepatan sudut pada substrat. Pada tahap *spin off* sebagian cairan yang berlebih akan menuju ke tepi substrat dan akhirnya terlepas dari substrat membentuk tetesan-tetesan. Semakin menipis lapisan yang terbentuk semakin berkurang tetesan-tetesan yang terbuang. Hal ini dikarenakan oleh adanya penambahan hambatan alir dan viskositas pada saat lapisan semakin tipis. Tahap

terakhir, adalah *evaporasi*, merupakan mekanisme utama dari proses penipisan lapisan (Labanie, 2011).

Kecepatan putar merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses *spin coating*. Kecepatan putar pada substrat berpengaruh terhadap sudut gaya setrifugal yang mengenai cairan resin selain kecepatan dan turbulence putar yang tinggi menentukan ketebalan lapisan yang terbentuk (Labanie, 2011).

2.2.6 Osilator

Osilator merupakan suatu rangkaian elektronik yang digunakan sebagai pembangkit sinyal yang dapat mengubah suatu tegangan DC menjadi gelombang pulsa. Perubahan pada siklus gelombang sinyal tersebut terjadi pada setiap waktu atau sering disebut dengan frekuensi osilator. Ada beberapa jenis gelombang yang dapat dibangkitkan oleh osilator diantaranya gelombang sinus, gelombang kotak, dan gelombang segitiga. Selain itu dalam rangkaian elektronika osilator dapat digolongkan menjadi beberapa jenis diantaranya osilator *wien-Bridge*, osilator RC, osilator Colpitts, osilator LC, dan osilator kristal kuarsa. Masing-masing dari jenis osilator tersebut memiliki fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda (Fuada *et al.*, 2013).

a. Osilator *Wien-Bridge*

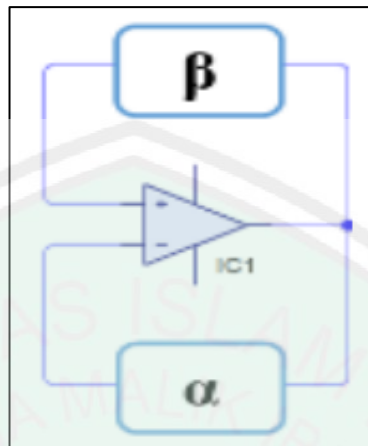
Osilator *wien-bridge* atau jembatan *wien* ditentukan oleh seorang fisikawan yang bernama Max Wien, beliau merupakan orang pertama yang mencetuskan ide penggeser fase 2 tingkat, seperti pada gambar dibawah ini. osilator *wien-bridge* merupakan suatu rangkaian osilator yang digunakan untuk

membangkitkan sinyal rendah dengan besar frekuensi antara 1 Hz sampai dengan 1 MHz (Malvino, 1984).

Prinsip kerja dari osilator *wien-bridge* menggunakan umpan balik positif dan balik negatif. Umpan balik positif merupakan kondisi dimana osilasi meningkat ketika pertama kali daya dihidupkan. Sedangkan umpan balik negatif kebalikan dari umpan positif yakni mengurangi kelebihan dari sinyal setelah sinyal mencapai keluaran yang telah diinginkan (Malvino, 1984).

b. Osilator RC

Osilator RC merupakan osilator yang menggunakan tahanan dan kapasitor yang digunakan sebagai penentu frekuensi. Osilator ini merupakan osilator yang mudah dibangun dan memiliki ketelitian frekuensi yang rendah. Osilator RC memiliki beberapa komponen rangkaian elektronika diantaranya komponen α , komponen β , dan komponen diode penyearah. Komponen α merupakan komponen atau penguat yang terdiri dari penguat *op-Amp* yang terbentuk dari rangkaian R_f dan R_g yang dirangkai ke input negative *Op-Amp*. Sedangkan komponen β merupakan komponen *feedback* yang terbentuk dari jaringan R-C yang dirangkai pada inputan positif *Op-Amp*. Berikut merupakan gambar rangkaian dari osilator RC (Fuada, 2016).



Gambar 2.9 Rangkaian Osilator RC (Fuada, 2016)

c. Osilator Kristal Kuarsa

Kristal kuarsa yang digunakan sebagai osilator dinilai memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu memiliki efek piezoelektrik yang stabil, banyak ditemukan dalam bebas, dan memiliki biaya yang terjangkau. Jenis kristal kuarsa yang menunjukkan efek piezoelektrik terdiri dari beberapa jenis. Kristal kuarsa yang akan digetarkan dapat membangkitkan tegangan searah (AC). Ketika kristal dialiri tegangan AC maka kristal akan bergetar dengan frekuensi yang sebanding dengan besar tegangan inputan (masukan). Kristal yang dapat mengalami peristiwa tersebut yaitu kristal kuarsa, garam Rochelle, dan kristal Turmalin (Malvino, 1984).

Bentuk alami dari kristal kuarsa yaitu berupa prisma heksagonal dengan limas yang terdapat pada kedua ujungnya. Kristal tersebut dapat dimanfaatkan dengan memotong kristal alam menjadi potongan kristal yang sesuai. Potongan yang biasanya digunakan untuk mengolah kristal kuarsa alam dapat dibagi

menjadi beberapa jenis, diantaranya potongan X, potongan Y, potongan XY, dan potongan AT. Untuk potongan AT, biasanya digunakan pada sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) (Malvino, 1984).

2.2.7 Elektroda

Elektroda merupakan sebuah konduktor yang dialiri oleh arus listrik dari media satu ke media yang lain. Elektroda biasanya digunakan untuk bersentuhan dengan bahan non logam seperti bahan semikonduktor dan elektrolit. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu elektroda positif dan elektroda negatif. Kedua bagian tersebut dikarenakan adanya arus listrik yang mengalir pada elektroda sebagai sumber energi dalam pertukaran elektron (Harahap *et al.*, 2016).

Parameter yang dapat diukur pada elektrokimia ada 4 macam, yaitu potensial (E), arus (I), muatan (Q), dan waktu (t). Elektroda yang digunakan dalam teknik elektrokimia terdiri dari tiga elektroda, yaitu elektroda kerja (WE), elektroda pembanding (RE), dan elektroda counter/*auxiliary electrode* (CE).

a. Elektroda Kerja (WE)

Elektroda kerja merupakan elektroda tempat reaksi yang diinginkan terjadi. Karakteristik yang ideal dari elektroda kerja adalah memiliki daerah potensial yang lebar, hambatan kecil, dan permukaan yang reproduksibel. Daerah potensial masing-masing elektroda tergantung pada bahan elektroda dan komposisi elektrolit. Daerah potensial dapat disesuaikan dengan elektroda dan larutan elektrolit yang disesuaikan. Elektroda kerja digunakan untuk

menunjukkan secara tidak langsung jika elektroda ini merespon $\frac{1}{2}$ reaksi spesifik.

b. Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding merupakan elektroda yang mempunyai potensial elektrokimia konstan selama tidak ada arus yang mengalir dan sama sekali tidak peka terhadap komposisi larutan yang akan diselidiki. Elektroda pembanding digunakan untuk mengukur potensial pada elektroda kerja. Pasangan elektroda pembanding adalah elektroda kerja. Potensial yang diukur bergantung pada konsentrasi zat yang diselidiki. Pemilihan elektroda pembanding harus memperhatikan beberapa faktor:

- Elektroda pembanding harus reversible dan sesuai dengan persamaan Nerst:
- $$E_c = E_0 \left(\frac{RT}{nF} \right) \ln \frac{[ox]}{[Red]} \quad (2.2)$$
- Tegangannya harus konstan tiap waktu.
 - Potensialnya harus kembali ke nilai dasar setelah arus kecil dilewatkan melalui elektroda.

2.2.8 OpenQCM

OpenQCM adalah perangkat Quartz Crystal Microbalance yang pertama kali dibuka yang diaplikasikan di berbagai bidang ilmiah, seperti penginderaan kimia, biologi, dan ilmu material. OpenQCM merupakan seperangkat alat elektronika yang berbasis sensor QCM dengan memanfaatkan efek *piezoelectric*.

Alat ini memiliki beberapa komponen *Hardware* dan *Software* yang digunakan untuk memproses data. *Hardware* yang terdapat pada OpenQCM terdiri dari *Arduino Micro Board*, *Temperature Shield*, dan *QCM Arduino Shield*. Ketiga bagian tersebut berfungsi sebagai osilator, pencacah frekuensi, mikrokontroler, dan sebagai pengukur suhu (*temperature*). *Software* yang digunakan untuk menampilkan data pada perangkat OpenQCM merupakan *software* yang diproduksi sendiri oleh OpenQCM.

1. **Hardware OpenQCM**

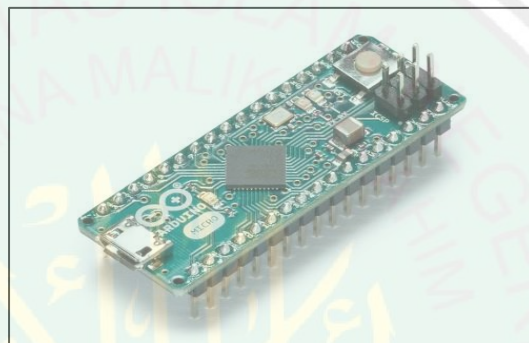
Hardware yang terdapat pada OpenQCM terdiri dari beberapa komponen penting yang memiliki fungsi yang berbeda-beda, diantaranya:

a. **Arduino Micro**

Arduino micro merupakan sebuah mikrokontroler yang digunakan sebagai inti dari OpenQCM yang berukuran kecil, sehingga dapat digunakan sesuai dengan ukuran desain alat yang diinginkan. Arduino micro yang digunakan pada OpenQCM merupakan mikrokontroler yang berjenis ATmega32u4 dengan 8-bit CPU yang memiliki frekuensi sebesar 16 MHz. Arduino micro pada OpenQCM ini memiliki tegangan sebesar 5 VDC yang terhubung dengan kabel USB (Novaetech,2016).

Arduino micro berjenis ATmega32u4 memiliki 20 pin input/output digital dengan pembagian 7 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 12 pin digunakan sebagai *input* analog. Selain itu, juga terdapat osilator kristal 16 MHz, koneksi USB mikro, header ICSP, dan tombol reset. Papan micro (micro board) pada komponen ini memiliki kesamaan dengan Arduino

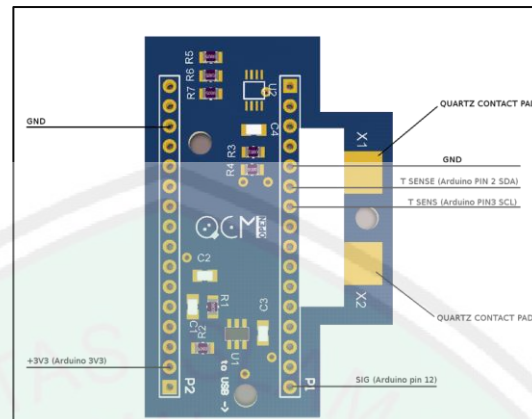
Leonardo, hal ini dikarenakan ATmega32u4 dibangun berdasarkan USB yang sudah terintegrasi sehingga tidak diperlukannya proses sekunder. Hal ini memungkinkan Arduino micro dapat terhubung dengan komputer sebagai mouse dan keyboard (Novaetech,2016). Arduino micro dengan jenis ATmega32u4 ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Arduino Micro ATmega32u4 (Novaetech,2016)

b. *QCM Arduino Shield*

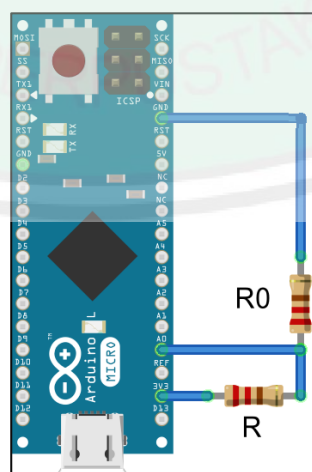
QCM Arduino Shield merupakan modul yang digunakan untuk menghubungkan sensor dengan Arduino mikro. *QCM Arduino Shield* berfungsi sebagai *quartz crystal oscillator driver*. Rangkaian *driver* diaplikasikan sebagai osilator kristal dalam berbagai frekuensi. *QCM Arduino Shield* akan membangkitkan sebuah getaran resonansi QCM, sehingga frekuensi resonansi dapat diukur oleh Arduino micro. Dalam *QCM Arduino Shield* terdapat sensor pengukur suhu (*temperature*) yang berfungsi untuk mengetahui stabilitas *temperature* pada alat (Novaetech,2016).



Gambar 2.11 QCM Arduino Shield(Novaetech,2016)

c. *Temperature Shield*

Sensor suhu yang digunakan pada rangkaian OpenQCM merupakan detector suhu dengan ketahanan PT 100 RTD (*Resistance Temperature Detector*). Resistensi RTD secara langsung berhubungan dengan *temperature* yang diprediksi melalui hubungan linier. PT 100 dimasukkan dalam sebuah rangkaian tegangan (*voltage*) yang terhubung secara linier (Novaetech,2016).

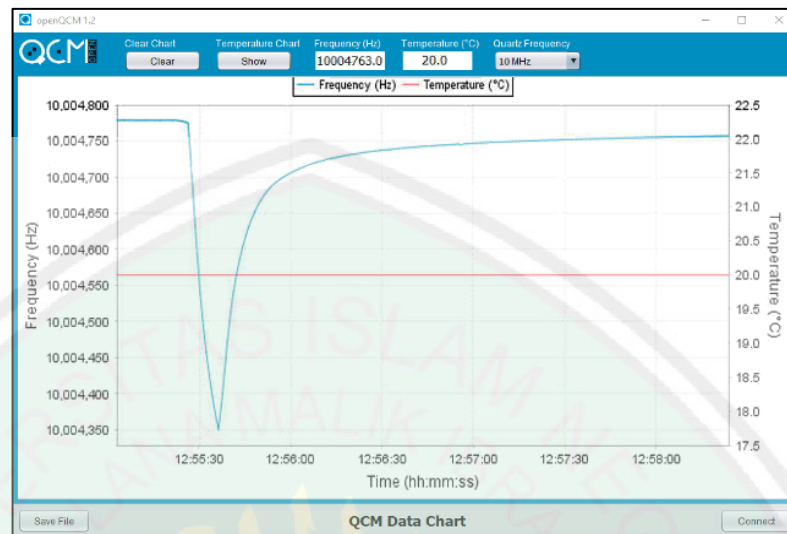


Gambar 2.12 sensor suhu (*temperature*) (Novaetech,2016)

Rangkaian sensor suhu (gambar 2.12) resistansi PT 100 ditunjukkan sebagai R0, resistor 100 ohm ditunjukkan sebagai R. Sedangkan untuk vcc yang terdapat pada rangkaian sensor suhu merupakan pin output Arduino 3.3V dan V merupakan tegangan yang diukur melalui pin analog A0. Untuk menentukan *temperatur* pada OpenQCM-arduino dapat digunakan *source code* Fungsi `getTemperature()`. Data serial yang dihungkan dengan sebuah protocol yang diimplementasi dalam fungsi data print. Fungsi dari rangkaian print Data serial yang telah diperoleh akan terbaca oleh *Arduino Micro* dan ditunjukkan dengan tampilan “RAWMONITOR” pada awal *skech*. Selain itu, juga berfungsi untuk menampilkan data dengan nilai 225-bit yang diatur pada bagian akhir data transfer (Novaetech,2016).

2. **Software Sensor QCM**

Software yang digunakan untuk mengolah data keluaran (*outputan*) adalah *software* OpenQCM 1.2. *Software* tersebut ditulis dalam Bahasa pemrograman Java dan dijalankan pada Windows, Linux, dan Mac. Data yang ditampilkan pada *software* OpenQCM 1.2 ini berupa data frekuensi (Hz) dan data temperature (°C). Tampilan grafik pada *software* OpenQCM ditunjukkan pada gambar 2.13 dengan sumbu x merupakan *real time* dan sumbu y merupakan data Frekuensi dan Temperatur. Untuk penyimpanan data *software* OpenQCM berupa *Text File* (Novaetech,2016).



Gambar 2.13 Tampilan Software OpenQCM (Novaetech,2016)

Pengolahan data menggunakan *software* OpenQCM 1.2 sangatlah mudah. Adapun tahapan menggunakan *software* OpenQCM adalah dengan menghubungkan perangkat OpenQCM pada PC dengan menggunakan kabel USB. Kemudian dibuka aplikasi *software* OpenQCM 1.2 dan akan muncul tabel seperti pada gambar 2.13. Setelah itu dilakukan pengaturan pada kolom “*Quartz Frekuensi*” menjadi 10Mhz (sesuai dengan tipe sensir QCM). Selanjutnya tekan tombol “*Save File*” untuk menyimpan data frekuensi dan suhu yang akan tersimpan dalam bentuk “*Text File*”. Untuk menjalankan *software* klik tombol “*Connect*”, sedangkan untuk menghentikan atau me-stop *software* klik tombol “*Disconnect*” (Novaetech,2016).

2.2.9 Frekuensi Counter (Pencacah Frekuensi)

Frekuensi counter merupakan suatu alat instrumentasi elektronik yang digunakan untuk mengukur frekuensi. Frekuensi dapat didefinisikan sebagai jumlah dari suatu peristiwa yang terjadi pada satuan detik dengan satuan Hz. Sedangkan, counter atau timer merupakan suatu sarana inputan yang digunakan untuk mengukur lebar suatu pulsa, membangkitkan pulsa dengan lebar yang pasti, dipakai dalam pengendalian tegangan secara PWM (Pulsa With Module), dan sangat diperlukan dalam pengaplikasian remote control dengan infra merah (Afniza, 2008).

Ketelitian dari frekuensi counter sangat tergantung pada stabilitas dari basis pewaktunya (*Time Base*). Membangun sebuah *Time Base* dalam instrument tersebut dibutuhkan suatu sirkuit yang memiliki ketelitian yang tinggi, biasanya menggunakan osilator (pembangkit gelombang/pulsa) kristal yang terbuat dari Quartz Crystal dalam ruangan yang terisolasi dengan suhu terkontrol. Ketelitian dari pengukuran dapat ditingkatkan lebih baik dengan mengukur waktu dari jumlah saluran siklus yang diamati dalam waktu tertentu (sering disebut sebagai teknik bolak balik) (Afniza, 2008).

Frekuensi counter mempunyai beberapa batasan sebelum *overflow*. Untuk frekuensi yang sangat tinggi, kebanyakan frekuensi counter dirancang dengan menggunakan *prescaler* (skala pembanding) untuk mengubahnya menjadi sinyal yang dicacah oleh sirkuit digital biasa/normal dalam perhitungan frekuensinya. Display pada instrument tersebut tetap menampilkan nilai frekuensi yang sebenarnya. Jika frekuensi yang diukur oleh tinggi pada skala pembanding

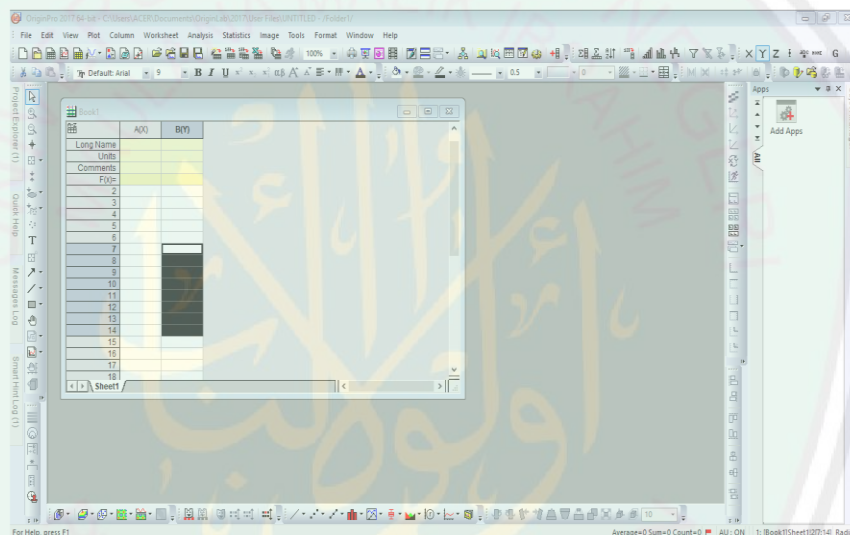
(*prescaler*) yang tersedia, maka sebuah pemandu sinyal (*mixer*) dan pembangkit gelombang local dapat memproduksi frekuensi sinyal yang sesuai untuk pengukurannya (Afniza, 2008).

2.2.10 OriginPro

OriginPro merupakan sebuah program komputer yang digunakan untuk analisa data dan membuat grafik ilmiah. Program ini diproduksi oleh *OriginLab Comparison* dan dijalankan oleh Microsoft Windows. Program ini juga menginspirasi beberapa sumber dengan *platform-Independen* terbuka seperti SciDAVis. OriginPro menawarkan beberapa fitur origin yang sudah diperluas dengan analisis untuk *statistic*, *fitting 3D*, *Image Processing*, dan *signal processing*. Untuk daftar fitur analisis dilengkapi oleh beberapa sarana yang disediakan di OriginPro. Origin memiliki banyak *windows* dan *workspaces* yang tersedia untuk menyelesaikan variasi data. Untuk *windows* pada originpro yang sering digunakan yaitu *workbook*, *graph*, dan *Matrix* (Originlab, 2007).

Workbook yang terdapat pada halaman pertama Origin berfungsi untuk mengatur data. Pada halaman tersebut terdapat kolom dengan tipe yang berbeda-beda, seperti kolom X, kolom Y, *yError*, dan lain sebagainya untuk mewakili sebutan sebuah plot pada grafik. Gambar 2.10 menunjukkan tampilan halaman pertama pada OriginPro (Originlab, 2007).

Penyimpanan file pada program OriginPro data dapat diimport dalam berbagai macam jenisn format penyimpanan, diantaranya Teks SCII, Excel, NI TDM, DIADem, NetCDF, SPC, dan lain sebagainya. Grafik yang terdapat pada program ini juga dapat di ekspor dalam berbagai format, seperti JPEG, GIF, EPS, TIFF, dan lain-lain. Selain itu, untuk mengakses database pada program ini bisa melalui ADOa yang tersedia pada *Query Tool* (Originlab, 2007).



Gambar 2.14 Tampilan Utama OriginPro 2017

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Waktu Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksperimentasi yang digunakan untuk menentukan karakterisasi sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriocetyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan mei 2018 sampai selesai.

Penelitian ini bertempat di Laboratorium Riset Atom Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Termodinamika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Laboratorium Analitik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, dan Laboratorium Fisika Material Maju dan Plasma Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat –alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.1 Alat-alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Spesifikasi
1	Holder QCM	1	Panjang 13.46 mm
2	Beaker Glass	1	Ukuran 100 ml
3	Open QCM	1	Serangkaian
4	Micro Pipet Tetes	1	Ukuran 20-1000 μ L
5	Botol Semprot	2	Ukuran 500 ml

6	Pot Sampel	30	Ukuran 100 ml
7	Pot Sampel	2	Ukuran 20 ml
8	Magnetic Stirer	1	
9	Spatula	1	
10	Gelas Ukur	1	Ukuran 100 ml
11	Kertas Label	1 pcs	
12	Yellow Tip	30	
13	Kabel Buaya	2	
14	Neraca	1	Digital
15	Personal Computer	1 set	Pc Windows 10
16	Software QCM	1	
17	Microsoft Excel	1	Excel 2016
18	Spin coater	1	VTC 100
19	Kabel Data	1	Micro USB
20	Kristal Kuarsa	1	Diameter 8.9 mm

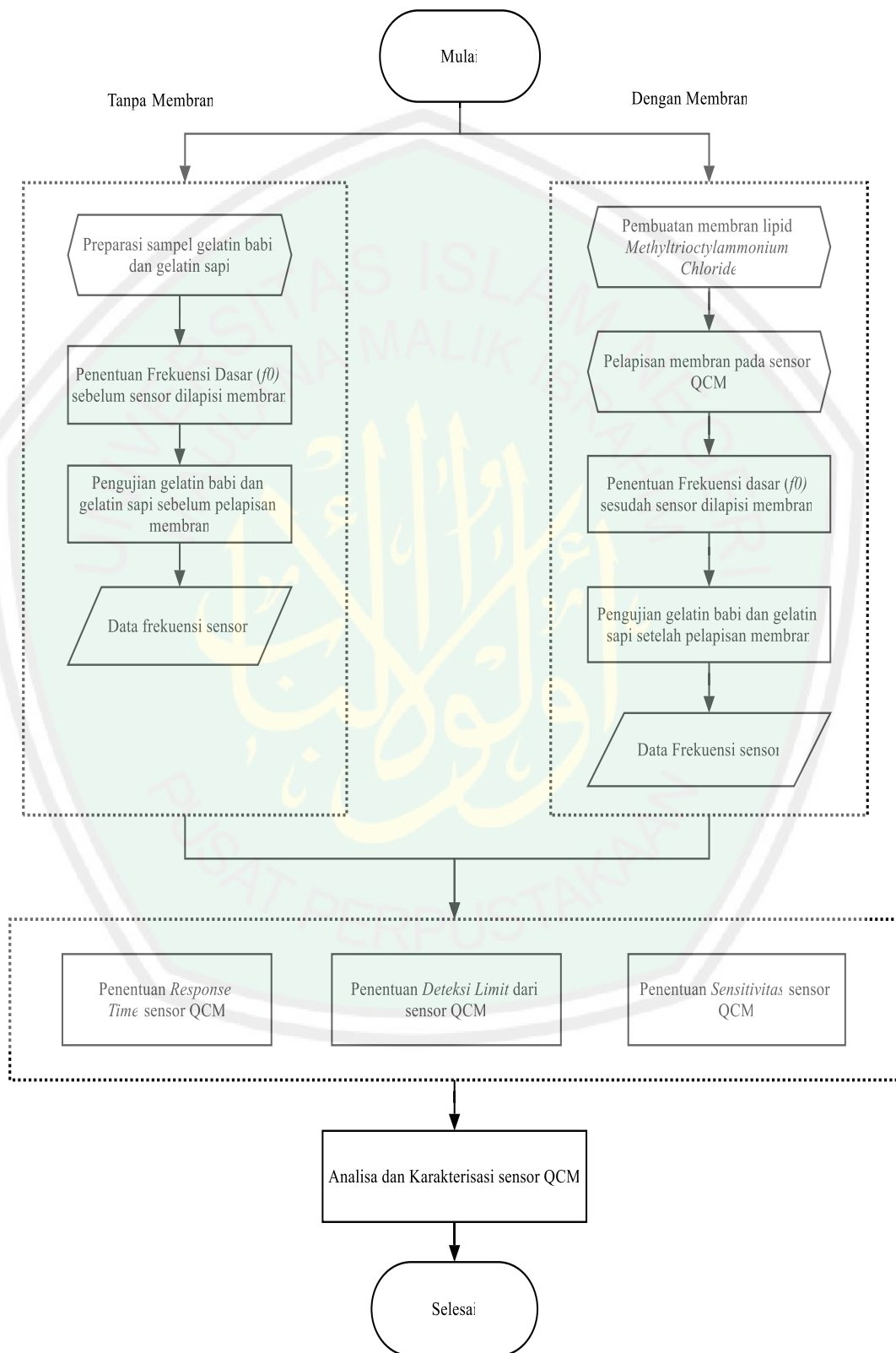
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini meliputi:

Tabel 3.2 Bahan-bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Spesifikasi
1	Aquades	kemurnian 99%
2	<i>Methyltriocetyl Ammonium Chloride</i>	Fase Cair
3	Tetrahydrofuran (THF)	Fase Cair
4	Polyvinyl Chlorida (PVC)	Fase Cair
5	Plasticizer: Bis (2-ethylhexyl) sebacate	Fase Cair
6	Gelatin Babi	Fase Cair dan konsentrasi 0-120 mM
7	Gelatin Sapi	Fase Cair dan konsentrasi 0-120 mM

3.3 Diagram Penelitian

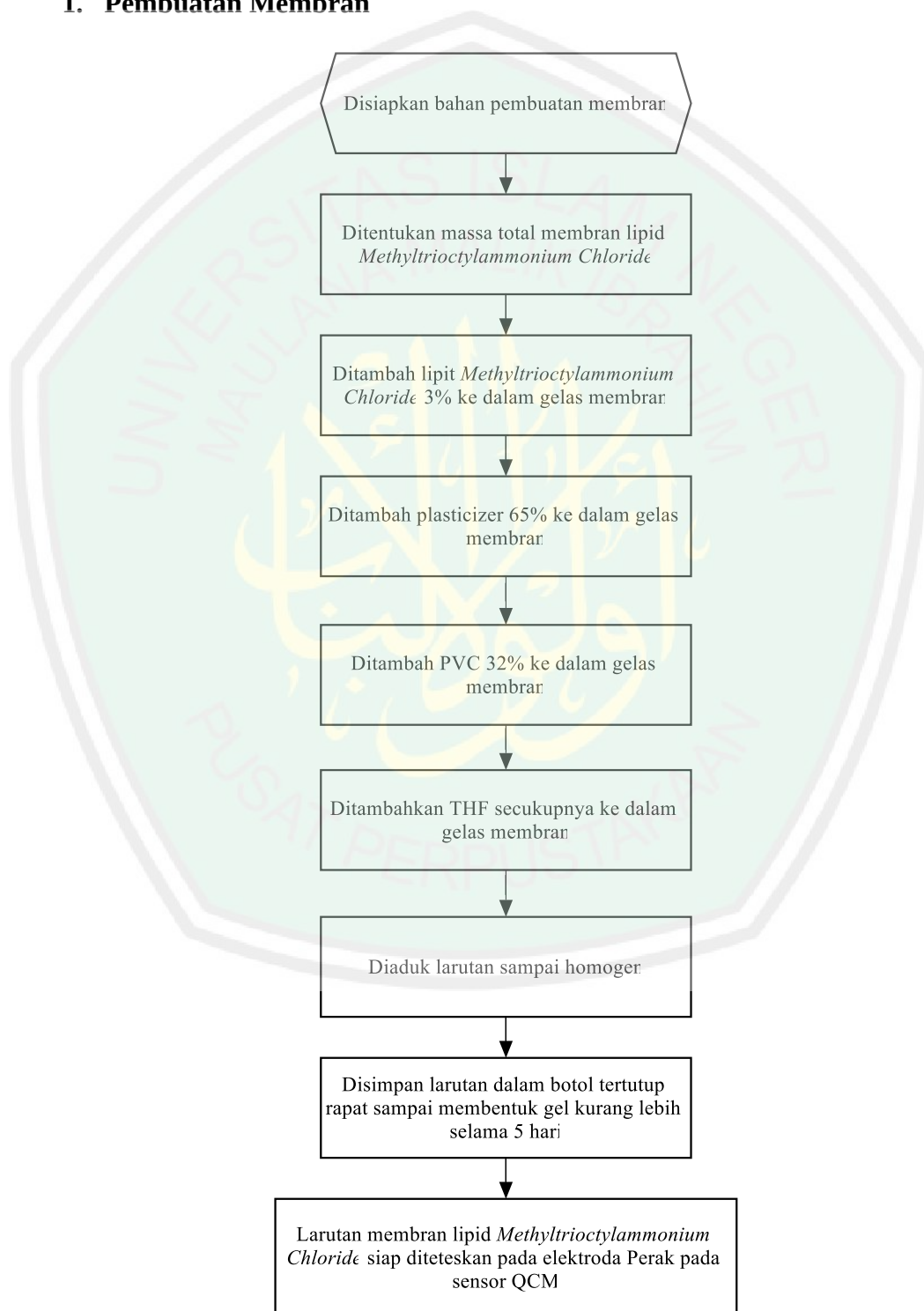


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Tahap Persiapan

1. Pembuatan Membran



Gambar 3.2 Diagram Pembuatan Membran

Berikut merupakan penjelasan mengenai tahapan-tahapan dalam pembuatan membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*:

- a. Bahan-bahan disiapkan untuk membuat membran lipid yaitu *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*, plasticizer: *Bis (2-Ethylhexyl) sebacate*, *Polivinyll Chloride* (PVC), dan *Tetrahydrofuran* (THF).
- b. Membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* yang digunakan ditentukan massa totalnya.
- c. Bahan-bahan pembuatan membran diukur sesuai dengan massa total dengan presentase pada bahan *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* sebanyak 3%, *Plasticizer: Bis (2-Ethylhexyl) sebacate* sebanyak 65%, *Polyvinyl Chloride* (PVC) sebanyak 32%, dan *Tetrahydrofuran* (THF) secukupnya.
- d. Membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* sebanyak 3% ditempatkan pada gelas membran yang berfungsi sebagai bahan aktif membran yang akan berinteraksi langsung dengan sampel.
- e. *Plasticizer: Bis (2-Ethylhexyl) sebacate* sebanyak 65% dari massa total ditambahkan ke dalam gelas membran yang berfungsi sebagai pemlastis membran.
- f. *Polyvinyl Chloride* (PVC) sebanyak 32% dari massa total ditambahkan ke dalam gelas membran.
- g. *Tetrahydrofuran* (THF) ditambahkan secukupnya pada gelas membran yang berfungsi sebagai pelarut antara membran lipid *Methyltrioctyl*

Ammonium Chloride, *Plasticizer: Bis (2-Ethylhexyl) sebacate*, dan *Polyvinyl Chloride (PVC)*.

- h. Larutan lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*, *Plasticizer: Bis (2-Ethylhexyl) sebacate*, dan *Polyvinyl Chloride (PVC)*, dan *Tetrahydrofuran (THF)* diaduk sampai homogen.
- i. Larutan membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* disimpan kedalam botol yang tertutup rapat selama 5 hari hingga membentuk gel.
- j. Membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* siap digunakan untuk tahap pelapisan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).

2. Pelapisan Elektroda

Berikut merupakan tahapan-tahapan dalam proses pelapisan elektroda pada sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM):

- a. Bahan-bahan seperti membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* yang sudah tercampur dengan *Plasticizer: Bis (2-Ethylhexyl)*, *Polyvinyl Chloride (PVC)*, dan *Tetrahydrofuran (THF)* disiapkan untuk pelapisan elektroda perak.
- b. Holder sensor QCM ditempatkan pada *vacuum chuck* yang terdapat ditengah-tengah *spin coater*.
- c. Membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* disiapkan untuk ditetaskan pada sensor QCM dengan micropipet sebanyak 50µl.
- d. Tombol *run* ditekan untuk memutar sensor QCM pada wadah yang terdapat ditengah-tengah *spin coater* dengan kecepatan awal 500 rpm

- e. Membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* ditetesakan pada saat kecepatan 3000 rpm.
- f. Alat (*spint coating*) ditunggu sampai berhenti sampai otomatis.

3. Persiapan Pengambilan Data

Berikut merupakan tahap-tahap dalam persiapan pengambilan data penelitian:

- a. Gelatin babi dan gelatin sapi diukur massanya menggunakan neraca digital dengan variasi konsentrasi sampel yang sudah ditentukan.
- b. Gelatin babi dan gelatin sapi dilarutkan dengan aquades yang sudah dipanaskan pada suhu 50 °C dan kecepatan 350 rpm.
- c. Gelatin babi dan gelatin sapi yang sudah dilarutkan dituangkan pada botol dan ditunggu selama 15 menit.
- d. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dihubungkan dengan rangkaian yang sudah disiapkan seperti OpenQCM dan *Personal Computer*.

3.4.2 Tahap Pengambilan Data

1. Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

- a. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni yang sudah terpasang dengan holder QCM ditempatkan dalam botol.
- b. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dihubungkan pada OpenQCM dengan menggunakan penjepit buaya.

- c. Software OpenQCM dijalankan dan diberikan tegangan listrik pada rangkaian sensor agar berosilasi.
- d. Ditunggu beberapa menit sampai frekuensi osilasi sensor QCM dalam keadaan *steady state*.
- e. Pengulangan dilakukan minimal sebanyak 5 kali percobaan.
- f. Data frekuensi yang diperoleh dari *software data logger* sensor QCM disimpan pada Microsoft Excel 2010.
- g. Data hasil dianalisis sehingga diperoleh nilai frekuensi dasar (f_0) yang nantinya akan dituliskan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

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

2. Tahap Pengambilan Data Gelatin Babi Sebelum Pelapisan Membran

- a. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak yang belum dilapisi dengan membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* yang sudah terpasang pada holder QCM yang kemudian dihubungkan dengan alat open QCM.
- b. Pengujian dilakukan dengan meneteskan sampel gelatin babi yang sudah dilarutkan pada permukaan sensor QCM dengan variasi konsentrasi yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.4.

- c. *Software data logger* dijalankan dan ditunggu sekitar ± 5 menit *software data logger* untuk mendapatkan data hasil.
- d. Disetiap pergantian variasi sampel gelatin babi sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan Aquades.
- e. *Software data logger* QCM dimatikan sesudah melakukan semua pengujian pada sampel gelatin babi dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda.
- f. Data yang sudah diperoleh dari *software data logger* QCM akan disimpan pada Microsoft Excel 2010 dengan format yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Rencana Pengambilan Data pada Sampel Gelatin Babi Sebelum Pelapisan Membran Lipid *Methyltriocetyl Ammonium Chloride*

NO	KONSENTRASI (mM)	GELATIN BABI PADA ELEKTRODA PERAK	
		WAKTU (S)	FREKUENSI (Hz)
1	0		
2	10		
3	20		
4	30		
5	40		
6	50		
7	60		
8	70		
9	80		
10	90		
11	100		
12	110		
13	120		

3. Tahap Pengambilan Data Gelatin Sapi Sebelum Pelapisan Membran

- a. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak yang belum dilapisi dengan membran lipid *Methyltriocetyl Ammonium Chloride*

yang sudah terpasang pada holder QCM yang kemudian dihubungkan dengan alat open QCM.

- b. Pengujian dilakukan dengan meneteskan sampel gelatin sapi yang sudah dilarutkan pada permukaan sensor QCM dengan variasi konsentrasi yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.4.
- c. *Software data logger* dijalankan dan ditunggu sekitar ± 5 menit *software data logger* untuk mendapatkan data hasil.
- d. Disetiap pergantian variasi sampel gelatin sapi sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan Aquades.
- e. *Software data logger* QCM dimatiakan sesudah melakukan semua pengujian pada sampel gelatin sapi dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda.
- f. Data yang sudah diperoleh dari *software data logger* QCM akan disimpan pada Microsoft Excel 2010 dengan format yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Rencana Pengambilan Data pada Sampel Gelatin Sapi Sebelum Pelapisan Membran Lipid *Methyltriocetyl Ammonium Chloride*

NO	KONSENTRASI (mM)	GELATIN SAPI PADA ELEKTRODA PERAK	
		WAKTU (S)	FREKUENSI (Hz)
1	0		
2	10		
3	20		
4	30		
5	40		
6	50		
7	60		
8	70		
9	80		
10	90		
11	100		
12	110		
13	120		

4. Tahap Pengambilan Data Gelati Babi Sesudah Pelapisan Membran

- a. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak yang telah dilapisi dengan membran lipid *Methyltriethyl Ammonium Chloride* yang sudah terpasang pada holder QCM yang kemudian dihubungkan dengan alat open QCM.
- b. Pengujian dilakukan dengan meneteskan sampel gelatin babi yang sudah dilarutkan pada permukaan sensor QCM dengan variasi konsentrasi yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.4.
- c. *Software data logger* dijalankan dan ditunggu sekitar ± 5 menit untuk mendapatkan data hasil.
- d. Disetiap pergantian variasi sampel gelatin babi sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan Aquades.
- e. *Software data logger* QCM dimatikan sesudah melakukan semua pengujian pada sampel gelatin babi dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda.
- f. Data yang sudah diperoleh dari *software data logger* QCM akan disimpan pada Microsoft Excel 2010 dengan format yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Rencana Pengambilan Data pada Sampel Gelatin Babi Sesudah Pelapisan Membran Lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*

NO	KONSENTRASI (mM)	GELATIN BABI PADA ELEKTRODA PERAK	
		WAKTU (S)	FREKUENSI (Hz)
1	0		
2	10		
3	20		
4	30		
5	40		
6	50		
7	60		
8	70		
9	80		
10	90		
11	100		
12	110		
13	120		

5. Tahap Pengambilan Data Gelatin Sapi Sesudah Pelapisan Membran

- a. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak yang telah dilapisi dengan membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* yang sudah terpasang pada holder QCM yang kemudian dihubungkan dengan alat open QCM.
- b. Pengujian dilakukan dengan meneteskan sampel gelatin sapi yang sudah dilarutkan pada permukaan sensor QCM dengan variasi konsentrasi yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.4.
- c. *Software data logger* dijalankan dan ditunggu sekitar ± 5 menit *software data logger* untuk mendapatkan data hasil.
- d. Disetiap pergantian variasi sampel gelatin sapi sensor QCM dibersihkan dengan menggunakan Aquades.

- e. *Software data logger* QCM dimatikan sesudah melakukan semua pengujian pada sampel gelatin sapi dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda.
- f. Data yang sudah diperoleh dari *software data logger* QCM akan disimpan pada Microsoft Excel 2010 dengan format yang sudah ditentukan seperti pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Rencana Pengambilan Data pada Sampel Gelatin Sapi Sesudah Pelapisan Membran Lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*

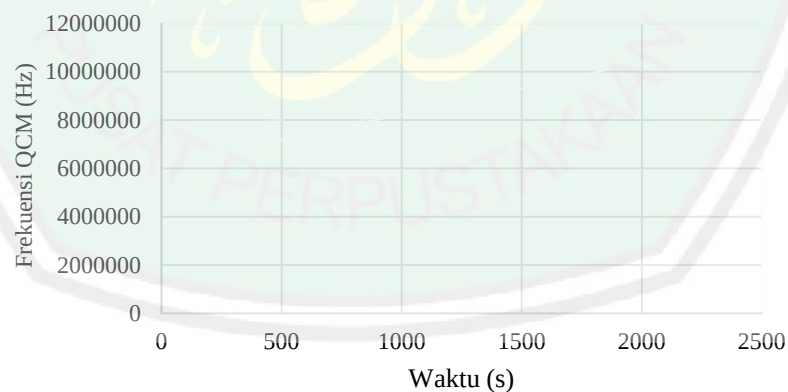
NO	KONSENTRASI (mM)	GELATIN SAPI PADA ELEKTRODA PERAK	
		WAKTU (S)	FREKUENSI (Hz)
1	0		
2	10		
3	20		
4	30		
5	40		
6	50		
7	60		
8	70		
9	80		
10	90		
11	100		
12	110		
13	120		

3.4.3 Tahap Pengolahan Data

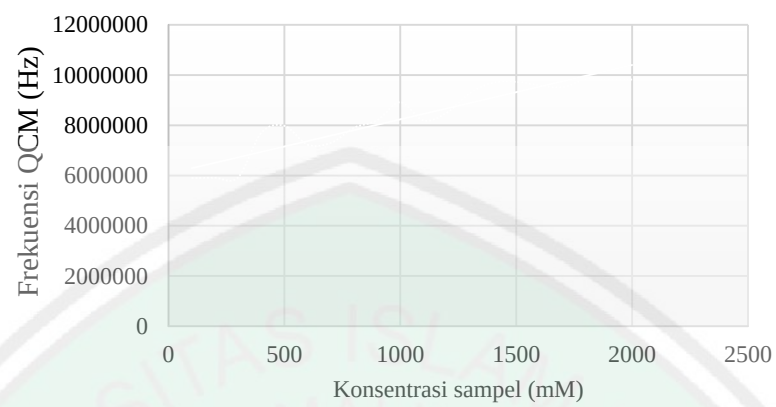
Tahap untuk pengolahan data penelitian meliputi:

1. Frekuensi dasar (f_0) ditentukan dari sensor QCM dengan pengulangan percobaan yang dilakukan sebanyak ± 5 kali, sehingga diperoleh frekuensi dasar (f_0) dalam keadaan *steady state*.

2. Data hasil diplot sehingga diperoleh grafik antara variabel waktu (s) dengan perubahan frekuensi (Δf) dengan tujuan untuk mengetahui *response time* sensor QCM seperti pada gambar 3.3.
3. Data hasil diplot sehingga diperoleh variabel konsentrasi dengan perubahan frekuensi (Δf), untuk mengetahui deteksi limit sensor QCM seperti pada gambar 3.3.
4. Analisa grafik deteksi limit dilakukan dengan menentukan daerah mati (*dead band*), daerah kerja, dan sturasi.
5. Regresi grafik dilakukan pada daerah kerja untuk mendapatkan nilai linieritas dan sensitivitas dari sensor QCM seperti pada gambar 3.4.
6. Dilakukan analisa hasil berupa karakterisasi dan sensitivitas sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).



Gambar 3.3 Rencana Analisa Grafik *Respond Time*



Gambar 3.4 Rencana Analisa Grafik Deteksi Limit

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur variasi massa dengan mengukur perubahan frekuensi resonansi kristal kuarsa. Sensor QCM telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang ilmiah, seperti biosensor, penginderaan kimia, dan ilmu material. Sensor QCM terdiri dari lapisan tipis kristal kuarsa (AT-Cut) dengan elektroda logam yang terdapat dimasing-masing sisinya. Sensor QCM memiliki kelebihan, diantaranya memiliki nilai sensitivitas yang tinggi, memiliki kemudahan dalam pemakaian, dan praktis untuk digunakan.

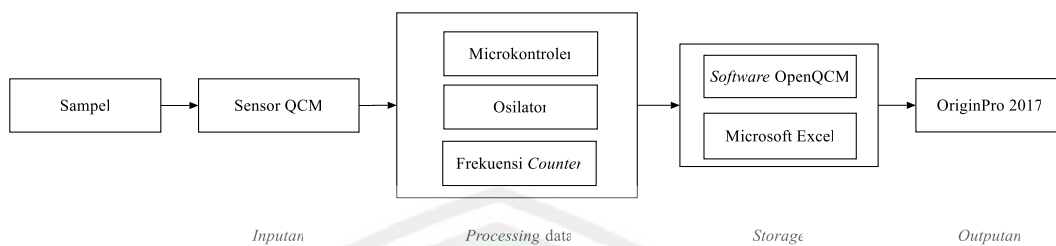
Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) pada umumnya digunakan sebagai sensor gas, akan tetapi pada percobaan kali ini sensor QCM digunakan untuk menguji cairan dan akan diaplikasikan sebagai lidah elektronik. Tujuan utama dalam percobaan ini adalah untuk menentukan karakterisasi dari sensor QCM yang meliputi *response time*, deteksi limit, dan sensitivitas sensor. Variasi sensor QCM yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*.

Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) tersusun dari beberapa komponen yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Komponen tersebut terdiri dari dua bagian, yaitu *Hardware* dan *Software*. Komponen *Hardware* terdiri dari bagian *inputan* dan *processing data*. Bagian *inputan* merupakan komponen-komponen yang berhubungan langsung dengan sampel. Pada bagian ini akan

menerima sinyal yang akan disampaikan pada bagian *processing* data. Adapun komponen yang berhubungan langsung dengan sampel yaitu seperangkat sensor QCM (kristal kuarsa, elektroda perak, dan holder QCM). Sampel yang digunakan pada percobaan ini yaitu gelatin babi dan gelatin sapi.

Processing data merupakan komponen elektronik yang digunakan sebagai penghubung antara *Hardware input* data dan *Software* yang terdapat pada komputer (PC). Komponen yang merupakan bagian *processing* data yaitu seperangkat OpenQCM yang terdiri dari QCM *Arduino Shield*, *Arduino Micro Board*, dan sensor suhu (*Temperatur*). Secara garis besar bagian yang terdapat pada OpenQCM, yaitu mikrokontroler, osilator, dan frekuensi *counter*. Komponen-komponen tersebut merupakan hasil produksi OpenQCM.

Software yang digunakan pada percobaan ini meliputi *software* OpenQCM 1.2, Microsoft Excel, dan OriginPro 2017. Ketiga *software* memiliki fungsi yang berbeda-beda dalam pengolahan data. *Software* OpenQCM 1.2 berfungsi untuk menampilkan data hasil berupa grafik frekuensi dan temperatur yang diperoleh dari *processing* data. Data hasil keluaran (*outputan*) yang diperoleh dari *software* OpenQCM berupa data logger yang tersimpan dalam bentuk *Text file*. Sedangkan, Microsoft Excel dan OriginPro 2017 digunakan untuk mengolah dan menganalisa data yang telah diperoleh. Untuk sistem sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Sensor QCM

4.1 Data Hasil percobaan

4.1.1 Preparasi Sampel

Sampel yang digunakan pada percobaan ini yaitu gelatin babi dan gelatin sapi. Kedua sampel yang digunakan dalam bentuk kristal (padatan). Sehingga, dilakukan proses preparasi sampel dengan pelarutan gelatin babi dan gelatin sapi. Preparasi sampel untuk gelatin babi dan gelatin sapi dilakukan dengan melarutkan padatan (kristal).

Sampel gelatin babi dan gelatin sapi dilakukan sebanyak 13 variasi konsentrasi, diantaranya 10 mM, 20 mM, 30 mM, 40 mM, 50 mM, 60 mM, 70 mM, 80 mM, 90 mM, 100 mM, 110 mM, dan 120 mM. Ditentukan jumlah gelatin babi dan gelatin sapi terlebih dahulu untuk melarutkan sampel. Setiap konsentrasi sampel dihitung dengan menggunakan persamaan pelarutan yaitu:

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

Dimana:

M : Konsentrasi sampel yang dilarutkan (M)

m : Massa Gelatin Babi dan Gelatin Sapi setiap Sampel (gr)

M_r : Massa Molekul Relative Gelatin Babi dan Gelatin Sapi

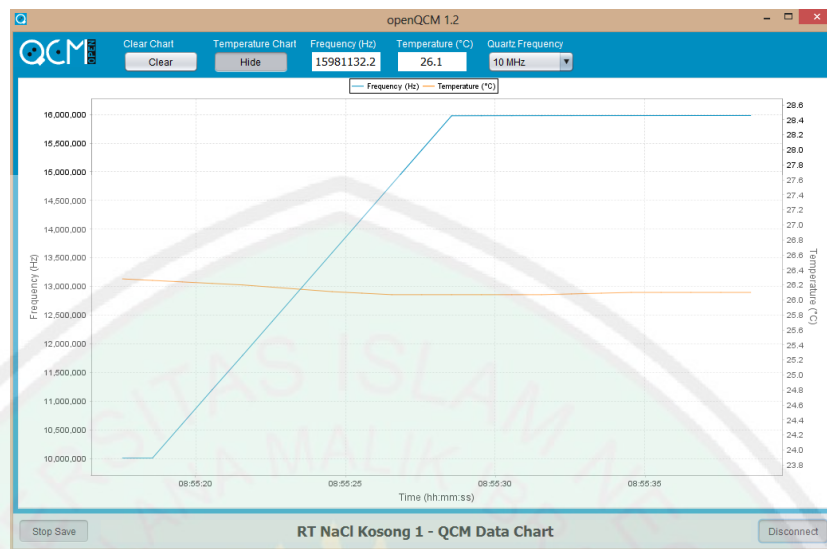
V : Volume Pelarut (ml)

Bahan yang digunakan untuk melarutkan gelatin babi dan gelatin sapi yaitu aquades dengan ukuran masing-masing sampelnya 100 ml. Untuk

pengukuran kedua sampel (gelatin babi dan gelatin sapi) nilai M_r (massa molekul relative) sama.

Proses pelarutan sampel dilakukan dengan mengukur gelatin babi dan gelatin sapi dengan menggunakan neraca digital sesuai dengan konsentrasi yang kita tentukan. Untuk melarutkan kedua sampel tersebut dilakukan dengan memanaskan aquades 100 ml menggunakan *magnetic stirrer*. Pemanasan aquades dilakukan dengan suhu 50°C dan kecepatan putar 350 rpm. Tujuan pemanasan aquades 100 ml supaya padatan gelatin babi dan gelatin sapi dapat larut sampai homogen dan tidak mudah membentuk gel. Setelah dilakukan proses pelarutan, sampel disimpan kedalam botol 100 ml dan ditunggu sampai larutan gelatin babi dan gelatin sapi dingin.

Proses pengujian sampel dilakukan dengan meneteskan larutan gelatin babi dan gelatin sapi di atas permukaan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM). Sampel diteteskan dengan menggunakan micro pipet yang berukuran 10 μ l. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang sudah ditetesi sampel ditempatkan kedalam wadah tertutup supaya sensor berada dalam keadaan *vacuum* (bebas dari udara dan tidak terlalu banyak tekanan dari luar). Setelah itu, semua rangkaian (sensor QCM dan OpenQCM) dihubungkan ke *Personal Computer* (PC) dengan menggunakan kabel USB. *Software* OpenQCM 1.2 dimulai dengan menentukan *Quartz Frekuensi* 10 MHz. Setelah itu, klik kolom “save” untuk menyimpan data dan klik tombol “countinue” untuk menjalankan *software* OpenQCM 1.2.



Gambar 4.2 Tampilan *software* OpenQCM 1.2

Proses pengujian pertama adalah menentukan nilai frekuensi dasar (f_0) sensor QCM baik dengan elektroda perak murni maupun dilapisi dengan menggunakan membran. Proses ini dilakukan dengan tujuan sebagai kontrol dalam proses pengambilan data selanjutnya. Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dengan waktu pengulangan tiap sampel dilakukan dalam 5 menit supaya data yang dihasilkan lebih akurat. Kemudian data hasil yang diperoleh dari setiap pengulangan akan dirata-rata untuk mendapatkan nilai frekuensi dasar (f_0).

Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan menentukan nilai frekuensi sensor QCM dengan sampel gelatin babi dan gelatin sapi dalam bentuk cairan. Pengujian dengan menggunakan sampel ini dimulai dengan konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi. Sampel ditetaskan pada permukaan sensor QCM dengan menggunakan micro pipet 10 μl .

Konsentrasi sampel yang digunakan mulai dari konsentrasi 0 mM sampai 120 mM, sehingga setiap pergantian konsentrasi permukaan sensor QCM

dibersihkan menggunakan aquades dan dikeringkan dengan menggunakan blower dan tissue. Dilakukan pengujian untuk mengetahui frekuensi dasar (f_0) sebelum digunakan kembali. Data yang diperoleh dapat diketahui pada *software* OpenQCM 1.2 dalam bentuk grafik dan disimpan dalam bentuk *Text File (txt)*. Untuk perlakuan pengujian sensor QCM dengan elektroda perak murni yang dilapisi menggunakan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* sama dengan perlakuan pada pengujian sensor QCM dengan elektroda perak murni.

Data hasil pengujian yang sudah diperoleh dari *software* OpenQCM akan diolah dengan menggunakan *software* Microsoft Excel 2010 untuk mendapatkan rata-rata dari data pengujian disetiap konsentrasinya. Pengambilan rata-rata tersebut bertujuan untuk mengetahui *response time* sensor pada saat pengujian. Untuk mengetahui nilai sensitivitas dan deteksi limit sensor QCM dapat dilakukan dengan mem-plot data yang sudah dirata-rata menggunakan *software* OriginPro 2017.

4.1.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Data hasil yang diperoleh dari pengujian sensor QCM baik dengan elektroda perak murni maupun elektroda perak yang dilapisi dengan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* akan mengalami sebuah perubahan frekuensi resonansi sensor. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua variasi sampel yaitu gelatin babi dan gelatin sapi. Sebelum dilakukan pengujian dengan sampel

sensor QCM, dilakukan pengujian frekuensi dasar (f_0) terlebih dahulu. Data yang diperoleh dari pengujian frekuensi dasar (f_0) ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Frekuensi Dasar (f_0) Sesudah dan Sebelum Diberikan Sampel

Perc. Ke-	Frekuensi Dasar (f_0) Sebelum Dilapisi Membran (Hz)	Rata-Rata (Hz)	Frekuensi Dasar (f_0) Sesudah Dilapisi Membran (Hz)	Rata-Rata (Hz)
1	10009987.52	10009995.86	10001054.24	10001061.13
2	10009994.37		10001060.28	
3	10009997.88		10001062.74	
4	10009999.35		10001063.89	
5	10010000.17		10001064.51	

Data hasil pengujian frekuensi dasar (f_0) bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi dasar (f_0). Fungsi dari frekuensi dasar (f_0) yaitu sebagai kontrol pengambilan data selanjutnya dengan menggunakan sampel. Pengujian frekuensi dasar ini dilakukan di setiap pergantian data, setelah sensor dibersihkan dari sisa-sisa sampel.

Cara kerja sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) sama seperti cara kerja lidah elektronik. Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) akan merespon sebuah sampel ketika konsentrasi sampel mengalami perubahan. Ketika sensor diberikan konsentrasi dengan ukuran rendah, maka sensor tidak merespon. Sedangkan, semakin banyak konsentrasi sampel yang diberikan pada permukaan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM), sensor mulai merespon adanya sampel. Respon sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dapat dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi sampel yang diberikan. Dalam menentukan karakterisasi sebuah sensor dapat dilakukan melalui beberapa tahapan yang sesuai

dengan persyaratan umum sebuah sensor, diantaranya *response time*, deteksi limit dan sensitivitas sensor.

1. **Response Time**

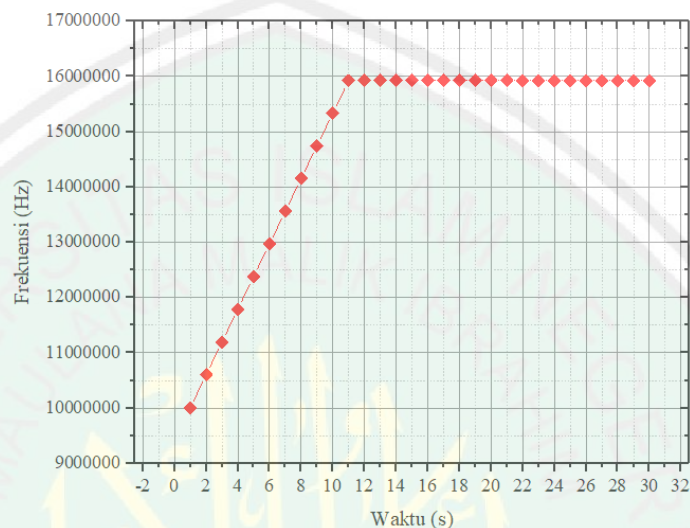
Response time atau waktu tanggap merupakan waktu yang digunakan untuk menunjukkan seberapa cepat sensor menanggapi perubahan masukan. Dalam percobaan ini, perubahan masukan dapat dipengaruhi oleh interaksi sampel dengan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM). *Response time* pada percobaan ini diperoleh dengan hasil pembuatan grafik hubungan antara waktu (s) dengan frekuensi (Hz).

Sensor dapat dikatakan baik, apabila sensor memiliki *response time* atau waktu tanggap yang cepat. Pengambilan data hasil *response time* sebanyak 5 kali pengulangan pada satu konsentrasi dengan tujuan data yang diperoleh lebih akurat. Data hasil *response time* dengan sekali penetesan sampel diambil sebanyak 300 detik. Pengambilan data tersebut diambil dengan dua variasi, yaitu pengambilan *response time* pada sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*.

a. **Pengujian *response time* sensor QCM dengan sampel gelatin babi**

Pengujian dengan menggunakan sampel gelatin babi dilakukan dengan dua variasi sensor QCM, yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan lapisi membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*. Data hasil yang diperoleh dari pengujian baik menggunakan sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran diolah dengan membuat grafik hubungan antara waktu atau *time* (s) dengan Frekuensi (Hz). Berikut

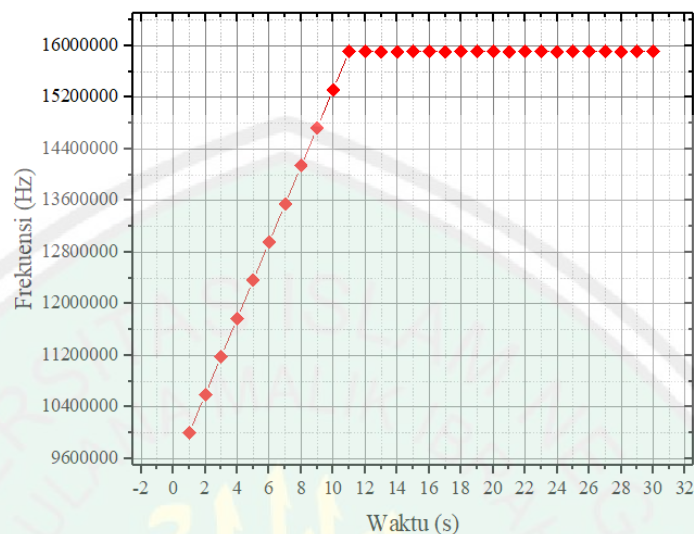
merupakan gambar grafik *response time* sensor QCM tanpa menggunakan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*.



Gambar 4.3 *Response Time* Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Babi

Data hasil pengujian *response time* sensor QCM dengan elektroda perak murni dapat ditunjukkan pada gambar grafik 4.3. Dari gambar grafik tersebut dapat diketahui bahwa sensor QCM dengan elektroda perak murni dapat merespon sampel gelatin babi pada detik ke-2 yaitu pada frekuensi 10604014.4 Hz. Kemudian sensor mengalami kenaikan kembali pada detik ke-11 dengan nilai frekuensi 15924309.7 Hz dan data selanjutnya hingga data ke-300 (batas pengujian) berada pada kondisi *steady state*. Berikut merupakan data hasil pengujian *response time* pada sensor QCM dengan menggunakan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* yang akan ditunjukkan pada gambar grafik berikut.

1



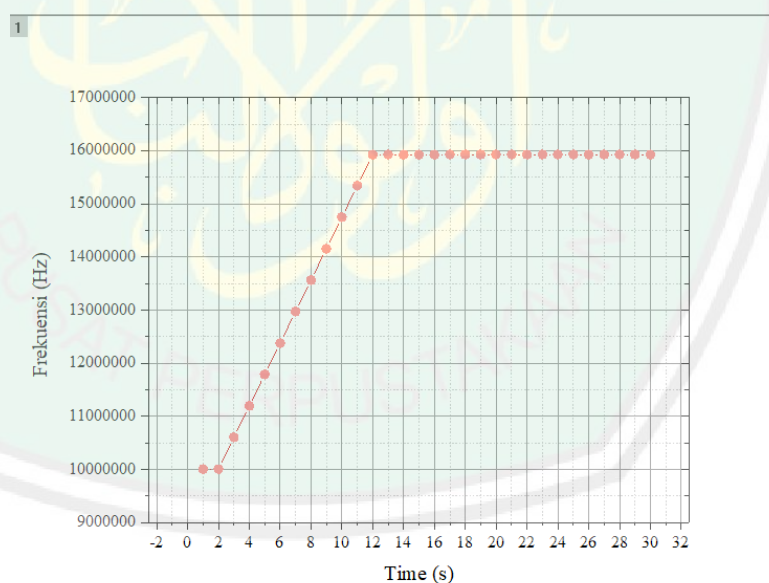
Gambar 4.4 *Response Time* Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* Terhadap Sampel Gelatin Babi

Data selanjutnya yaitu data hasil pengujian *response time* dengan pelapisan sensor *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* dengan bahan sampel uji gelatin babi. Hasil data pengujian dapat dilihat pada gambar grafik 4.4. Pada gambar grafik tersebut dapat diketahui bahwa sensor QCM merespon sampel gelatin babi pada detik ke-2 dengan nilai frekuensi 10591953.2 Hz dan kembali mengalami kenaikan frekuensi pada detik ke-11 dengan nilai 15908920.7 Hz.

Data hasil pengujian *response time* sensor QCM baik yang sebelum maupun sesudah dilapisi membran menunjukkan waktu kenaikan yang sama yaitu pada detik ke-2 dan mulai waktu *steady state* pada detik ke-11 sampai data ke-300 (batas pengujian). Akan tetapi, dengan *response time* yang sama pengujian kedua variasi sensor QCM menghasilkan frekuensi sensor yang berbeda.

b. Pengujian *response time* sensor QCM dengan sampel gelatin sapi

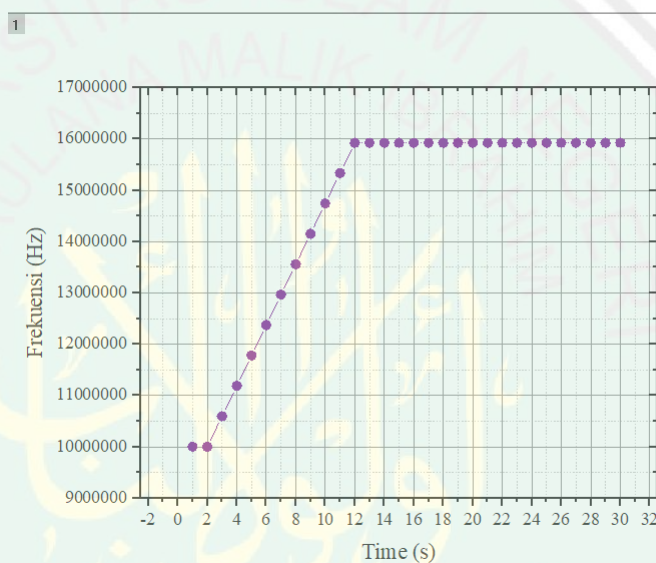
Pengujian *response time* selanjutnya dilakukan dengan menggunakan sampel gelatin sapi dengan variasi sensor yang sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride*. Data hasil pengujian diperlakukan sama seperti data hasil pengujian gelatin babi yaitu dibuat grafik hubungan antara sensor QCM dengan elektroda perak murni dan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride*. Berikut grafik hubungan antara waktu (s) dengan frekuensi (Hz) yang ditunjukkan pada gambar grafik berikut.



Gambar 4.5 *Response Time* Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi

Pengujian dengan menggunakan sampel gelatin sapi dapat tunjukkan pada gambar grafik 4.5. Gambar grafik tersebut menjelaskan bahwa *response time* pada sampel gelatin sapi mengalami kenaikan pada detik ke-3 dengan nilai

frekuensi 10604009.2 Hz. Dan mengalami kenaikan kembali sampai kondisi *steady state* pada detik ke-12 sampai detik ke-300 (batas pengujian). Selanjutnya merupakan data hasil pengujian *response time* dengan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap gelatin sapi.



Gambar 4.6 *Response Time* Sensor Quartz Cryatal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*

Gambar grafik *response time* dengan sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*, menunjukkan bahwa sensor QCM dapat merespon sampel pada detik ke-3 dan kembali merespon hingga kondisi *steady state* pada detik ke-12. Untuk waktu tanggapan sensor QCM baik antara sebelum dilapisi membran dan sesudah dilapisi membran mengalami kenaikan *response time* yang sama dan mengalami respon yang sedikit lebih lambat dari pada sensor QCM ketika digunakan untuk pengujian

sampel gelatin babi. Hal ini dapat ditunjukkan pada rincian data hasil pengujian baik dengan sampel gelatin babi maupun sampel gelatin sapi.

Tabel 4.2 Rincian Data Hasil Pengujian *Response Time*

Jenis Sampel	Waktu Naik	Waktu <i>Steady State</i>
Gelatin babi tanpa membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	Detik ke 2	Detik ke 11
Gelatin babi dengan membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	Detik ke 2	Detik ke 11
Gelatin sapi tanpa membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	Detik ke 3	Detik ke 12
Gelatin sapi dengan membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	Detik ke 3	Detik ke 12

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa *response time* sensor QCM memiliki perbedaan waktu naik (*rise time*) dan waktu *steady state*. Ketika pengujian dengan menggunakan sampel gelatin babi mengalami waktu kenaikan pada detik ke-2 dan waktu *steady state* pada detik ke-11 baik itu pengujian menggunakan pelapisan membran maupun tidak ada lapisan (elektroda perak murni). Sebaliknya, ketika sensor QCM diberikan sampel gelatin sapi yang mengalami waktu kenaikan pada detik ke-3 dan waktu *steady state* pada detik ke-12. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa sensor QCM baik sebelum maupun sesudah dilapisi membran yang mengalami *response time* yang baik dan stabil terdapat pada pengujian sampel gelatin babi.

2. Deteksi Limit

Persyaratan umum dalam mengetahui karakterisasi sebuah sensor selain *response time* yaitu deteksi limit. Deteksi limit merupakan suatu parameter pada sensor yang digunakan untuk mengetahui terjadinya perubahan nilai yang terdeteksi. Daerah kerja pada sebuah sensor dapat diketahui dengan

menggunakan parameter tersebut, sehingga deteksi limit dapat dikatakan sebagai daerah dimana sensor dapat bekerja mendeteksi sampel.

Batas atau limit pada sensor terbagi menjadi dua bagian yaitu batas atas (limit atas) dan batas bawah (limit bawah). Batas atas (limit atas) sering disebut sebagai batas ambang sebuah sensor dalam mendeteksi sebuah sampel sebelum daerah saturasi. Batas atas (limit atas) merupakan batas maksimal suatu alat instrumentasi dalam mendeteksi sampel. Sedangkan, batas bawah (limit bawah) merupakan batas minimal pada sensor. Batasan tersebut terjadi saat sensor mulai menanggapi sebuah perubahan variabel objek setelah daerah mati (*dead band*). Pada penelitian ini, batas atau limit yang digunakan hanya batas bawah. Tujuan ditentukannya batas bawah sensor yaitu untuk mengetahui dimana sensor mulai merespon perubahan frekuensi, selain itu juga penentuan batas bawah ini bertujuan sebagai batasan awal dalam pengujian. Hal ini dikarenakan, pengujian tentang karakterisasi sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan tahap awal dalam pengembangan sebuah sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang akan diaplikasikan sebagai lidah elektronik.

Pengujian dengan sampel gelatin babi dan gelatin sapi dilakukan dengan konsentrasi yang sangat kecil yaitu 0 mM sampai 120 mM. Konsentrasi sampel yang digunakan semakin tinggi maka tingkat kepekatan sampel juga tinggi, sehingga dapat mempengaruhi atau terjadi perubahan pada nilai frekuensi sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM). Untuk menentukan deteksi limit pada percobaan ini dilakukan dengan membuat sebuah grafik hubungan antara

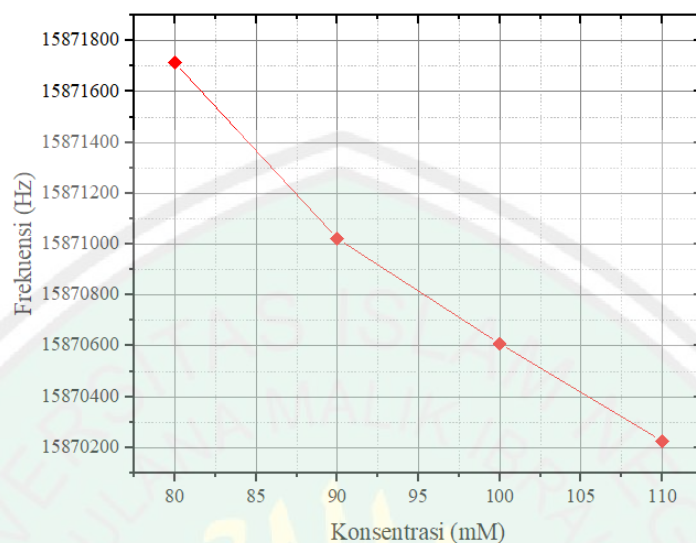
konsentrasi dan frekuensi sensor yang diperoleh dari data hasil pengujian yang sudah terlampirkan.

Pengujian yang dilakukan dengan dua variasi sampel dan dua variasi sensor, diperoleh grafik hubungan sensor QCM sebelum dan sesudah dilapisi membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*. Grafik hubungan tersebut dibuat dengan mem-plot data yang sesuai dengan sumbu x menunjukkan konsentrasi sampel dan sumbu y menunjukkan frekuensi sensor.

a. Pengujian deteksi limit pada sensor QCM dengan sampel gelatin babi

Pengujian deteksi limit pada sensor QCM dilakukan dengan dua variasi, yaitu sensor dengan menggunakan elektroda perak murni dan sensor dengan menggunakan pelapisan membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*. Pengujian deteksi limit dengan sampel gelatin babi diperoleh data hasil berupa hubungan antara konsentrasi sampel gelatin babi (mM) dan frekuensi resonansi (Hz). Adapun bentuk grafik hubungan antara konsentrasi dengan frekuensi dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

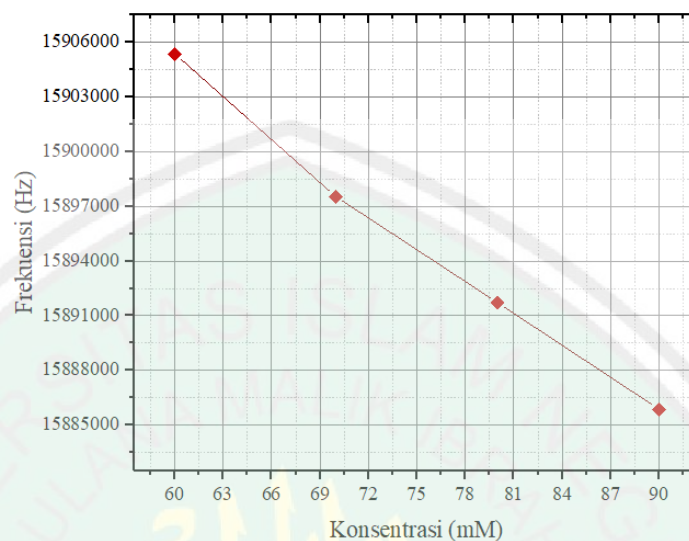
1



Gambar 4.7 Pengaruh Konsentrasi Gelatin Babi Terhadap Sensor QCM Dengan Elektroda Perak Murni

Data hasil pengujian deteksi limit sensor QCM dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin babi dapat ditunjukkan pada gambar 4.7. Data hasil pengujian yang sudah diolah dengan menggunakan *software* OriginPro 2017 menunjukkan bahwa data hasil pengujian daerah kerja sensor QCM dimulai dari konsentrasi 80 mM sampai 110 mM. Penurunan frekuensi osilasi pada pengujian ini terjadi secara signifikan dan dimulai dari konsentrasi 80 mM dengan nilai frekuensi 15871713.21 Hz. Penurunan ini terjadi sampai konsentrasi tinggi 110 mM dengan frekuensi 15870225.71 Hz. Untuk limit bawah pada pengujian ini terdapat pada konsentrasi 80 mM dengan nilai frekuensi 15871713.21 Hz.

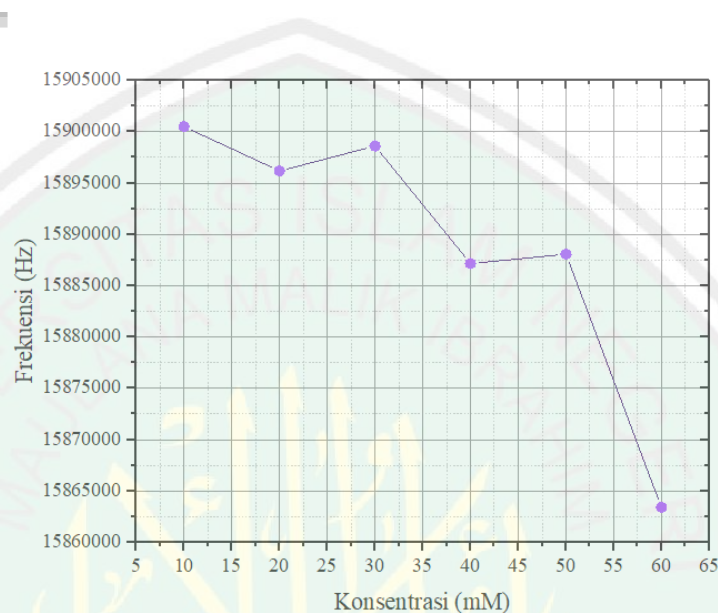
1



Gambar 4.8 pengaruh konsentrasi gelatin babi terhadap sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*

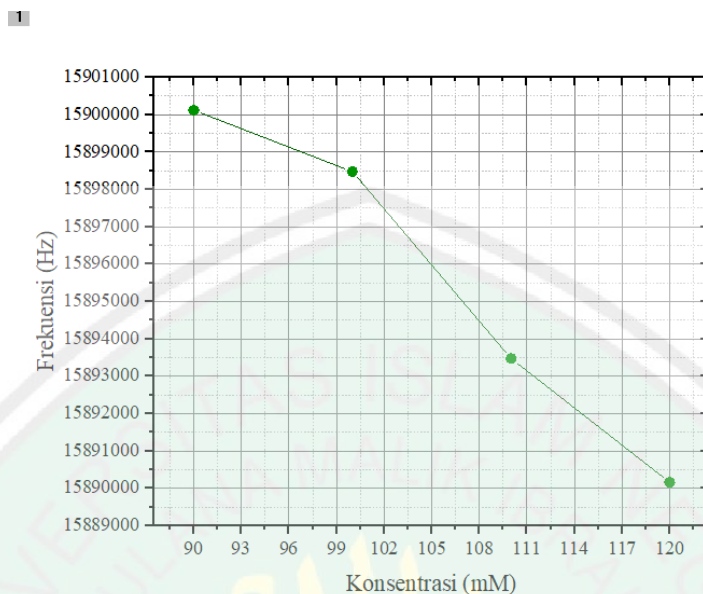
Pengaruh konsentrasi gelatin babi terhadap sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* ditunjukkan pada gambar 4.8. Sensor QCM mengalami perubahan frekuensi resonansi pada konsentrasi 60-90 mM dengan nilai frekuensi antara 15880268.74 Hz sampai 15871021.82 Hz. Limit bawah pada pegujian dengan menggunakan sampel gelatin babi pada sensor QCM berada pada konsentrasi 60 mM. Sehingga dalam hal ini, sensor QCM dengan menggunakan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* merespon gelatin babi dengan baik karena mengalami frekuensi yang signifikan.

b. Pengujian deteksi limit pada sensor QCM dengan sampel gelatin sapi



Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi Gelatin Sapi Terhadap Respon Sensor QCM Microbalance Dengan Elektroda Perak Murni

Pengaruh konsentrasi gelatin sapi terhadap respon sensor QCM dengan elektroda perak murni dapat ditunjukkan pada gambar grafik 4.9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sensor QCM mengalami perubahan frekuensi resonansi pada saat sensor ditetesi sampel gelatin sapi pada konsentrasi 10 mM hingga 60 mM. Penurunan frekuensi resonansi dimulai pada konsentrasi 10 mM dengan nilai frekuensi sebesar 15900505.01 Hz. Limit bawah dari pengujian sampel gelatin sapi dengan elektroda perak murni berada pada konsentrasi 10 mM.



Gambar 4.10 Pengaruh Konsentrasi Gelatin Sapi Terhadap Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*

Pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* menghasilkan sebuah grafik pengaruh konsentrasi gelatin terhadap sensor QCM yang ditunjukkan pada gambar grafik 4.10. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi 70 mM- 120 mM sensor QCM mengalami perubahan frekuensi resonansi. Penurunan frekuensi resonansi pada pengujian ini terjadi pada konsentrasi sampel yang tinggi yaitu 120 mM dengan nilai frekuensi resonansi sebesar 15890157.92 Hz. Limit bawah pada pengujian ini ditunjukkan pada konsentrasi 70 mM dengan nilai frekuensi sebesar 15900585.35 Hz. Hal ini, dapat dikatakan bahwa sensor QCM dapat mendeteksi sampel gelatin dengan baik karena mengalami penurunan yang signifikan.

Hasil analisa deteksi limit sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) baik sebelum maupun sesudah dilapisi membran dapat ditunjukkan pada rincian pada tabel dibawah.

Tabel 4.3 Data Hasil Analisa Deteksi Limit Sensor QCM

No	Jenis Pengujian	Konsentrasi Limit Bawah (mM)	Frekuensi Limit Bawah (Hz)	Daerah Mati (Dead band)	Daerah Kerja
1	Gelatin babi tanpa membran lipid	80	15871713.21	-	-
2	Gelatin babi dengan pelapisan membran lipid	60	15880268.74	-	-
3	Gelatin sapi tanpa membran lipid	10	15900505.01	-	-
4	Gelatin sapi dengan pelapisan membran lipid	70	15900585.35	-	-

Tabel 4.6 menunjukkan hasil analisa deteksi limit terhadap dua sampel yaitu gelatin babi dan gelatin sapi. Pengujian deteksi limit sensor QCM dengan sampel gelatin sapi menunjukkan nilai limit bawah yang rendah daripada pengujian dengan menggunakan sampel gelatin babi. Larutan gelatin sapi yang diujikan pada dengan sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid *Methyltriethyl Ammonium Chloride* dapat merespon pada konsentrasi 10 mM, sedangkan pengujian dengan larutan gelatin babi merespon pada konsentrasi 80 mM. Untuk larutan sampel yang diujikan pada sensor QCM dengan menggunakan pelapisan membran nilai limit bawah yang rendah terdapat pada pengujian sampel gelatin babi dengan konsentrasi 60 mM. Deteksi limit dinilai baik ketika sensor merespon sampel pada konsentrasi yang kecil. Deteksi limit dari masing-masing pengujian memiliki selisih yang

bervariasi yaitu pengujian sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid dengan sampel gelatin babi dan sapi memiliki selisih yang cukup jauh yaitu 70 mM atau sebesar 0.07 M. Sedangkan untuk pengujian sensor QCM yang terlapisi membran memiliki selisih sebesar 10 mM atau 0.01 M.

Menentukan daerah kerja sensor yaitu ketika sensor sudah mulai merespon adanya penurunan sampel. Daerah kerja terletak diantara daerah mati (*dead band*) dan daerah saturasi. Pengujian sensor QCM dengan menggunakan sampel gelatin babi dan gelatin sapi tidak mencapai daerah saturasi, karena konsentrasi yang diambil dibatasi dari konsentrasi 10-120 mM. Pengujian deteksi limit sensor QCM dilakukan untuk mengetahui limit bawah sensor QCM.

3. Sensitivitas

Persyaratan umum dalam menentukan karakterisasi sensor selain *response time* dan deteksi limit yaitu sensitivitas. Sensitivitas merupakan kepekaan suatu sensor dalam menanggapi sampel. Untuk menentukan nilai dari sensitivitas sensor dapat dilakukan dengan mem-plot daerah kerja yang diperoleh dari hasil deteksi limit. Deteksi limit memiliki beberapa bagian diantaranya daerah mati (*dead band*), daerah kerja, dan saturasi. Untuk mengetahui sensitivitas pada suatu sensor dapat dilakukan dengan analisa regresi liner daerah kerja sensor. Tujuan dilakukannya analisa regresi linier yaitu untuk mengetahui tingkat kelinieran sebuah sensor yang akan ditunjukkan melalui hasil persamaan hubungan linieritas, yang kemudian dianalisa nilai kemiringan kurva (*slope*)

pada daerah kerja, dan nilai koefisien determinasi (R^2). Berikut merupakan persamaan linieritas daerah kerja sebuah sensor.

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

Persamaan diatas menunjukkan bahwa variabel y merupakan keluaran (*outputan*) sensor yang berupa frekuensi osilasi yang disebabkan oleh variabel x (variasi konsentrasi sampel). Variabel a menunjukkan bahwa nilai dari ketika inputan bernilai nol atau konstanta. Pada analisa regrasi linier variabel a disebut sebagai *intercept*. Untuk variabel b merupakan koefisien regresi (kemiringan) dalam sebuah grafik. Variabel b juga sering disebut dengan *slop*. Selain persamaan tersebut, analisa regresi linier juga menunjukkan adanya nilai determinan atau disimbolkan dengan R^2 . Koefisien determinan (R^2) dalam sebuah regresi linier sering diartikan sebagai seberapa besar variabel babas (variasi konsentrasi sampel atau *inputan*) dalam menjelaskan varian dari variabel terikatnya (*outputan*). Ketentuan umum koefisien determinan (R^2) dalam sebuah analisa regresi yaitu apabila nilai koefisien determinan (R^2) mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa sampel uji yang digunakan berpengaruh baik karena nilai yang dihasilkan mendekati linier. Sedangkan untuk analisa regresi yang niai koefisien determinannya (R^2) menjauhi 1, maka nilai yang dihasilkan dianggap tidak linier.

Sensitivitas pada penelitian ini diambil dari daerah kerja sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dari setiap pengujian baik menggunakan elektroda perak murni maupun dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium*

Chloride. Berikut merupakan penjelasan sensitivitas dari sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).

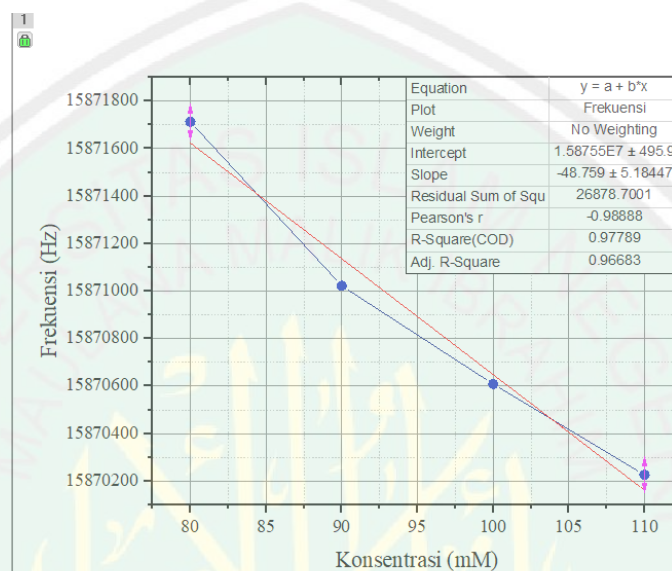
a. Pengujian sensitivitas sensor QCM dengan sampel gelatin babi

Pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin babi, sebelumnya memiliki daerah kerja pada konsentrasi 70 mM-110 mM. Data hasil yang terdapat pada daerah kerja sensor QCM yang berupa frekuensi resonansi diplot dan diregresi linier sesuai dengan daerah kerja pada sensor QCM dengan menggunakan elektroda perak murni. Dilakukannya pengujian sensitivitas dari masing-masing pengujian supaya dapat dibandingkan. Adapun pengujian sensitivitas pada sensor QCM dengan elektroda perak murni dapat ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM Dengan Elektroda Perak Murni Pada Sampel Gelatin Babi

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b * x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	$1.58755E7 \pm 495.9$
Slope	-48.759 ± 5.1447
Residual Sum of Squares	26878.7001
Pearson's r	-0.98888
R-Square (COD)	0.97789
Adj. R-Square	0.966683

Grafik hasil regresi linier pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin babi ditunjukkan pada gambar grafik berikut.



Gambar 4.11 Regresi Linier Pengujian Sensor QCM Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Gelatin Babi

Pengujian hasil regresi linier pada pengujian sensor QCM dengan elektroda perak murni diperoleh hasil $y = 1.58755E7 - 48.759x$. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa sensitivitas pada sensor QCM dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin babi sebesar 48.759Hz/mM. Pengaruh pada pengujian dengan sampel gelatin babi terhadap sensor QCM sebesar 0.97789 atau sebanyak 97.8%.

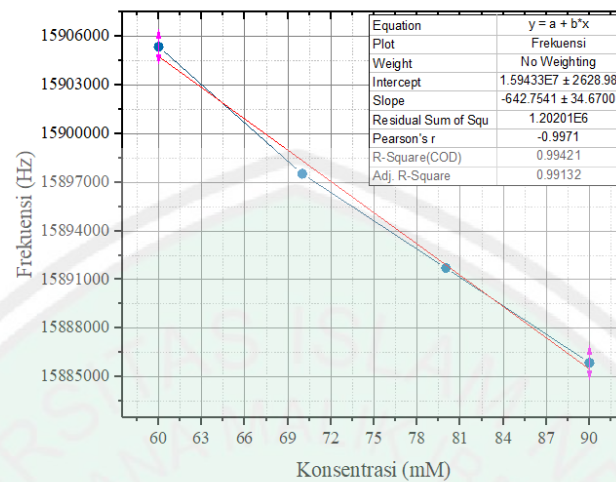
Pengujian selanjutnya dilakukan pada sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi. Data hasil sensitivitas pada pengujian ini diperoleh pada konsentrasi sampel 60 mM-110 mM. Nilai sensitivitas sensor QCM dapat ditentukan dengan

analisa pada daerah kerja sensor tersebut. Kemudian data hasil tersebut diplot dan diregresi linier sesuai dengan data deteksi limit yang ada pada pengujian sebelumnya. Berikut merupakan data hasil regresi linier sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Hasil Regresi Linier Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* Terhadap Sampel Gelatin Babi.

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b * x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	$1.59433E7 \pm 2628.98$
Slope	-642.7541 ± 34.6700
Residual Sum of Squares	$1.20201E6$
Pearson's r	-0.9971
R-Square (COD)	0.99421
Adj. R-Square	0.99123

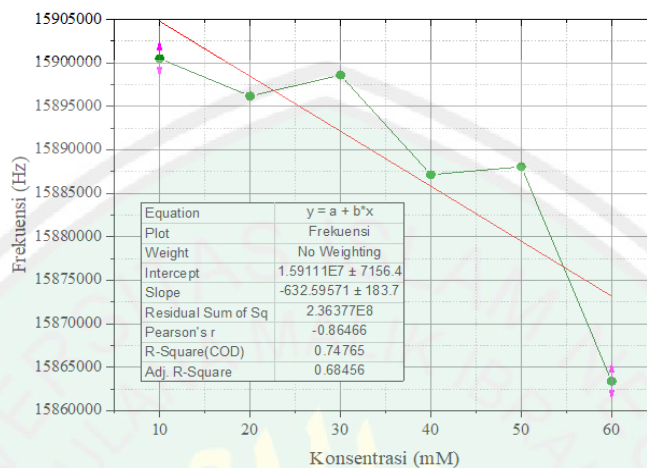
Berikut merupakan gambar grafik pengujian sensitivitas sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi.



Gambar 4.12 Regresi Linier Pengujian Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* Terhadap Sampel Gelatin Babi

Regresi pada pengujian sensitivitas sensor QCM dengan menggunakan pelapisan membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi yaitu $y = 1.59433E7 - 642.7541x$ dan nilai koefisien determinan $R^2 = 0.99421$. Nilai kemiringan (*Slope*) pada hasil regresi menunjukkan nilai sensitivitas sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi. Nilai sensitivitas dari hasil regresi linier diperoleh sebesar 642.7541 Hz/mM. Dan untuk pengaruh pengujian dengan sampel gelatin babi terhadap keluaran sensor sebesar 0.99421 atau 99.4%.

b. Pengujian sensitivitas sensor QCM pada sampel gelatin sapi



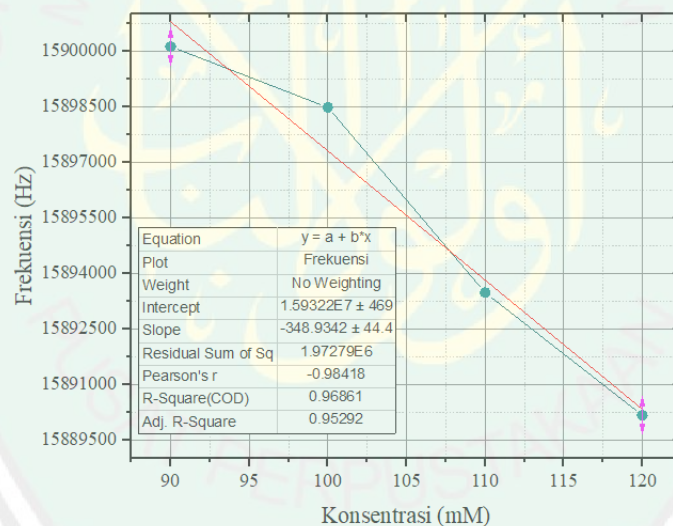
Gambar 4.13 Regresi Linier Pengujian Sensor QCM Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi

Pada gambar grafik 4.12 dapat diketahui hasil regresi linier dari pengujian sensor QCM dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin sapi. Data hasil regresi linier dapat ditunjukkan pada tabel 4.6 dibawah.

Tabel 4.6 Data Hasil Regresi Linier Sensor QCM Dengan Elektroda Perak Murni Terhadap Sampel Gelatin Sapi.

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	$1.59111E7 \pm 7156.4$
Slope	-632.59571 ± 183.7
Residual Sum of Squares	$2.36377E8$
Pearson's r	-0.86466
R-Square (COD)	0.74765
Adj. R-Square	0.68456

Data hasil regresi linier sensor QCM dengan elektroda perak murni terhadap sampel gelatin sapi diatas menunjukkan bahwa $y = 1.59111E7 - 632.59571x$. Dari hasil persamaan tersebut dapat diketahui bahwa sensitivitas yang dimiliki sensor QCM sebesar 632.59571 Hz/mM. Selain itu, dari hasil regresi linier diperoleh koefisien determinan (R^2) sebesar 0.74765 atau sebesar 74.8%. Selanjutnya, pengujian sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin sapi dapat ditunjukkan pada gambar grafik berikut.



Gambar 4.14 Regresi Linier Pengujian Sensor QCM Dengan Pelapisan Membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride* Terhadap Sampel Gelatin Sapi

Data hasil pengujian regresi linier sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin sapi dapat ditunjukkan pada data hasil pada tabel 4.7. Pada data hasil tersebut menunjukkan bahwa $y = 1.59322E7 - 348.9342x$.

Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai sensitivitas sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi sebesar 348.9342Hz/mM. Selain itu pada pengujian ini juga diketahui nilai koefisien determinan (R^2) sebesar 0.96861 atau 96.9%. Berikut merupakan data hasil regresi linier pada pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang dilapisi dengan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin sapi.

Tabel 4.7 Data Hasil Regresi Linier Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Dengan Pelapisan Membran Terhadap Sampel Gelatin Sapi.

Parameter	Keterangan
Equation	$y = a + b * x$
Plot	Frekuensi
Weight	No Weighting
Intercept	$1.59322E7 \pm 4690.06$
Slope	-348.9342 ± 44.41616
Residual Sum of Squares	1.97279E6
Pearson's r	-0.98418
R-Square (COD)	0.96861
Adj. R-Square	0.95292

Data hasil empat macam pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) menghasilkan nilai sensitivitas dan koefisien determinan (R^2) yang berbeda-beda. Data tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.8 Hasil analisa sensitivitas sensor QCM

No	Jenis Penelitian	Konsentrasi Limit Bawah (mM)	Persamaan Regresi Linier	Koefisien Determinan (R^2)
1	Gelatin babi tanpa pelapisan membran	80	$y = 1.58755E7 - 48.759x$	0.97789
2	Gelatin babi dengan pelapisan membran	60	$y = 1.59433E7 - 642.7541x$	0.99421
3	Gelatin sapi tanpa pelapisan membran	10	$y = 1.59111E7 - 632.59571x$	0.74765
4	Gelatin sapi dengan pelapisan membran	70	$y = 1.59322E7 - 348.9432x$	0.96861

Data hasil pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada setiap hasil pengujiannya, seperti sensitivitas sensor. Tujuan dilakukannya pengujian sensitivitas sensor QCM yaitu untuk mengetahui seberapa sensitifnya sensor Quartz Crystal Microbalance dalam merespond sampel baik gelatin babi maupun gelatin sapi. Nilai sensitivitas yang lebih tinggi dari hasil pengujian ditunjukkan pada saat pengujian sensor QCM dengan menggunakan sampel gelatin babi dan gelatin sapi dengan masing-masing nilai sensitivitas 632.7541 Hz/mM dan 632.59571 Hz/mM.

Sensitivitas pada sensor QCM dengan sampel gelatin babi baik yang sebelum maupun sesudah dilapisi membran memiliki selisih 593.9951 Hz/mM. Sedangkan selisih untuk pengujian sensor QCM sebesar 283.65251 Hz/mM. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa sensor QCM dengan menggunakan membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride* lebih sensitif dalam merespon gelatin babi dibandingkan dengan sensor QCM tanpa dilapisi membran. Sedangkan untuk pengujian dengan sampel gelatin sapi yang lebih

sensitif dalam merespon sampel yaitu ketika sensor QCM tanpa dilapisi membran dibandingkan dengan sensor QCM dilapisi dengan membran.

Data hasil yang diperoleh dari regresi linier selain sensitivitas sensor QCM dapat diketahui juga pengaruh perubahan frekuensi resonansi pada pengujian dengan menggunakan sampel gelatin babi dan gelatin sapi. Pengaruh perubahan frekuensi resonansi untuk sensor QCM sebelum dilapisi membran dengan sampel gelatin babi sebesar 0.97789 atau 97.8% lebih besar dibandingkan dengan pengaruh perubahan frekuensi resonansi untuk sensor QCM sesudah dilapisi membran dengan sampel gelatin babi 0.99421 atau 99.4%. Sedangkan pada pengujian selanjutnya yaitu dengan menggunakan sampel gelatin sapi sensor QCM tanpa adanya pelapisan membran memiliki nilai perubahan frekuensi yang lebih kecil yaitu sebesar 0.74765 atau 74.8% dibandingkan dengan sensor QCM dengan pelapisan membran yang nilai perubahan frekuensi resonansinya sebesar 0.96861 atau 96.9%.

Uraian diatas menjelaskan bahwa sensor QCM dapat merespon dengan baik ketika dilakukan pengujian dengan menggunakan sampel gelatin babi pada kedua variasi sensor QCM dan gelatin sapi ketika sensor QCM dilapisi membran. Hal ini dapat ditunjukkan pada hasil koefisien determinan yang lebih baik yang mendekati 1 daripada sensor QCM yang digunakan untuk pengujian pada sampel sapi (tanpa menggunakan membran). Tingkat ketetapan atau kepercayaan suatu sensor dapat diketahui dari nilai sensitivitas yang ditunjukkan nilai R^2 (R-Square) yang dihasilkan.

Pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) baik menggunakan elektroda perak murni maupun dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi dan gelatin sapi diperoleh nilai negatif (-) pada kemiringan (*slope*) kurva disetiap hasil pengujian. Sehingga, dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai x (variasi konsentrasi sampel gelatin babi dan gelatin sapi) maka semakin kecil nilai y (frekuensi) yang dihasilkan. Nilai sensitivitas dari sensor QCM dengan menggunakan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* lebih sensitif terhadap sampel gelatin babi dengan nilai sensitivitas 642.7541 Hz/mM dari pada sampel gelatin sapi dengan nilai sensitivitas 348.9432 Hz/mM. Sehingga, hal ini dapat dikatakan bahwa sensor QCM lebih sensitif terhadap gelatin babi dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*.

4.2 Pembahasan

Pengujian mengenai karakterisasi sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* diperoleh 3 macam hasil pengujian, diantaranya waktu tanggapan (*response time*), deteksi limit, dan sensitivitas sensor. Hasil tersebut dilakukan sebagai tahapan awal dalam penelitian berikutnya yaitu sebagai lidah elektronik yang berbasis sensor QCM. Selain itu, pengujian ini digunakan untuk mengetahui kualitas dari sensor QCM.

Hasil pengujian *response time* menunjukkan bahwa sensor QCM baik dengan elektroda perak murni maupun dilapisi bahan aktif *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* menunjukkan respon yang bagus ketika dilakukan pengujian

dengan menggunakan sampel gelatin babi. Hal ini kemungkinan terjadi karena jumlah asam amino yang terdapat pada gelatin babi lebih banyak sehingga sensor QCM dengan elektroda perak murni mengalami respon yang lebih cepat yaitu sebesar 11s. Kandungan asam amino pada gelatin babi yang memiliki jumlah lebih banyak dibandingkan dengan gelatin sapi diantaranya yaitu alanin, valin, leusin, isoleusin, prolin, glisin, treonine, cistein, aspartic acid, glutamic acid, lysin, dan arginin.

Membran lipid Membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* memiliki rumusan senyawa $C_{25}H_{54}ClN$ dengan gugus fungsi luar Cl^- . Gugus fungsi Cl^- ketika diberikan sampel dapat mengalami interaksi fisika dan interaksi kimia. Interaksi fisika pada pengujian ini yaitu terjadinya penambahan massa sampel pada permukaan sensor sehingga sensor mengalami perubahan massa. Kemungkinan interaksi kimia yang terjadi pada penelitian ini yaitu interaksi protonasi. Interaksi protonasi merupakan suatu komponen yang memiliki kemampuan untuk mengikat proton dari molekul yang lain.

Nilai hasil deteksi limit sensor QCM ditentukan dengan perbedaan perubahan frekuensi setiap konsentrasi. Sensor QCM tanpa pelapisan membran lipid maupun yang dilapisi membran lipid *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* pada pengujian sampel gelatin babi memiliki nilai hasil frekuensi lebih kecil. Hal ini dikarenakan lemah kekuatan ion gelatin babi yang berinteraksi dengan sensor QCM. Sehingga ion yang terkandung didalam gelatin babi ketika berinteraksi atau bertumbukan dengan sensor QCM akan terlepas dengan sendirinya (Candle, 2015).

Nilai sensitivitas sensor QCM baik tanpa pelapisan membran maupun dilapisi membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride*, memiliki nilai sensitivitas yang berbeda-beda. Pengujian sensor QCM tanpa pelapisan membran dengan sampel gelatin sapi lebih tinggi daripada pengujian dengan sampel gelatin babi. Hal ini kemungkinan adanya interaksi protonasi antara sampel dengan sensor, sehingga menyebabkan perubahan frekuensi osilasi yang tinggi. Nilai sensitivitas pada pengujian ini berbeda-beda karena hasil analisa linier yang berbeda-beda tergantung dengan daerah kerja sensor. Perubahan tersebut akan dinilai lebih akurat apabila batas atas (limit atas) dan batas bawah (limit bawa) sensor telah ditentukan.

Pengujian mengenai karakteristik sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi menunjukkan bahwa antara gelatin babi dan gelatin sapi memiliki sedikit perbedaan. Menurut Hermanto. *et.al.*, (2014), mengatakan bahwa gelatin babi dan gelatin sapi memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan, kecuali pada panjang gelombang $2800-300\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya peregangan C-H alifatik dan pada panjang gelombang 1543 cm^{-1} yang menunjukkan C-H-N adanya pembelokan ikatan peptide pada gelatin babi dan gelatin sapi. Perbedaan ketiga terletak pada frekuensi $1450-1300\text{ cm}^{-1}$ (pembengkokan C-H), yang menunjukkan perbedaan komposisi asam amino dari sumber gelatin. Asam amino alifatik dalam gelatin babi lebih besar dari gelatin sapi.

Menurut Zilhadiyah, *et.al.*, (2018), gelatin babi dan gelatin sapi memiliki kemiripan pada nilai absorbansinya. Terdapat 4 macam spectrum yang dimiliki

oleh gelatin babi dan gelatin sapi yaitu amida A ($3600\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$), amida I ($1656\text{-}1644\text{ cm}^{-1}$), amida II ($1560\text{-}1335\text{ cm}^{-1}$), dan amida III ($1240\text{-}750\text{ cm}^{-1}$). Masing-masing spectrum memiliki serapan pada daerah tertentu, seperti pada pengujian dengan serapan pada daerah $3600\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan N-H stretching pada ikatan hidrogen gugus amida. Pada amida I dengan bilangan gelombang $1660\text{-}1620\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan karbonil C=O stretching dengan kontribusi ikatan NH dan C-N stretching. Amida II ditunjukkan dengan adanya absorbansi pada rentang frekuensi $1550\text{-}1520\text{ cm}^{-1}$, dimana struktur α -heliks ($1550\text{-}1540\text{ cm}^{-1}$) dan β -sheet ($1525\text{-}1520\text{ cm}^{-1}$).

4.3 Kajian Integrasi Islam Tentang Sensor QCM Terhadap Sampel Gelatin Babi dan Gelatin Sapi

Penelitian mengenai karakterisasi sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan tahapan awal dalam pembuatan suatu karya baru yang berupa lidah elektronik. Fungsi lidah elektronik hampir sama dengan fungsi lidah manusia yaitu sebagai perasa makanan, dan membedakan rasa makanan. Makanan yang dimakan manusia mempunyai rasa yang berbeda, sebagaimana yang dijelaskan dalam Qs. al-An'am (6): 141.

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُمْ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَءَاتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ ۚ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ۝﴾

“Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila Dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan” (Qs. al-An’am (16): 141).

Penggalan kata *مختلفا أكله* yang artinya berbeda-beda rasa. Secara umum, rasa makanan ada yang enak dan ada pula yang tidak enak. Kata rasa dalam Bahasa arab diungkapkan dengan lafadz *الاكل* karena hanya dengan dimakan, suatu rasa makanan dapat diketahui (Qurthubi, 2008).

Sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. al-An’am (6) ayat 141, rasa makanan dapat diketahui melalui proses makan, dimana dalam hal ini lidah sangat berperan penting dalam menentukan rasa pada makanan. Lidah merupakan salah satu organ manusia yang berfungsi untuk membantu menelan dan mencerna makanan. Lidah adalah bagian utama dari organ *gustatory* manusia. Permukaan lidah mengandung sebanyak 5000 sel *gustatory*. Setiap 40 sampai 60 sel *gustatory* terdapat sebuah *teste bund* yang dapat tersalurkan dengan ribuan saraf perasa. Ketika makanan yang masuk pada rongga mulut dan akan tercampur dengan air liur, maka akan menimbulkan rangsangan kimia selama terjadi kontak dengan akhir saraf perasa. Rangsangan kimia akan dibawa oleh sel-sel pengecap reseptor.

Berkaitan dengan penelitian tentang karakterisasi sensor QCM dengan pelapisan bahan aktif *Methyltriethyl Ammonium Chloride* terhadap respon gelatin babi dan gelatin sapi yang akan diaplikasikan sebagai lidah elektronik (*e-tongue*), dimana prinsip kerjanya mirip dengan prinsip kerja lidah manusia dalam menentukan rasa. Membran lipid yang digunakan pada penelitian ini berfungsi

sebagai papilla lidah yang nantinya akan berinteraksi dengan sampel sehingga menghasilkan keluaran berupa frekuensi resonansi yang akan dianalisa dengan menggunakan beberapa *software* untuk menunjukkan perbedaan dari sampel yang digunakan. Berbeda dengan lidah manusia yang hasil keluarannya berupa pola rasa bukan visualisasi rasa.



BAB V PENUTUP

5.3 Simpulan

Berdasarkan analisa data hasil yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian *respond time* pada sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) baik dengan elektroda perak murni maupun dengan pelapisan membran *Mthyltriocthyl Ammonium Chloride* pada sampel gelatin babi diperoleh waktu tanggapan pada detik ke-11 dan detik ke-12 pada sampel gelatin sapi. Hal ini dapat dikatakan bahwa sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dapat merespon sampel gelatin babi lebih cepat dibandingkan dengan sampel gelatin sapi.
2. Hasil deteksi limit pada pengujian ini menunjukkan bahwa sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dapat merespond sampel gelatin babi dengan elektroda perak murni dan sampel gelatin sapi dengan pelapisan membran lebih tinggi yaitu pada konsentrasi 70 mM. Sedangkan untuk pengujian sampel gelatin babi dengan pelapisan membrane dan sampel gelatin sapi dengan elektroda perak murni mengalami respond yang rendah yaitu pada konsentrasi 60 mM dan 10 mM. Hal ini dapat dikatakan bahwa sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dapat merespon sampel gelatin babi dan sampel gelatin sapi dengan baik ketika pengujian dilakukan pada sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni dan saat adanya pelapisan membran pada sensor.

3. Hasil sensitivitas pada pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) pada sampel gelatin babi dan gelatin sapi diperoleh dari nilai kemiringan (*Slope*) hasil regresi linier. Data hasil sensitivitas pada sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* terhadap sampel gelatin babi lebih tinggi yaitu 642.7541 Hz/mM dibandingkan dengan hasil pengujian sensitivitas pada sampel gelatin sapi yaitu 348.9432 Hz/mM.
4. Tingkat ketepatan atau kepercayaan suatu sensor (R^2) pada pengujian gelatin babi menunjukkan bahwa sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni bernilai 97.8% lebih kecil dibandingkan dengan pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan pelapisan membran *Methyltriocthyl Ammonium Chloride* yang bernilai 99.4%. Sedangkan untuk pengujian selanjutnya dengan sampel gelatin sapi tingkat ketepatan atau kepercayaan data (R^2) menunjukkan bahwa sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan elektroda perak murni yang bernilai 74.8% lebih kecil dibandingkan dengan sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang dilapisi dengan membran yang bernilai 96.9 %.

5.2 Saran

adapun saran yang ingin disampaikan setelah dilakukannya pengujian sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM), yaitu:

- a. Dilakukan penambahan variasi konsentrasi supaya dapat diketahui deteksi limit atas dan daerah saturasi.
- b. Dilakukan pengujian sampel gelatin babi dan gelatin sapi pada beberapa jenis membran, supaya dapat diketahui jenis membran mana yang dapat merespon kedua sampel dengan baik.
- c. Dilakukan pembuatan tempat buat sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) yang lebih baik, supaya tidak ada gangguan dari luar yang dapat mempengaruhi data pengujian.
- d. Dilakukan pengujian *Faurier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terkandung pada sampel gelatin babi dan gelatin sapi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afniza (2008) 'Frequency Counter Berbasis Mikrokontroler AT89S52', pp. 1–44.
- Agustina, S. (2006) 'Teknologi Membran Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri', *Bulletin Penelitian*, pp. 18–24.
- Al-Qur'an Al Karim. 1989. Al-Qur'an dan Terjemahnya. Departemen Agama RI. Semarang. Toha Putra.
- Alonel, Cahaya. 2013. Quartz Crystal Microbalance (QCM). [Http://cahayaalonel.blogspot.com/2013/02/quartz-crystal-microbalance-qcm.html](http://cahayaalonel.blogspot.com/2013/02/quartz-crystal-microbalance-qcm.html). Diakses: 13 September 2017.
- Aminah, S. (2015) *Waspadai Produk Gunaan dari Babi*.
- Amiruldin, M. (2007) 'Pembuatan dan Analisis Karakteristik Gelatin dari Tulang Ikan Tuna (*Thunnus albacares*)'.
- Amiza, M. A. *et al.* (2015) 'Optimization of gelatin extraction conditions from Cobia (*Rachycentron canadum*) skin and its physicochemical characteristics as compared to bovine gelatin', *International Food Research Journal*, pp. 213–224.
- Basf (2013) 'Aliquat ® 336', (February), pp. 3–5. doi: 10.5360/membrane.32.168.
- Bearzotti, A. *et al.* (2017) 'A study of a QCM sensor based on pentacene for the detection of BTX vapors in air', *Sensors and Actuators, B: Chemical*. Elsevier B.V., 240, pp. 1160–1164. doi: 10.1016/j.snb.2016.09.097.
- Beullens, K. *et al.* (2006) 'The electronic tongue and ATR-FTIR for rapid detection of sugars and acids in tomatoes', *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 116(1–2), pp. 107–115. doi: 10.1016/j.snb.2005.11.084.
- Candle, L. dkk (2015) 'Deteksi Gelatin Babi Menggunakan Sensor Emas Termodifikasi Ni (OH) 2 Nanopartikel dengan Quartz', *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 4(2), pp. 42–44.
- Casteleiro-Roca, J. L. *et al.* (2014) 'New approach for the QCM sensors characterization', *Sensors and Actuators, A: Physical*, 207, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.sna.2013.12.002.
- Dewi Hastuti, I. S. (2007) 'Pengenalan dan Proses Pembuatan Gelatin', 3(1), pp. 39–48.
- Eastoe, JE. dan Leach AA. 1997. Chemical Constitution of Gelatin. In: Ward AG, Courts A, editors. *The Science and Technology of Gelatin* Academic Press, New York.
- Escuderos, M. E., Sánchez, S. and Jiménez, A. (2011) 'Application of a Quartz

Crystal Microbalance (QCM) System Coated with Chromatographic Adsorbents for the Detection of Olive Oil Volatile Compounds', *Journal of Sensor Technology*, 1(1), pp. 1–8. doi: 10.4236/jst.2011.11001.

Fuada, S. *et al.* (2013) 'Menggunakan Pendekatan Matlab dan Software Elektronik', 5.

Fuada, S. (2016) 'Pembuatan Trainer Board Astable Multivibrator (Am) Sebagai Media Pembelajaran Pendidikan', *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(2), pp. 244–251.

Gomez-Guillen, M. C. *et al.* (2011) 'Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review', *Food Hydrocolloids*. Elsevier Ltd, 25(8), pp. 1813–1827. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.007.

Hajrawati (2006) 'Sifat fisik dan kimia gelatin tulang sapi dengan perendaman asam klorida pada konsentrasi dan lama perendaman yang berbeda'.

Hapsari, Endah. 2014. Ini Alasan Perlu Mewaspadaai Kehalalan Gelatin. [file:///E:/kuliah/penelitian%20sensor/gelatin/Ini%20Alasan%20Perlu%20Mewaspadaai%20Kehalalan%20Gelatin%20 %20Republika%20Online.html](file:///E:/kuliah/penelitian%20sensor/gelatin/Ini%20Alasan%20Perlu%20Mewaspadaai%20Kehalalan%20Gelatin%20%20Republika%20Online.html). Diakses: 26 Juli 2018.

Harahap, M. R. *et al.* (2016) 'Sel Elektrokimia : Karakteristik dan Aplikasi', 2(1), pp. 177–180.

Hermanto, S., Sumarlin, L. O. and Fatimah, W. (2014) 'Differentiation of Bovine and Porcine Gelatin Based on Spectroscopic and Differentiation of Bovine and Porcine Gelatin Based on Spectroscopic and Electrophoretic Analysis', (May 2013).

Hilda, L. (2013) 'Pandangan Sains Terhadap Haramnya Lemak Babi Oleh: Dr. Lelya Hilda, M.Si 1', I(1), pp. 35–46.

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

Kobayashi, Y. *et al.* (2010) 'Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores', *Sensors*, 10(4), pp. 3411–3443. doi: 10.3390/s100403411.

Labanie, A. (2011) 'Rancang Bangun Spin Coating Terkendali Kecepatan Putar dan Waktu Berbasis Microcontroler'.

Malvino, A. P. (1984) 'Prinsip-prinsip Elektronik', pp. 1–2.

Novaetech. 2016. OpenQCM. Retrieved September 20, 2017, from <http://openqcm.com/openQCM/>.

Originlab (2007) 'Origin 8 User Guide', p. 560.

Paper, C. (2015) 'Teknologi Membran Dalam Pengolahan Air dan Limbah

Industri. Studi Kasus : Pemanfaatan Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Air Tambak', (October).

Pudjiati, A. 1990. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.

Qurthubi, Syaikh Imam. 2007. *Tafsir al-Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam.

Sa, S. *et al.* (2016) 'Pembuatan Alat Spin Coater Berkecepatan Sudut Tinggi Berbasis Arduino Uno', V(October), pp. 137–142. doi: 10.21009/0305020126.

Sasmitaloka, K. S., Miskiyah, M. and Juniawati, J. (2017) 'Kajian Potensi Kulit Sapi sebagai Bahan Dasar Produksi Gelatin Halal', *Buletin Peternakan*, 41(3), p. 328. doi: 10.21059/buletinpeternak.v41i3.17872.

See, S. F. *et al.* (2010) 'Physicochemical properties of gelatins extracted from skins of different freshwater fish species', *International Food Research Journal*, 17(3), pp. 809–816.

Setiawati, H. (2009) 'Karakterisasi Mutu Fisika Kimia Gelatin Kulit Ikan Kakap Merah (*Lutjanus* sp.) Hasil Proses Perlakuan Asam', pp. 27–30.

Sharma, P. *et al.* (2014) 'Detection of linalool in black tea using a quartz crystal microbalance sensor', *Sensors and Actuators, B: Chemical*. Elsevier B.V., 190, pp. 318–325. doi: 10.1016/j.snb.2013.08.088.

Simons, K. and Sampaio, J. (2011) 'Membrane organization and lipid rafts', *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3, pp. 1–18. doi: 10.1101/cshperspect.a004697.

Speller, N. C. *et al.* (2017) 'QCM virtual sensor array: Vapor identification and molecular weight approximation', *Sensors and Actuators B*. Elsevier B.V., 246, pp. 952–960. doi: 10.1016/j.snb.2017.02.042.

Suhenry, S. *et al.* (2015) 'Proses Pembuatan Gelatin dari Kulit Kepala Sapi dengan Proses Hidrolisis Menggunakan Katalis HCl', pp. 1–7.

Sulastri, S. (2010) 'Pengukuran Sebaran Ketebalan Lapisan Tipis Hasil Spin Coating Dengan Sri Sulastri Skripsi', *Skripsi*.

Suyuthi, Imam Jalaluddin dan Imam Jalaluddin al-Mahalli. 2008. *Terjemah Tafsir Jalalain berikut Asbabun Nuzul Jilid I*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.

Syam, R. (2013) *Seri Buku Ajar Dasar Dasar Teknik Sensor*.

Tian, H. *et al.* (2015) 'Comparison of intensities and binary interactions of four basic tastes between an electronic tongue and a human tongue', *Food Science and Biotechnology*, 24(5), pp. 1711–1715. doi: 10.1007/s10068-015-0222-9.

Toko, K. (1998) 'Electronic Sensing of Tastes', *Electroanalysis*, 10(10), pp. 657–669. doi: 10.1002/(SICI)1521-4109(199808)10:10<657::AID-

ELAN657>3.0.CO;2-F.

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

Zhao, J. *et al.* (2016) 'Airborne particulate matter classification and concentration detection based on 3D printed virtual impactor and quartz crystal microbalance sensor', *Proceedings of the IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*. Elsevier B.V., 2016–Febru, pp. 824–827. doi: 10.1109/MEMSYS.2016.7421756.

Zilhadih, Kusumaningrum, F. and Betha, Ofa Suzanti, S. (2018) 'Diferensiasi Gelatin Sapi dan Gelatin Babi pada Gummy Vitamin C Menggunakan Metode Kombinasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Principal Component Analysis (PCA) Differentiation of Bovine and Porcine Gelatin Extracted from Vitamin', 5(2), pp. 90–96.





LAMPIRAN

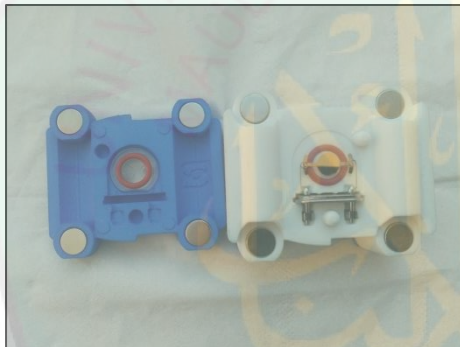
Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Data



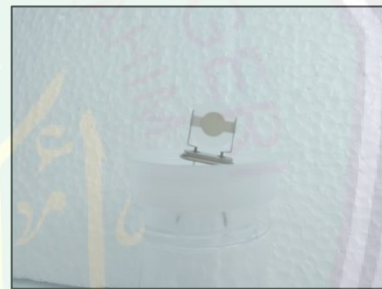
OpenQCM tampak dari samping



Tetrahidrofur (THF)



OpenQCM tampak dari atas



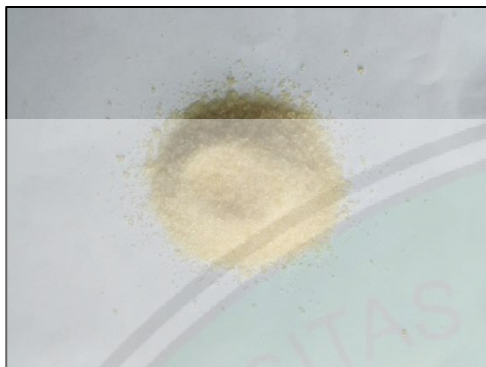
Sensor QCM dengan pelapisan membran *Methyltriocetyl Ammonium Chloride*



Sensor QCM dengan elektroda perak murni



Mikropipet dengan ukuran 10 µl



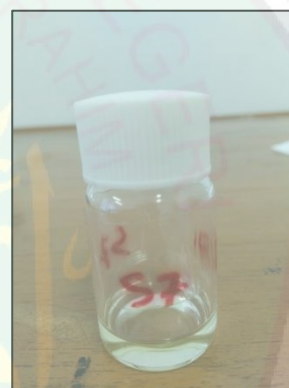
Bubuk gelatin sapi



Proses pelarutan sampel gelatin sapi



Larutan gelatin sapi



Membran Methyltrioctyl
Ammonium chloride



Proses penimbangan sampel dengan
neraca digital



Proses Pengambilan data

Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan Sampel Gelatin Babi dan Gelatin Sapi

No	Konsentrasi (mM)	Massa Gelatin Babi dan Gelatin Sapi (gram)
1	0	-
2	10	0.24
3	20	0.49
4	30	0.73
5	40	0.97
6	50	1.22
7	60	1.46
8	70	1.70
9	80	2.95
10	90	2.19
11	100	2.43
12	110	2.68
13	120	2.92

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian *Response Time* Sensor QCM

a. Data Hasil Pengujian *Response Time* Sensor QCM Pada Sampel Gelatin Babi

Konsentrasi (mM)	Gelatin Babi			
	Sebelum dilapisi Membran		Sesudah dilapisi Membran	
	Respond Time (s)	Frekuensi Sensor QCM (Hz)	Respond Time (s)	Frekuensi Sensor QCM (Hz)
0	11	15332289.6	11	15606624.64
10		15874857.95		15852598.95
20		15889151.92		15723368.36
30		15871588.06		15410932.59
40		15876648.14		15521137.46
50		15874814.15		15892923.65
60		15880268.74		15905362.36
70		15899330.58		15897528.18
80		15871713.21		15891717.82
90		15871021.82		15885874.01
100		15870608.42		15890284.36
110		15870225.71		15892302.69
120		15859194.01		15887324

b. Data Hasil *Response* Pengujian *Time* Sensor QCM Pada Sampel Gelatin Sapi

Konsentrasi (mM)	Gelatin Sapi			
	Sebelum dilapisi Membran		Sesudah dilapisi Membran	
	Respond Time (s)	Frekuensi Sensor QCM (Hz)	Respond Time (s)	Frekuensi Sensor QCM (Hz)
0	12	15332289.6	12	15883914.27
10		15900505.01		15887933.4
20		15896178.25		15861697.48
30		15898601.83		15859810.4
40		1588748.9		15861042.03
50		15888065.41		15886574.21
60		15893381.6		15872868.87
70		15901597.44		15900585.35
80		15886476.93		15896662.46
90		15815348.73		15898477.02
100		15899838.28		15898477.02
110		15894615.92		15893472.9
120		15894839.02		15890157.92

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Terhadap Gelatin Sapi

Konsentrasi (mM)	Data Pengujian Gelatin Sapi Tanpa Membran <i>Methyltriocetyl Ammonium Chloride</i>			Data Pengujian Gelatin Sapi dengan Pelapisan Membran <i>Methyltriocetyl Ammonium Chloride</i>		
	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata
0	1	14899048.63	15332289.6	1	15777593.9	15883914.27
	2	15173878.02		2	15898478.66	
	3	15510905.07		3	15909363.13	
	4	15727064.51		4	15911999.32	
	5	15350551.76		5	15922136.35	
10	1	15797247.57	15900505.01	1	15782564.12	15887933.4
	2	15926129.39		2	15913221.98	
	3	15926120.53		3	15914898.01	
	4	15926148.89		4	15914281.85	
	5	15926878.01		5	15914701.06	
20	1	15793568.38	15896178.25	1	15759927.03	15861697.48
	2	15921726.73		2	15889413.74	
	3	15920217.85		3	15889024.78	
	4	15922397.3		4	15886837.24	
	5	15922981.01		5	15883284.61	
30	1	15794981.13	15898601.83	1	15757984.99	15859810.4
	2	15924671.26		2	15885121.59	
	3	15924756.23		3	15885085.3	
	4	15923745.96		4	15884863.66	
	5	15924852.55		5	15885996.47	
40	1	15784498.66	15887148.9	1	15755061.4	15861042.03
	2	15912277.91		2	15882892.92	
	3	15912904.23		3	15883248.11	
	4	15913283.71		4	15889456.1	
	5	15912779.97		5	15894551.63	
50	1	15785417.67	15888065.41	1	15779203.51	15886574.21
	2	15912983.8		2	15912917.14	
	3	15914055.96		3	15914240.26	
	4	15913700.96		4	15913237.62	
	5	15914168.64		5	15913272.5	
60	1	15757082.95	15863381.6	1	15769137.51	15872868.87
	2	15885993.03		2	15898238.44	
	3	15891452.79		3	15898752.86	
	4	15892141.74		4	15898648.67	

	5	15890237.5		5	15899566.85	
70	1	15799220.82	15901597.44	1	15798341.07	155900585.35
	2	15927320.22		2	15926286.54	
	3	15927117.71		3	15926037.74	
	4	15927227.23		4	15926097.53	
	5	15927101.22		5	15926163.87	
80	1	15763813.4	15886476.93	1	15789460.34	15896662.46
	2	15895620.31		2	15922403.82	
	3	15924074.17		3	15923726.37	
	4	15924514.58		4	15923768.92	
	5	15924362.2		5	15923952.87	
90	1	15455713.88	15816967.73	1	15797737.03	15900121.02
	2	15870298.63		2	15925572.98	
	3	15917910.43		3	15925613.98	
	4	15918930.01		4	15925878.8	
	5	15921983.33		5	15925802.33	
100	1	15797614.48	15899838.28	1	15796013.17	15898477.02
	2	15925376.45		2	15924044.14	
	3	15925378.54		3	15924174.8	
	4	15925452.33		4	15924165.12	
	5	15925369.6		5	15923987.86	
110	1	15792235.08	15894615.92	1	15791187.32	15893472.9
	2	15920229.47		2	15919028.96	
	3	15920058.56		3	15917643.26	
	4	15920289.17		4	15919752.81	
	5	15920267.33		5	15919752.15	
120	1	15793012.28	158948.39.02	1	15779438.81	15890157.92
	2	15921113.09		2	15917758.4	
	3	15920644		3	15918413.54	
	4	15920107.98		4	15917979.51	
	5	15919317.76		5	15917199.34	

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Terhadap Gelatin Babi

Konsentrasi (mM)	Data Pengujian Gelatin Sapi Tanpa Membran <i>Methyltriocetyl Ammonium Chloride</i>			Data Pengujian Gelatin Sapi dengan Pelapisan Membran <i>Methyltriocetyl Ammonium Chloride</i>		
	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata	P	Frekuensi (Hz)	Rata-Rata
0	1	14899048.63	15332289.6	1	15702887.03	15606624.64
	2	15173878.02		2	15577348.16	
	3	15510905.07		3	15594269.31	
	4	15727064.51		4	15407416.01	
	5	15350551.76		5	15751202.7	
10	1	15772291.59	15874857.95	1	15657760.3	15852598.95
	2	15900302.18		2	15877387.78	
	3	15900132		3	15897797.51	
	4	15900291.27		4	15914017.74	
	5	15901272.71		5	15916031.41	
20	1	15784756.17	15889151.92	1	15168702.14	15723368.36
	2	15915486.56		2	15815670.66	
	3	15915322.18		3	15813148.1	
	4	15915304.5		4	15905619.78	
	5	15914890.19		5	15913701.12	
30	1	15769183.77	15871588.06	1	14907410.19	15410932.59
	2	15898284.43		2	15434653.77	
	3	15897390.79		3	15296795.77	
	4	15895739.36		4	1527609.84	
	5	15897341.96		5	15788193	
40	1	15771154.3	15876648.14	1	15227073.66	15521137.46
	2	15901238.42		2	15362284.53	
	3	15902089.44		3	15461995.19	
	4	15904526.25		4	15692864.05	
	5	15904232.27		5	15861469.95	
50	1	15769913.24	15874814.15	1	15790680.65	15892923.65
	2	15897089.08		2	15918068.96	
	3	15901319.47		3	15918122.48	
	4	15901653.46		4	15919081.42	
	5	15904095.49		5	15918664.75	
60	1	15774872.2	15880268.74	1	15830067.83	15905362.36
	2	15906888.47		2	15923614.92	
	3	15906254.21		3	15924522.01	
	4	15906445.56		4	15924753.05	

	5	15906883.25		5	15923854.01	
70	1	15788344	15899330.58	1	15795202.48	15897528.18
	2	15927227.38		2	15923016.19	
	3	15927098.47		3	15922944.45	
	4	15927146.82		4	15923361.21	
	5	15926836.24		5	15923116.56	
80	1	15768819.84	15871713.21	1	15788845.01	15891717.82
	2	15897723.9		2	15916743.69	
	3	15896740.97		3	15917969.85	
	4	15897241.1		4	15917802.31	
	5	15898040.23		5	15917228.23	
90	1	15767241.42	15871021.82	1	15782356.66	15885874.01
	2	15896710.24		2	15911247.27	
	3	15896871.82		3	15911679.68	
	4	15896342.15		4	15911585.14	
	5	15897943.45		5	15912501.31	
100	1	15766636.66	15870608.42	1	15787498.34	15890284.36
	2	15894119.94		2	15916633.27	
	3	15896842.13		3	15915723.17	
	4	15898088.9		4	15915625.22	
	5	15897354.48		5	15915941.81	
110	1	15768292.65	15870225.71	1	15789379.64	15892302.69
	2	15893932.85		2	15918146.22	
	3	15893631.7		3	15918341.48	
	4	15897678.65		4	15917824.34	
	5	15897592.7		5	15917821.78	
120	1	15752859.15	15859194.01	1	15782911.64	15887324
	2	15885708.15		2	15911486.88	
	3	15888381.23		3	15910571.44	
	4	15885618.61		4	15910486	
	5	15883402.92		5	15921164.04	

Lampiran 6 Data Hasil *Respond Time*

1. *Respond Time* pada Sampel Gelatin Sapi

Sampel Gelatin Sapi			
Sebelum dilapisi Membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>		Sesudah Dilapisi Membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	
Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	10006478.9	1	10000908.8
2	10006478.9	2	10000908.9
3	10604009.2	3	10598906.2
4	11195832.9	4	11190610.7
5	11787661.9	5	11782423
6	12379488	6	12374287.9
7	12971312.9	7	12966094.9
8	13563135.4	8	13557904.8
9	14154959.4	9	14149721.6
10	14746781.7	10	14741558.2
11	15338613.6	11	15333406.1
12	15924734.3	12	15919183.8
13	15924734.9	13	15919400.4
14	15924735.7	14	15919510.7
15	15924735.7	15	15919510.7
16	15924739.3	16	15920243.5
17	15925485.5	17	15920692.6
18	15925924	18	15921068.8
19	15926382.5	19	15921224.2
20	15926615.3	20	15921371.8
21	15926820.1	21	15921523.7
22	15926822	22	15921631.7
23	15926822	23	15921721.9
24	15926822	24	15921721.9
25	15926813.1	25	15921721.9
26	15926806.5	26	15921229.2
27	15926046.6	27	15920978.1
28	15925604.5	28	15920879.5
29	15925112.2	29	15920879.5
30	15924848.4	30	15920879.5

2. Respond Time pada Sampel Gelatin Babi

Sampel Gelatin Babi			
Sebelum dilapisi Membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>		Sesudah Dilapisi Membran <i>Methyltriocthyl Ammonium Chloride</i>	
Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	10007905.4	1	10000603.5
2	10604014.4	2	10591953.2
3	11195655.1	3	11182785.3
4	11787290.4	4	11773604.1
5	12378930.9	5	12364434.2
6	12970563.6	6	12955287.9
7	13562202.1	7	13546178.7
8	14153839.5	8	14137050
9	14745485.2	9	14727868.9
10	15337134.4	10	15318699.8
11	15924309.7	11	15908920.7
12	15924310.8	12	15908937.7
13	15924320.8	13	15908979.1
14	15924320.8	14	15908979.1
15	15924523	15	15908989.4
16	15925105.1	16	15908991.4
17	15925654	17	15909000.9
18	15925925.1	18	15909012.2
19	15926040.2	19	15909102.5
20	15926040.2	20	15909206.8
21	15926040.2	21	15909281.6
22	15926038	22	15909357.9
23	15926032.8	23	15909755.1
24	15926023.6	24	15910527.9
25	15925817.4	25	15911116.4
26	15925187.4	26	15911533.6
27	15924267	27	15911578
28	15923417.2	28	15911578
29	15922604.2	29	15911578
30	15922031.7	30	15911532.5

Lampiran 7 Jumlah Asam Amino Gelatin Babi dan Gelatin Sapi (Jumlah Residu Per 1000 Total Asam Amino) Berdasarkan Pengujian Pengujian Menggunakan FTIR (Hermanto. *et.al.*, 2014).

Amino Acid	Bovine Skin Gelatin (BSG)	Provine Skin Gelatin (PSG)
Alanin	33	80
Valin	10	26
Leusin	12	29
Isoleusin	7	12
Phenilalanin	27	10
Methionin	4	10
Prolin	63	151
Glisin	108	239
Treonine	15	35
Tryosine	26	10
Cistein	2	7
Aspartic Acid	17	41
Glutamic Acid	34	83
Lysin	11	27
Arginine	47	111
Histidine	-	-
Tryptopan	-	-

Lampiran 8 Data Hasil Analisis Regresi Linier

1. Data Hasil Regresi Linier Pada Pengujian sensor QCM Terhadap Gelatin babi tanpa Pelapisan Membran

LinearFit (11/5/2018 12:18:25)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.58755E7	495.92349	32012.04375	9.75828E-10
	Slope	-48.759	5.18447	-9.40482	0.01112

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

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

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	4
Degrees of Freedom	2
Residual Sum of Squares	26878.7001
Pearson's r	-0.98888
R-Square(COD)	0.97789
Adj. R-Square	0.96683

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.58755E7	495.92349	-48.759	5.18447	0.96683

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	1.18872E6	1.18872E6	88.4507	0.01112
	Error	2	26878.7001	13439.35005		
	Total	3	1.2156E6			

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

Fitted Curves Plot



2. Data Hasil Regresi Linier Pada Pengujian sensor QCM Terhadap Gelatin babi dengan Pelapisan Membran

LinearFit (11/5/2018 11:24:33)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.59433E7	2628.98541	6064.4411	2.71906E-8
	Slope	-642.7541	34.67003	-18.53918	0.0029

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

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

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	4
Degrees of Freedom	2
Residual Sum of Squares	1.20201E6
Pearson's r	-0.9971
R-Square(COD)	0.99421
Adj. R-Square	0.99132

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.59433E7	2628.98541	-642.7541	34.67003	0.99132

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	2.06566E8	2.06566E8	343.70132	0.0029
	Error	2	1.20201E6	601005.58843		
	Total	3	2.07768E8			

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

Fitted Curves Plot



3. Data Hasil Regresi Linier Pada Pengujian sensor QCM Terhadap Gelatin sapi dengan Pelapisan Membran

Linear Fit (11/1/2018 12:21:46)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.59111E7	7156.47305	2223.31879	2.45581E-13
	Slope	-632.59571	183.76126	-3.44249	0.02623

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

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

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	6
Degrees of Freedom	4
Residual Sum of Squares	2.36377E8
Pearson's r	-0.86466
R-Square(COD)	0.74765
Adj. R-Square	0.68456

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.59111E7	7156.47305	-632.59571	183.76126	0.68456

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	7.0031E8	7.0031E8	11.85071	0.02623
	Error	4	2.36377E8	5.90944E7		
	Total	5	9.36688E8			

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

Fitted Curves Plot



4. Data Hasil Regresi Linier Pada Pengujian sensor QCM Terhadap Gelatin sapi dengan Pelapisan Membran

Linear Fit (11/5/2018 12:01:44)

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
Frekuensi	Intercept	1.59322E7	4690.06	3397.01311	8.66574E-8
	Slope	-348.9342	44.41616	-7.85602	0.01582

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

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

Statistics

	Frekuensi
Number of Points	4
Degrees of Freedom	2
Residual Sum of Squares	1.97279E6
Pearson's r	-0.98418
R-Square(COD)	0.96861
Adj. R-Square	0.95292

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
Frekuensi	1.59322E7	4690.06	-348.9342	44.41616	0.95292

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Frekuensi	Model	1	6.08775E7	6.08775E7	61.71705	0.01582
	Error	2	1.97279E6	986397.43374		
	Total	3	6.28503E7			

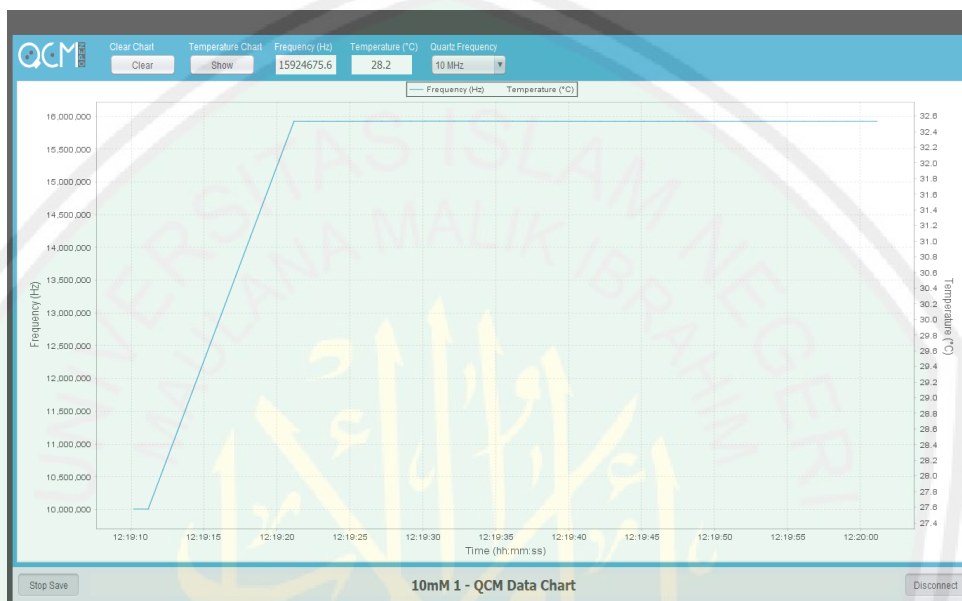
At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Fitted Curves Plot

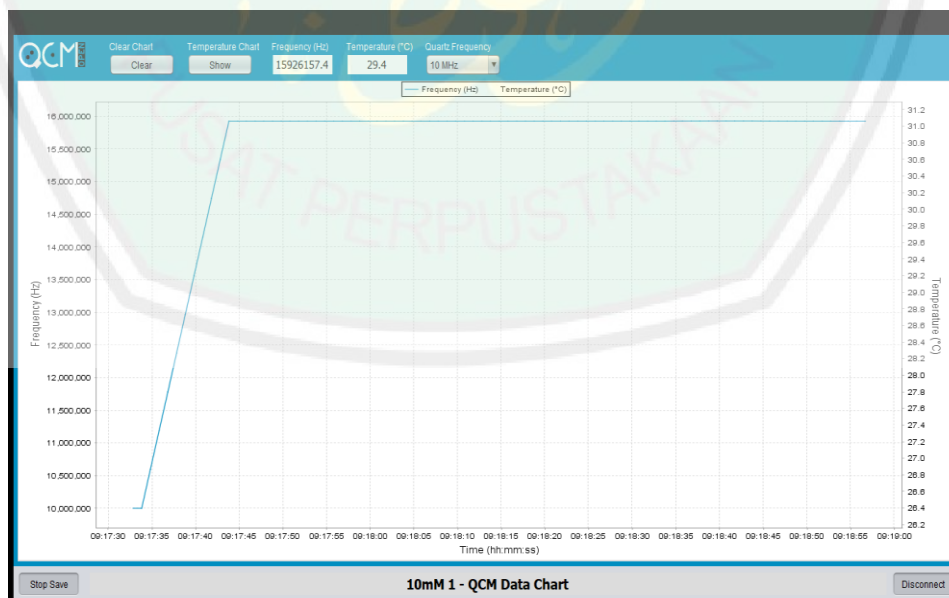


Lampiran 9 Penampang Data Hasil Pengujian *Respond Time*

1. *Respond Time* Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Tanpa Membran Terhadap Gelatin Sapi

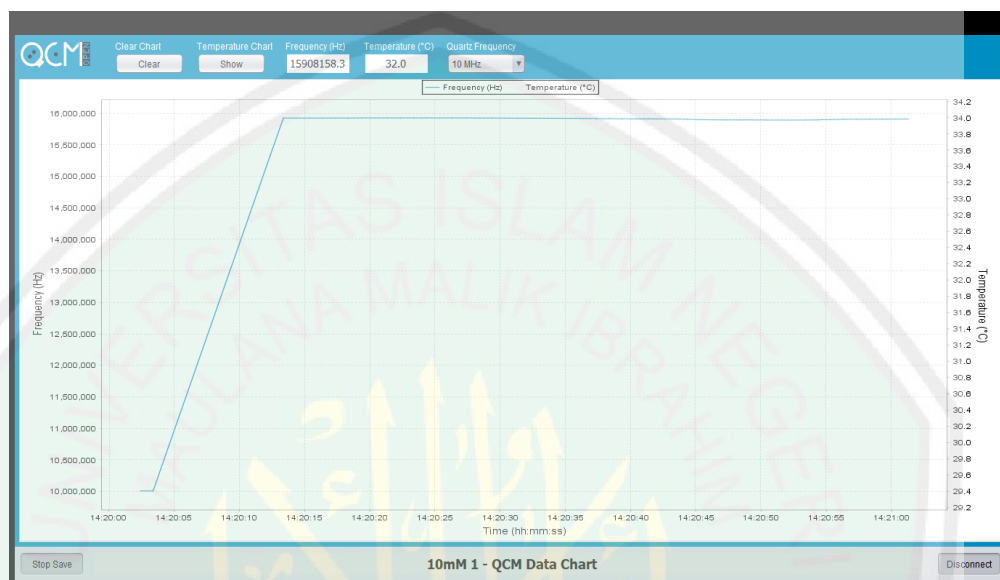


Hasil Pengujian *Respond Time* Tanpa Pelapisan Membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride*



Hasil Pengujian *Respond Time* Dengan Pelapisan Membran *Methyltriethyl Ammonium Chloride*

2. *Respond Time* Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Tanpa Membran Terhadap Gelatin Babi



Hasil Pengujian *Respond Time* Tanpa Pelapisan Membran *Methyltrioctyl Ammonium Chloride*



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Ismatul Fuada
NIM : 14640021
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Fisika
Judul Skripsi : Karakterisasi Sensor QCM Dengan Pelapisan Bahan Aktif
Methyltriethyl Ammonium Chloride Terhadap Respon Gelatin
Babi dan Gelatin Sapi
Pembimbing I : Dr. Imam Tazi, M.Si
Pembimbing II : Umayyatus Syarifah, M.A

NO	TANGGAL	MATERI	TANDA TANGAN
1	15 Desember 2017	Konsultasi Bab I, dan II	
2	17 Desember 2017	Konsultasi Bab III	
3	08 Agustus 2018	Konsultasi Kajian Al-Quran Bab I	
4	16 Agustus 2018	Konsultasi Kajian Al-Quran, Bab I-II	
5	30 Oktober 2018	Konsultasi Bab IV	
6	02 November 2018	Konsultasi Kajian Al-Quran, Bab I, II dan IV	
7	04 November 2018	Konsultasi Bab IV dan V	
8	07 November 2018	Konsultasi kajian agama dan Acc	
9	07 November 2018	Konsultasi semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 07 November 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 10