

**PENGARUH PELAPISAN PERMUKAAN SENSOR *QUARTZ CRYSTAL
MICROBALANCE* (QCM) MENGGUNAKAN BAHAN DASAR
ASAM LAURAT DAN ASAM MIRISTAT TERHADAP RESPON
BAKTERI *E.coli***

SKRIPSI

Oleh:
MIFTAKHUL MUFAROKHAH
NIM. 16640023



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**PENGARUH PELAPISAN PERMUKAAN SENSOR *QUARTZ CRYSTAL*
MICROBALANCE (QCM) MENGGUNAKAN BAHAN DASAR
ASAM LAURAT DAN ASAM MIRISTAT TERHADAP RESPON
BAKTERI *E.coli***

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:

**MIFTAKHUL MUFAROKHAH
NIM. 16640023**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH PELAPISAN PERMUKAAN SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) MENGGUNAKAN BAHAN DASAR ASAM LAURAT DAN ASAM MIRISTAT TERHADAP RESPON BAKTERI *E.coli*

SKRIPSI

Oleh:
Miftakhul Mufarokhah
NIM. 16640023

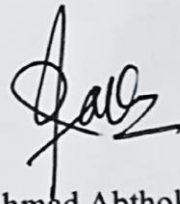
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 12 Desember 2022

Pembimbing I



Dr. Erna Hastuti, M.Si.
NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II



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

Mengetahui,
Ketua Program Studi



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

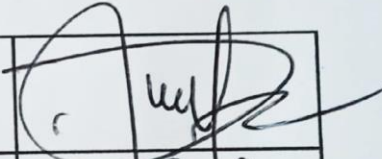
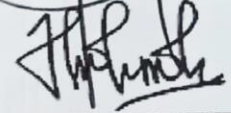
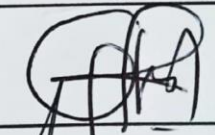
HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PELAPISAN PERMUKAAN SENSOR *QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE* (QCM) MENGGUNAKAN BAHAN DASAR ASAM LAURAT DAN ASAM MIRISTAT TERHADAP RESPON BAKTERI *E.coli*

SKRIPSI

Oleh:
Miftakhul Mufarokhah
NIM. 16640023

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 12 Desember 2022

Penguji Utama :	<u>Dr. H. M. Tirono, M.Si.</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji :	<u>Utiya Hikmah, M.Si.</u> NIP. 19880605 20180201 2 242	
Sekretaris Penguji :	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si.</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji :	<u>Ahmad Abthoki, M.Pd.</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi

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



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftakhul Mufarokhah
NIM : 16640023
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Pelapisan Permukaan Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) Menggunakan Bahan Dasar Asam Laurat dan Asam Miristat Terhadap Respon Bakteri *E.Coli*

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

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, Desember 2022
Yang Membuat Pernyataan



Miftakhul Mufarokhah
NIM. 16640023

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftakhul Mufarokhah
NIM : 16640023
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Pelapisan Permukaan Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) Menggunakan Bahan Dasar Asam Laurat dan Asam Miristat Terhadap Respon Bakteri *E.Coli*

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

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, Desember 2022
Yang Membuat Pernyataan

Miftakhul Mufarokhah
NIM. 16640023

MOTTO

“Jadilah seperti bunga yang memberikan keharuman bahkan pada tangan yang menghancurkannya”

~Ali Bin Abi Thalib~

“Satu hal yang membuat kita tetap menerima apa yang dikendaki oleh Allah adalah dengan bersyukur”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur Alhamdulillah, kupersembahkan tugas akhir ini dan rasa terimakasih untuk:

1. Bapak Ahmad Misbah dan Ibu Fais Fathul Fatmawati untuk dukungan, motivasi serta doa yang selalu mengiringi setiap langkahku. Terimakasih pula atas kesabaran dan kepercayaan yang telah diberikan sehingga saya dapat menjalani dan bertahan di setiap rintangan dalam hidup ini.
2. Para dosen dan pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dari awal hingga akhir kuliah. Semoga ilmu yang diberikan berkah dan bermanfaat.
3. Mak Khotimah, Bapak Suhardi, Mbak Riya, Mbak Yesi, serta kedua adik saya Aril dan Nendra untuk segala bentuk dukungan dan do'a yang telah diberikan kepada saya.
4. M. Iqbal Al-Khariri, Amalia Ilmi Fitriyanti, Ragil Ariftian Sugiarti, dan Mas Hudan Dardiri Soleh yang senantiasa mendoakan dan terus memberikan semangat untuk saya.
5. Teman – teman seperjuangan fisika UIN Malang angkatan 2016 serta Sahabat saya Fitrotul Azizah, Sri Wahyuni, dan lain - lain yang tidak bisa disebutkan satu - persatu yang telah membantu, memberikan semangat serta menemani dalam suka duka hingga terselesaikannya skripsi ini.

Terimakasih, semoga Allah membalas doa dan kebaikan kalian semua.

Aamiin..

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan baik. Proposal skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Pengaruh Pelapisan Permukaan Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) Menggunakan Bahan Dasar Asam Laurat dan Asam Miristat Terhadap Respon Bakteri *E.coli*”

Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan proposal skripsi ini. Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H.M. Zainuddin M.A., 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. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Erna Hastuti, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Program studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

5. Muthmainnah, M.Si., Selaku Dosen Fisika yang telah membantu membimbing untuk menyelesaikan proposal skripsi ini.
6. Segenap Dosen Program studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
7. Keluarga khususnya Ibu, Ayah, Nenek, Kakek, Adik, dan Kakak yang selama ini selalu memberikan dukungan do'a serta semangat agar penulis senantiasa diberikan kemudahan dalam setiap langkahnya.
8. Teman-teman Ikatan Mahasiswa Jombang yang senantiasa memberikan dukungan lahir dan batin sehingga mampu memberikan dampak yang besar kepada penulis untuk menyelesaikan proposal skripsi ini.
9. Teman-teman santri PP Al-Azkiya' terutama teman-teman kamar B303 yang selalu mendoakan dan memberikan semangat untuk segera menyelesaikan proposal skripsi ini.
10. Segenap anggota teman-teman Material Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini.
11. Sahabat-sahabat fisika 2016 dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
الملخص.....	xviii

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	8
2.1 Bakteri <i>Escherichia Coli</i> (<i>E.coli</i>).....	8
2.2 Biosensor	9
2.3 Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM).....	11
2.4 OpenQCM	14
2.5 Membran	15
2.6 Asam Lemak.....	17
2.7 Asam Laurat ($C_{12}H_{24}O_2$)	18
2.8 Asam Miristat ($C_{14}H_{28}O_2$)	19
2.9 <i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC).....	20
2.10 <i>Plasticizer Bis (2-ethylhexyl) Phthalate</i>	21
2.11 Teknik Air Brush.....	22
2.12 <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	23
2.13 Kajian Integrasi Islam	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Jenis Penelitian.....	27
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	27
3.3.1 Peralatan Penelitian	27
3.3.2 Bahan Penelitian.....	28
3.4 Prosedur Penelitian	29

3.4.1 Pembuatan Lapisan Membran	29
3.4.2 Diagram Alir Pembuatan Membran.....	31
3.4.3 Pengujian Sensitivitas dan Frekuensi Perdetik Terhadap Bakteri <i>E.coli</i> Menggunakan Sensor QCM	32
3.4.4 Diagram Alir Pengujian pada Sensor QCM.....	33
3.4.5 Karakterisasi dan Pengujian Lapisan Membran.....	34
3.5 Teknik Pengumpulan Data	34
3.5.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)	34
3.5.2 Tahap Pengambilan Data Bakteri <i>E.coli</i> pada Sensor Elektroda Emas Murni.....	35
3.5.3 Tahap Pengambilan Data Bakteri <i>E.coli</i> Sesudah Pelapisan Membran pada Sensor QCM	36
3.5.4 Tahap Pengolahan Data	37
3.6 Analisis Data.....	38
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Data Hasil Penelitian	39
4.1.1 Pembuatan Lapisan Membran	39
4.1.2 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan Spektrum Transmisi pada FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	41
4.1.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM)	43
4.1.4 Analisis Nilai Frekuensi Perdetik pada Sensor QCM.....	47
4.1.5 Analisis Deteksi dan Sensitivitas Sensor QCM.....	53
4.2 Pembahasan	70
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi dan Morfologi Bakteri <i>E.coli</i>	9
Gambar 2.2	Komponen Utama Biosensor.....	10
Gambar 2.3	Biosensor Virus yang Dikembangkan dengan Mengimobilisasi Antibodi pada Lapisan Monolayer di Elektroda Elektroda Emas.....	11
Gambar 2.4	Prinsip Kerja Sensor QCM	13
Gambar 2.5	Struktur Permukaan Membran Lipid.....	16
Gambar 2.6	Asam Lemak Jenuh	17
Gambar 2.7	Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal	17
Gambar 2.8	Asam Laurat	19
Gambar 2.9	Asam Miristat	19
Gambar 2.10	Struktur Molekul PVC.....	20
Gambar 2.11	Konfigurasi Sistem Air Brush.....	22
Gambar 2.12	Skema Alat Spektroskopi FTIR.....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Pembuatan Lapisan Membran	31
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengujian pada Sensor QCM.....	33
Gambar 4.1	Hasil Spektrum FTIR pada Membran	41
Gambar 4.2	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Elektroda Emas	48
Gambar 4.3	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Pelapisan Membran Asam Laurat (AL)	48
Gambar 4.4	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (2:1).....	49
Gambar 4.5	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (1:1).....	50
Gambar 4.6	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (1:2).....	50
Gambar 4.7	Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri <i>E.coli</i> dengan Pelapisan Membran Asam Miristat (AM)	51
Gambar 4.8	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM Emas Murni	53
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat	54
Gambar 4.10	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 2 : Asam Miristat 1	55
Gambar 4.11	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 1 : Asam Miristat 1	56
Gambar 4.12	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 1 : Asam Miristat 2	57
Gambar 4.13	Pengaruh Konsentrasi Bakteri <i>E.coli</i> terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Miristat.....	58
Gambar 4.14	Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Elektroda Emas Murni	61
Gambar 4.15	Regresi eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Pelapisan Membran Asam Laurat.....	63

Gambar 4.16	Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 2:1 ...	63
Gambar 4.17	Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 1:1 ...	65
Gambar 4.18	Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 1:2 ...	66
Gambar 4.19	Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Lapisan Membran Asam Miristat.....	68
Gambar 4.20	Ilustrasi Interaksi Membran Biosensor pada Bakteri <i>E.coli</i>	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar	35
Tabel 3.2	Rencana Data Sampel Bakteri <i>E.coli</i> Sebelum Pelapisan Membran.....	36
Tabel 3.3	Rencana Data Sampel Bakteri <i>E.coli</i> Sesudah Pelapisan Membran.....	37
Tabel 4.1	Hasil Pembacaan Spektrum Transmisi Asam Laurat dan Asam Miristat	42
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM Tanpa Membran.....	43
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM dengan Membran.....	44
Tabel 4.4	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Elektroda Emas Murni.....	44
Tabel 4.5	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Membran Asam Laurat.....	45
Tabel 4.6	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Membran Asam Miristat.....	45
Tabel 4.7	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:1)	46
Tabel 4.8	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:2)	46
Tabel 4.9	Pengujian Bakteri <i>E.coli</i> dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:1)	47
Tabel 4.10	Hasil Analisis Nilai Frekuensi Perdetik pada Sensor QCM....	52
Tabel 4.11	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Elektroda Emas Murni	61
Tabel 4.12	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat	62
Tabel 4.13	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 2:1	64
Tabel 4.14	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 1:1	65
Tabel 4.15	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 1:2	66
Tabel 4.16	Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Miristat	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Nilai Frekuensi Sensor QCM.....	85
Lampiran 2	Hasil Pengujian Gugus Fungsi	107
Lampiran 3	Gambar Penelitian	110

ABSTRAK

Mufarokhah, Miftakhul. 2022. **Pengaruh Pelapisan Permukaan Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) Menggunakan Bahan Dasar Asam Laurat dan Asam Miristat Terhadap Respon Bakteri *E.Coli***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Erna Hastuti, M.Si. (II) Ahmad Abthoki, M.Pd. (III) Muthmainnah, M.Si.

Kata Kunci: *Quartz Crystal Microbalance* (QCM), Bakteri *e.coli*, Membran Asam Miristat, Membran Asam Laurat.

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan biosensor dengan kristal kuarsa (SiO_2) yang mempunyai tingkat sensitivitas yang tinggi. Pemanfaatan QCM sebagai biosensor dapat ditingkatkan dengan melakukan pelapisan bahan polimer di atas permukaan biosensor. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai lapisan membran pada biosensor adalah asam laurat dan asam miristat. Penggunaan lapisan membran ini divariasikan dengan lima perbandingan asam laurat dan asam miristat sebesar 1:0, 2:1, 1:1, 1:2, dan 0:1 serta menggunakan bakteri *e.coli* dengan lima kali pengenceran sebagai bahan uji *response time* dan sensitivitas sensor terhadap lapisan membran yang sudah dibuat. Pelapisan membran pada sensor QCM menggunakan metode *airbrush* dengan mengatur jarak, tekanan, dan waktu yang ditentukan. Sebelum digunakan sebagai lapisan pada permukaan sensor, membran terlebih dahulu dianalisis gugus fungsinya menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Membran yang digunakan sebagai lapisan pada sensor QCM harus memiliki gugus karboksilat (C=O) yang akan berinteraksi dengan bakteri *e.coli*. Hasil dari analisis gugus fungsi pada membran tersebut menunjukkan bahwa kandungan gugus karboksilat pada asam laurat lebih baik dibandingkan pada membran lainnya. Sehingga hasil dari membran asam miristat memiliki kandungan gugus karboksilat yang menunjukkan grafik paling landai diantara membran yang lain. Nilai *response time* yang baik ditunjukkan ketika sensor QCM belum dilapisi membran apapun (dengan elektroda murni). Sedangkan nilai *response time* yang baik setelah sensor QCM dilapisi adalah pada membran asam miristat. Nilai sensitivitas sensor QCM yang paling tinggi terdapat pada lapisan membran asam laurat dan asam miristat dengan perbandingan 2:1 dengan hasil pengaruh pengujian sebesar 100%. Hal ini kemungkinan besar dikarenakan adanya gugus karboksil yang baik dalam asam laurat serta adanya perbandingan yang tepa tantara kedua membran. Sehingga sensitivitas yang dihasilkan oleh perbandingan membran ini juga lebih baik dibandingkan dengan membran yang lain.

ABSTRACT

Mufarokhah, Miftakhul. 2022. **The Effect of Coating Surface of The Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) Uses Lauric Acid and Miristat Acid Materials on The Response of *E-Coli* Bacteria**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Dr. Erna Hastuti, M.Si. (II) Ahmad Abthoki, M.Pd. (III) Muthmainnah, M.Si.

Keywords: *Quartz Crystal Microbalance (QCM)*, *E-coli* Bacteria, Lauric acid Membrane, Myristic Acid Membrane.

Quartz Crystal Microbalance (QCM) sensor is a biosensor with quartz crystals (SiO₂) which has a high level of sensitivity. Use of QCM as a biosensor can be increased by coating polymers on the surface of biosensors. One of the materials that can be used as a membrane layer in biosensor is lauric acid and myristic acid. The use of this membrane layer is varied with five comparisons of lauric acid and myristic acid amounted to 1: 0, 2: 1, 1: 1, 1: 2, 0: 1 and using *e.coli* bacteria with five dilutions as a response time test material and sensor sensitivity to membrane layer that has been made. Coatings of membranes on the QCM sensor use the airbrush method by adjusting the distance, pressure, and specified time. Before use as a layer on the surface of the sensor, the functional group of the membrane was analyzed using *Fourier Transform Infrared (FTIR)*. The membrane used as a layer in the QCM sensor must have a carboxylic group (C = O) that will interact with *e.coli* bacteria. The results of the functional group analysis of the membrane indicate that the content of carboxylic groups on lauric acid are better than other membranes. So, the results of the myristic acid membrane have a carboxylic group that shows the sloping graph among other membranes. The good response time value is shown when the QCM sensor has not been coated with any membrane (with pure electrodes). While the good *response time* value after the QCM sensor is coated on the membrane of the myristic acid. The highest sensitivity of the QCM sensor is found in the membrane layer of lauric acid and myristic acid with a ratio of 2: 1 and the result of a test of 100% testing. This is due to the existence of a good carboxyl group in lauric acid and an accurate comparison both of the membranes. So that the sensitivity produced by this membrane comparison is also better than other membranes.

الملخص

المفارقة ، مفتاح. 2022. تأثير طلاء سطح مستشعرات التوازن الدقيق للكوارتز البلوري (QCM) باستخدام حمض اللوريك والمواد القائمة على حمض الميريستيك على استجابة بكتيريا *e.coli*. البحث العلمي. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفون: (الأول) د. إرنا هاستوتي ، الماجستير (الثاني) أحمد أبثوقي ، الماجستير (الثالث) مطمئنة، الماجستير

الكلمات الرئيسية: ميزان دقيق بلوري كوارتز (QCM) ، بكتيريا *e.coli* ، غشاء حمض ميريستيك ، غشاء حمض لوريك.

مستشعر موازنة الكوارتز البلورية الدقيقة (QCM) هو مستشعر حيوي مع بلورات الكوارتز (SiO_2) الذي يتمتع بمستوى عالٍ من الحساسية. يمكن تعزيز استخدام QCM كمستشعر حيوي عن طريق طلاء مادة البوليمر على سطح المستشعر الحيوي. أحد المواد التي يمكن استخدامها كطلاء غشاء على جهاز استشعار حيوي هو حمض اللوريك وحمض الميريستيك. تنوع استخدام هذه الطبقة الغشائية بخمس نسب من حمض اللوريك وحمض الميريستيك 1:0 ، 1:1 ، 1:2 ، 1:1 ، 2:1 ، 0:1 واستخدمت بكتيريا *e.coli* مع خمسة تخفيفات كاستجابة. مادة اختبار الوقت وحساسية المستشعر لطبقة الغشاء التي تم تصنيعها. يستخدم طلاء الغشاء على مستشعر QCM طريقة البخاخة عن طريق ضبط المسافة والضغط والوقت المحدد. قبل استخدامه كطلاء على سطح المستشعر ، يتم أولاً تحليل الغشاء لمجموعاته الوظيفية باستخدام *Fourier Transform Infrared (FTIR)*. يجب أن يحتوي الغشاء المستخدم كطلاء على مستشعر QCM على مجموعة كربوكسيلية ($\text{C}=\text{O}$) والتي ستفاعل مع بكتيريا *e.coli*. أشارت نتائج تحليل المجموعة الوظيفية على الغشاء إلى أن محتوى المجموعات الكربوكسيلية في حمض اللوريك كان أفضل منه في الأغشية الأخرى. بحيث تحتوي نتائج غشاء حمض الميريستيك على مجموعات كربوكسيلية تُظهر الرسم البياني الأكثر انحداً بين الأغشية الأخرى. يتم عرض قيمة وقت استجابة جيدة عندما لا يتم تغليف مستشعر QCM بأي غشاء (بأقطاب كهربائية نقية). في حين أن قيمة وقت الاستجابة الجيدة بعد طلاء مستشعر QCM موجودة على غشاء حمض الميريستيك. تم العثور على أعلى قيمة حساسية لمستشعر QCM في طبقات غشاء حمض اللوريك وحمض الميريستيك بنسبة 1:2 مع تأثير اختبار بنسبة 100%. هذا على الأرجح بسبب وجود مجموعات الكربوكسيل الجيدة في حمض اللوريك والنسبة الصحيحة بين الأغشية. بحيث تكون الحساسية الناتجة عن مقارنة الأغشية أفضل أيضاً من الأغشية الأخرى.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makanan merupakan suatu kebutuhan mendasar makhluk hidup yang digunakan untuk menjaga daya tahan tubuh agar tetap stabil. Kebutuhan makhluk hidup terhadap makanan yang sehat dan memiliki kualitas tinggi harus dipenuhi agar dapat terhindar dari berbagai macam penyakit. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Allah dalam surat Abasa ayat 24.

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ

Terjemahan:

“Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya.” (Qs. Abasa (80):24) (Departemen Agama, 2008).

Pada ayat tersebut dijelaskan bahwa Allah SWT meminta hambaNya untuk selalu memperhatikan makanannya, agar hamba tersebut selalu bersyukur atas nikmat yang telah diberikan, dengan kata lain bahwasannya jika kita memperhatikan kandungan dari makanan yang kita konsumsi maka akan menambah rasa syukur kita kepada Allah. Sehingga seharusnya makanan yang kita konsumsi memiliki kualitas yang baik dan tidak mengandung sesuatu yang membahayakan bagi tubuh yang bisa menyebabkan penyakit tertentu.

Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) makanan yang baik adalah yang didalamnya terdapat kandungan gizi, bersih, dan terbebas dari bahan berbahaya. Salah satu cara agar makanan memiliki kualitas yang baik adalah dengan mengetahui bahwa komposisinya mengandung bahan yang tidak membahayakan bagi tubuh dan juga tidak mengandung sesuatu yang bisa

menyebabkan penyakit tetentu. Setiap tahapan dalam pengolahan, penyajian, dan penyimpanan makanan dapat menjadi proses peningkatan jumlah cemaran mikrobiologis pada produk pangan (Johnston *et al*, 2005). Keberadaan mikroba pada makanan didukung oleh kandungan nutrisi yang menguntungkan untuk pertumbuhannya (Leliveld *et al*, 2000).

Makanan yang mengandung bakteri dan dikonsumsi oleh tubuh akan menyebabkan penyakit yang bersifat toksis maupun infeksius. Beberapa agen bakteri yang paling sering menyebabkan penyakit bawaan makanan adalah *Salmonella*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, dan *Escherichia coli*. *Escherichia coli* dapat masuk ke dalam tubuh manusia terutama melalui konsumsi pangan yang tercemar (BPOM, 2008). Salah satu mikroba yang banyak ditemukan pada makanan maupun minuman adalah bakteri *E.coli*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yolanda Arlita (2014) mengenai *Escherichia coli* dan *Salmonella* pada bakso tusuk di Kota Manado menunjukkan bahwa dari 20 sampel, 17 mengandung *Escherichia coli* dan 9 sampel mengandung *Salmonella*.

Bakteri *E.coli* memiliki ukuran yang sangat kecil. Sehingga jika bakteri tersebut sudah mencemari suatu makanan atau minuman, maka akan sulit dilihat dengan hanya menggunakan mata telanjang. Bakteri *E.coli* pada makanan maupun minuman biasanya dapat dilihat menggunakan mikroskop yang memiliki perbesaran cukup. Sedangkan, mikroskop sendiri memiliki ukuran yang besar dan sulit untuk dibawa. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yang lebih mudah, efisien, dan praktis untuk mendeteksi bakteri dalam makanan tersebut.

Salah satu alat yang banyak digunakan untuk mendeteksi suatu mikroba (bakteri) yang terkandung dalam makanan adalah sensor. Sensor yang mampu

menggabungkan senyawa biologi dengan suatu transduser dinamakan biosensor (Nurramdaniyah dkk, 2017).

Jenis biosensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi bakteri pada suatu makanan adalah sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Sensor QCM merupakan biosensor dengan kristal kuarsa (SiO_2) yang mempunyai tingkat sensitivitas dan selektivitas yang tinggi secara *real time* dalam monitoring terjadinya perubahan massa. Pemanfaatan QCM sebagai biosensor pendeteksi biomolekul dapat ditingkatkan dengan melakukan pelapisan bahan polimer di atas permukaan biosensor QCM. Pelapisan bahan polimer bertujuan untuk melindungi elektroda pada kristal kuarsa agar tidak teroksidasi. Selain itu, pelapisan juga bertujuan untuk mempermudah immobilisasi antigen dan antibodi pada permukaan sensor QCM (Nurramdaniyah dkk, 2017).

Lapisan yang digunakan sebagai membran pada sensor QCM untuk mendeteksi bakteri harus memiliki sifat antibodi yang nantinya akan mengidentifikasi antigen yang diberikan pada sampel. Seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fulgione, *et al* (2018) yang menggunakan sensor QCM sebagai deteksi bakteri *salmonella typhimurium* dan *e coli* pada makanan. Pada penelitian tersebut digunakan sampel daging ayam sebagai media untuk pertumbuhan bakteri. Sedangkan untuk lapisannya menggunakan lapisan *anti-salmonella* PAb. Pada penelitian tersebut lapisan *anti-salmonella* dilapiskan pada sensor QCM agar dapat menangkap bakteri *Salmonella Typhimurium* yang ada pada sampel daging ayam. Anti-salmonella PAb berfungsi sebagai antibodi yang akan mengenali antigen berupa bakteri *Salmonella Typhimurium* yang

diimobilisasi pada permukaan QCM. Hasilnya sensor QCM sensitif dalam mendeteksi bakteri tersebut (Fulgione *et al*, 2018).

Lapisan yang digunakan sebagai membran juga harus memiliki struktur lipid bilayer (lipid ganda) yang mampu berinteraksi dengan biomolekul. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Fuada (2018) yang menggunakan sensor QCM sebagai deteksi gelatin babi pada makanan. Pada penelitian tersebut menggunakan lapisan berupa membran lipid *Methyltrioctyl Ammonium Chloride* yang memiliki struktur lipid bilayer (lipid ganda), yang memiliki bagian kepala bersifat hidrofilik dan hidrofobik. Hasil dari penelitian tersebut bahwa sensor QCM lebih merespon ketika diberi lapisan membran daripada tidak diberi lapisan membran (Fuada, 2018).

Asam lemak adalah senyawa organik polar yang memiliki ujung polar pada gugus karboksil dan ujung non-polar pada gugus metal (Mamuaja, 2017). Sehingga asam lemak mampu berinteraksi dengan biomolekul, dengan kata lain asam lemak dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan membran. Asam laurat adalah jenis dari asam lemak jenuh yang memiliki sifat anti-protozoa, anti-bakteri serta anti-virus jika direaksikan pada tubuh dan kini sedang dikembangkan sebagai anti-virus HIV (Tuminah, 2009). Berdasarkan sifat tersebut asam laurat dapat digunakan sebagai membran yang nantinya bisa bereaksi dengan antigen. Sedangkan asam miristat juga merupakan asam lemak jenuh yang memiliki sifat anti bakteri. Murhadi (2009) melakukan penelitian tentang aktivitas antimikroba pada asam lemak dan esternya. Hasilnya senyawa dari asam laurat dan asam miristat terbukti memiliki aktivitas anti bakteri. Sebagaimana firman Allah dalam surat Ali Imran ayat 191 yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ
رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Terjemahan:

“(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka” (Q.S. Ali Imran (3): 191) (Departemen Agama, 2008).

Pada ayat tersebut dijelaskan bahwa manusia harus senantiasa bersyukur dan mengingat Allah SWT atas segala nikmat yang telah diberikan termasuk akal pikiran. Akal pikiran manusia digunakan untuk memikirkan dan merenungkan tentang penciptaan langit dan bumi. Sehingga akan mendapat kesimpulan bahwa Allah SWT menciptakan alam semesta dan segala sesuatu di dalamnya tidak ada yang sia-sia. Seperti halnya asam laurat dan asam miristat yang memiliki banyak manfaat. Salah satunya dapat digunakan sebagai lapisan membran sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) karena memiliki struktur lipid bilayer (lipid ganda), serta sifat polar dan non-polar yang mampu berinteraksi dengan biomolekul atau mampu mengidentifikasi bakteri yang masuk pada permukaan asam laurat serta asam miristat.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat membran yang digunakan sebagai lapisan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) terhadap respon bakteri *E.coli*. Lapisan membran yang digunakan berbahan dasar asam laurat dan asam miristat dengan menggunakan variasi 1:0, 0:1, 1:1, 1:2 dan 2:1. Pengaruh sensitivitas membran terhadap bakteri *E.coli* dengan 5 kali pengenceran akan dilakukan dengan menggunakan sensor QCM dengan metode *air brush*.

Karakterisasi gugus fungsi membran asam laurat dan asam miristat dilakukan dengan menggunakan FTIR.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat dikaji dan diteliti antara lain:

1. Bagaimana gugus fungsi membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat yang digunakan sebagai lapisan pada sensor QCM?
2. Bagaimana analisis nilai frekuensi perdetik dari sensor QCM dengan pelapisan membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat terhadap respon bakteri *E.coli*?
3. Bagaimana sensitivitas dari sensor QCM dengan pelapisan membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat terhadap respon bakteri *E.coli*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui gugus fungsi pada membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat yang digunakan sebagai lapisan pada sensor QCM.
2. Mengetahui analisis nilai frekuensi perdetik dari sensor QCM dengan pelapisan membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat terhadap respon bakteri *E.coli*.
3. Mengetahui sensitivitas dari sensor QCM dengan pelapisan membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat terhadap respon bakteri *E.coli*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini antara lain:

1. Menambah pengetahuan dan sebagai informasi tentang pembuatan membran pada QCM berbahan dasar asam laurat dan asam miristat.
2. Menambah pengetahuan dan sebagai informasi tentang bagaimana pengaruh pelapisan pada permukaan sensor QCM menggunakan membran berbahan dasar asam laurat dan asam miristat.

1.5 Batasan Masalah

1. Lapisan yang digunakan adalah lapisan dengan variasi bahan dasar asam laurat dan asam miristat.
2. Analisis gugus fungsi membran dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).
3. Pelapisan pada permukaan QCM menggunakan teknik *air brush*, tidak membahas ketebalan lapisan.
4. Sampel menggunakan bakteri *e.coli*.

BAB II

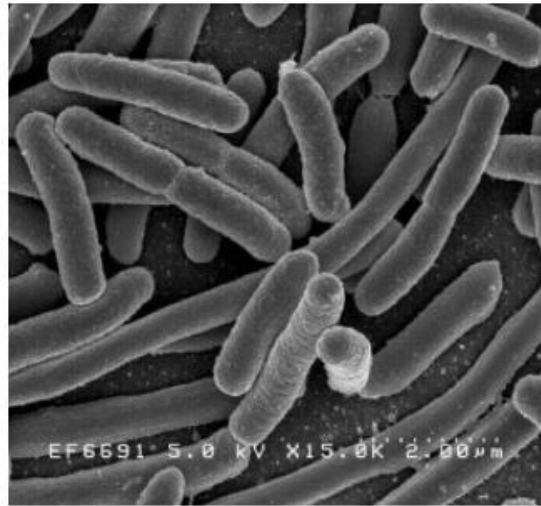
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Bakteri *Escherichia Coli* (*E.coli*)

Struktur sel dari bakteri *Escherichia Coli* terdiri atas dinding sel, membran plasma, sitoplasma, flagella, *nucleus* (inti sel), dan kapsul. Membran sel bakteri *E.coli* memiliki sitoplasma yang mengandung *nucleoprotein* yang tertutup oleh dinding sel berlapis kapsul (Meng, 2007). Pada usus besar manusia bakteri ini umumnya ditemukan. Kebanyakan bakteri *E.coli* tidak berbahaya, tetapi *E.coli* seperti tipe O157:H7 dapat mengakibatkan keracunan makanan yang serius pada manusia yaitu diare berdarah karena eksotoksin yang dihasilkan bernama verotoksin (Zhu *et al.*, 1994). Kebanyakan penyakit diare sering disebabkan oleh bakteri *E.coli*. Buruknya kualitas air minum secara mikrobiologis adalah salah satu penyebab dari penyakit ini (Suriawira, 2008).

Tubuh yang mengkonsumsi pangan tercemar seperti daging mentah, daging yang dimasak setengah matang, susu mentah, dan cemaran fekal pada air dan pangan dapat dengan mudah dimasuki oleh bakteri *E.coli* (BPOM RI, 2008). Kejang otot perut yang tiba-tiba diikuti diare dalam 24 jam adalah termasuk gejala yang ditimbulkan karena seseorang terinfeksi oleh bakteri *E.coli*. Penyakit komplikasi yang berbahaya seperti diare berdarah, nekrosis dari jaringan usus, *hemorrhagic colitis* (HC), dan *hemolytic uremic syndrome* (HUS) bisa terjadi, jika tidak segera diatasi dengan cepat (Clark, 2005). Tidak hanya itu, jika bakteri ini menjalar ke sistem/organ tubuh yang lain, maka akan mengakibatkan infeksi.

Termasuk jika bakteri *E.coli* tersebut sampai masuk ke saluran kencing (ISK) (Zhu *et al.*, 1994).



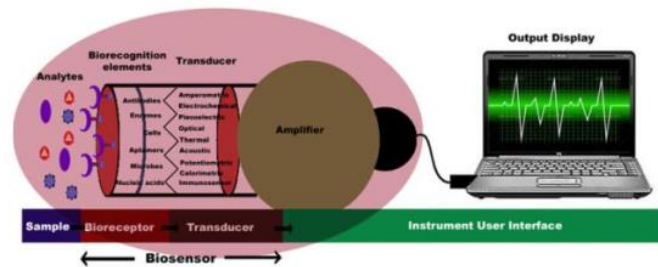
Gambar 2.1 Klasifikasi dan Morfologi Bakteri *E.coli* (Escherich, 1885)

Salah satu jenis spesies utama bakteri gram negatif adalah *Escherichia Coli*. Banyak industri kimia mengaplikasikan teknologi fermentasi yang memanfaatkan *E.coli*, misalnya dalam produksi obat-obatan seperti insulin dan antibiotik (Dufour, 1984).

2.2 Biosensor

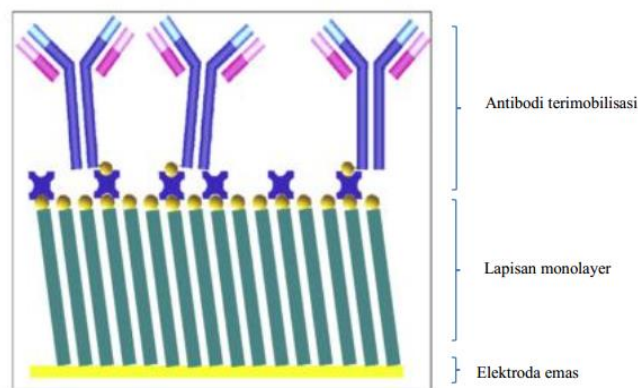
Peralatan analitik yang merupakan penggabungan antara komponen biologi (enzim) dan transduser untuk mendeteksi suatu senyawa target disebut Biosensor. Enzim yang digunakan adalah yang dapat bereaksi secara selektif dengan substrat (Guilbault *et al*, 2004). Sensitivitas dan selektivitas yang tinggi, kecepatan respon, biaya yang rendah serta pengoperasiannya yang mudah merupakan ciri dari biosensor. Oleh karena itu, untuk mendeteksi komponen kimia dan biologi pada obat-obatan, makanan, dan pemantauan lingkungan dapat menggunakan biosensor (Fatimah, 2010).

Biosensor memiliki dua komponen utama, yaitu bioreseptor yang akan mengenali analit target serta transduser yang akan merubah sinyal biologis menjadi sinyal elektrik yang terukur. Pada umumnya, untuk memperbesar sinyal elektrik yang diterima perangkat biosensor juga membutuhkan amplifier, sehingga dapat dilanjutkan ke bagian pemroses data dengan mudah (Singh, 2014).



Gambar 2.2 Komponen Utama Biosensor (Yadav *et al*, 2010)

Biosensor impedansi elektrokimia untuk deteksi virus pada umumnya dikembangkan menggunakan lapisan monolayer dan polimer konduktif pada permukaan elektroda. Gambar 2.2 merupakan skema biosensor impedansi yang dikembangkan dengan mengimobilisasi antigen pada lapisan monolayer. Respon konduktivitas yang dapat terukur akan ditimbulkan ketika adanya proses hibridisasi antara biosensor dengan antivirus yang terimobilisasi, kemudian dikonversikan menjadi perubahan resistensi atau kapasitansi. Deteksi terhadap perubahan kapasitansi lebih mudah dilakukan karena tidak memerlukan elektroda referensi. Akan tetapi, teknik tersebut dapat memberikan hasil positif palsu karena memiliki beberapa kekurangan antara lain kurang sensitif, dan ikatannya yang tidak spesifik (Caygill *et al*, 2010).



Gambar 2.3 Biosensor Virus yang Dikembangkan dengan Mengimobilisasi Antibodi pada Lapisan Monolayer di Permukaan Elektroda Emas (Caygill *et al*, 2010)

Biosensor dapat diklasifikasikan menurut unsur pengenalan biologi, salah satunya *immunosensor*. Jenis biosensor dengan reaksi biologis yang terjadi antara antibodi dengan antigen dinamakan *Immunosensor*. Kerja *immunosensor* didasarkan pada prinsip pengujian sistem *immune* pada fase padat dengan menggunakan antibodi atau antigen yang diimmobilisasi pada suatu pendukung padat, sehingga terjadi interaksi permukaan padat-cair. Transduser akan mengubah interaksi antara analit dengan bioreseptor menjadi sinyal yang dapat diukur. Kunci penting dalam pengembangan sensor adalah pada desain dan persiapan antarmuka biokomponen serta material detektor yang optimum (Fatimah, 2010).

2.3 Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM)

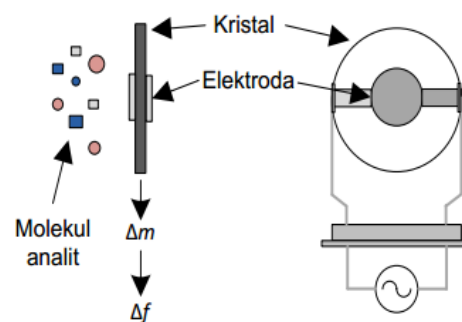
Sensor adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah besaran fisika dan besaran kimia menjadi besaran listrik. Besaran listrik yang dihasilkan dapat digunakan pada rangkaian listrik tertentu untuk dianalisis datanya. Adapun besaran-besaran fisika yang dapat diubah menjadi besaran listrik oleh sensor diantaranya yaitu temperatur, tekanan, gaya, medan magnet, cahaya, dan

pergerakan suatu benda. Sensor dapat mengubah salah satu besaran kimia berupa konsentrasi suatu zat menjadi besaran listrik (Wahab & La Nafie, 2014).

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

Alat instrumen yang digunakan untuk mengukur massa dan viskositas dalam film lapis tipis disebut QCM (*Quartz Crystal Microbalance*). Kelebihan yang dimiliki oleh sensor ini daripada yang lain adalah memiliki sensitivitas tinggi, kemudahan dalam pemakaian serta praktis penggunaannya (Candle dkk, 2015). Sensor QCM terbuat dari bahan kristal SiO_2 berbentuk kepingan yang diapit oleh dua elektroda. Oleh orientasi potongan kristal yang dibentuk dengan arah potong pada sumbu kelistrikan dan mekaniknya, maka QCM akan mengalami deformasi pada saat kedua sisi kepingnya diberi beda potensial listrik. Kristal QCM akan mengalami deformasi dalam arah bolak-balik sesuai dengan polaritas potensial listriknya ketika polaritas potensial yang diberikan berupa sinyal bolak-balik. Sifat elektromekaniknya QCM dapat dimodelkan dengan suatu model listrik yang tersusun atas elemen resistif, kapasitif, dan induktif. Sehingga bagian dari suatu resonator dapat diperankan oleh potongan kristal tersebut. Sifat bahan dan ketebalan kristal tersebut dapat memengaruhi frekuensi resonansi dari sensor QCM (Wahyuni, 2012).

Sensor QCM merupakan perangkat sensor akustik yang didasarkan pada perubahan mendasar frekuensi osilasi yang dipengaruhi dengan adsorpsi/penyerapan molekul dari fase gas (Saraoglu *et al*, 2013). Prinsip kerja dari sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) didasarkan pada perubahan frekuensi osilasi yang sebanding dengan perubahan massa yang tersimpan pada permukaannya. Mudah dikenal untuk mendeteksi berbagai macam analisa dengan menerapkan pelapisan yang berbeda-beda merupakan kelebihan utama dari sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Sehingga sensor ini dapat dikatakan sebagai sensor serbaguna (Casteleiro-Roca *et al*, 2014).



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Sensor QCM (Rouhillah, 2015)

Sensor QCM adalah osilator elektromekanis yang terdiri dari potongan tipis kristal kuarsa dengan elektroda logam (emas atau perak) yang sudah diendapkan pada sua sisinya. Bahan sensitif kimia yang tersimpan pada elektroda QCM berinteraksi dengan analit yang dapat menyebabkan penurunan frekuensi pada osilasi yang sebanding dengan massa absorbsinya, sesuai dengan persamaan berikut (Bearzotti dkk, 2017).

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

Dimana Δf adalah perubahan frekuensi (Hz), C_f adalah konstanta sensitivitas massa (s/g), f_0 adalah frekuensi resonansi awal elektroda (Hz), A adalah luas permukaan elektroda (cm²), dan Δm adalah perubahan massa (g).

Nilai frekuensi resonansi sensor QCM akan menurun secara linier akibat adanya penyerapan massa hal itu didasarkan pada persamaan Saurbey yang sudah dipaparkan sebelumnya. Sampel gas yang dideteksi memiliki massa molekul yang berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. Penyimpangan frekuensi resonansi disebabkan oleh penyerapan molekul target. Penyimpangan frekuensi resonansi sensor QCM tersebut yang menunjukkan tingkat selektivitas dan kepekaan sensor QCM (Sharma dkk, 2014).

2.4 OpenQCM

OpenQCM adalah sebuah alat *scientific* berbasis teknologi QCM yang memanfaatkan efek *piezoelectric*. Arus AC adalah arus yang digunakan pada alat tersebut untuk membangkitkan vibrasi mekanik dari kristal kuarsa dalam kisaran MHz. openQCM merupakan salah satu proyek QCM terbuka dan fleksibel dengan menggunakan *board* elektronik Arduino sebagai inti (prosesor) dari alat tersebut. *Arduino micro*, *Arduino shield*, dan Temperatur sensor merupakan tiga komponen utama dari openQCM. Ketiga komponen tersebut berfungsi sebagai mikrokontroler, osilator, pencacah frekuensi dan pengukur temperatur. Grafik yang ada pada *software* openQCM merupakan hasil pengukuran frekuensi dan suhu yang ditampilkan berupa dan data disimpan secara otomatis di dalam data logger openQCM. openQCM adalah sebuah alat *scientific* berbasis teknologi QCM yang memanfaatkan efek *piezoelectric*. Alat tersebut menggunakan arus AC untuk membangkitkan vibrasi mekanik dari kristal kuarsa dalam kisaran MHz.

OpenQCM merupakan salah satu proyek QCM terbuka dan fleksibel dengan menggunakan *board* elektronik Arduino sebagai inti (prosesor) dari alat tersebut (Novaetech, 2016).

2.5 Membran

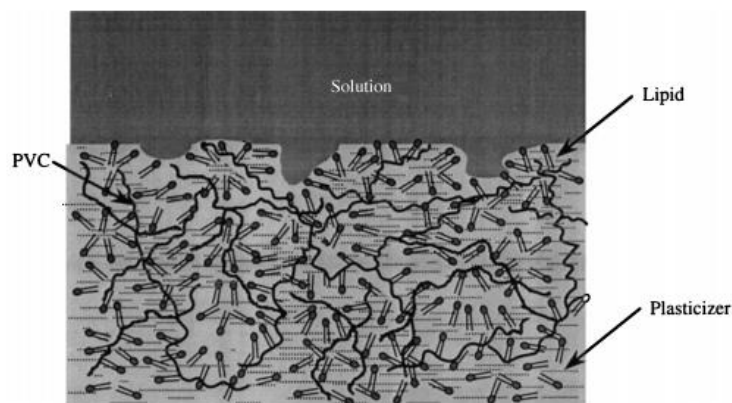
Membran merupakan suatu zat yang bersifat selektif terhadap dua fase zat lain yang berbeda. Biasanya membran berfungsi untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran dan bentuk, menahan suatu komponen dari zat yang ukurannya lebih besar dari pori-pori membran serta untuk menyalurkan senyawa yang mempunyai ukuran pori-pori yang lebih kecil dari pori-pori membran tersebut (Agustina, 2006).

Teknologi membran telah menjadi topik hangat dalam beberapa tahun terakhir. Hal itu dipicu oleh fakta bahwa pemisahan dengan membran memiliki banyak keunggulan yang tidak dimiliki metode-metode pemisahan lain, diantaranya yaitu tidak membutuhkan zat kimia tambahan, kebutuhan energi yang sangat minim, dan dapat bertindak sebagai filter yang spesifik. Selain itu, murah, sederhana, dan ramah terhadap lingkungan (Rahayu, 2009).

Ketika membran berinteraksi dengan campuran, salah satu dari komponen pada membran bisa dihilangkan dari campuran tersebut berdasarkan afinitasnya serta sifat difusi pada membran (Shao & Huang, 2007). Kualitas membran mempengaruhi keberhasilan dari pemisahan menggunakan membran. Menurut Mulder (1996), parameter mutu membran diantaranya memiliki permeabilitas dan selektivitas yang tinggi, tahan terhadap zat kimia yang akan dipisahkan, dan kestabilan mekanik. Untuk mendapatkan membran baru yang sifatnya sesuai dengan penggunaannya diperlukan modifikasi pembentukan membran melalui

pencampuran polimer dengan material pendukung sehingga memperluas aplikasi membran tersebut (Sari, 2011).

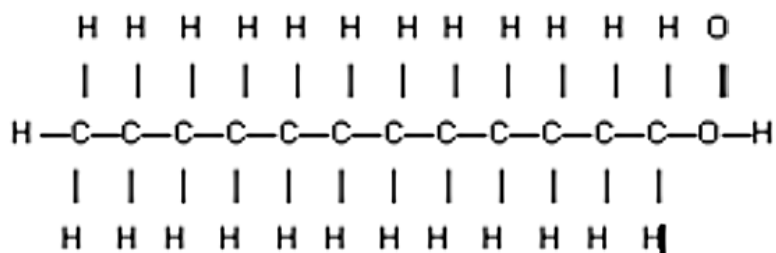
Sifat polar yang ada pada molekul lipid yang dapat berikatan dengan molekul protein terletak pada lapisan dalam dan tersusun sedemikiannya rupa. Sedangkan bagian non-polar terletak pada sisi dalam bersama dengan cairan yang terdapat pada lapisan tersebut, yang menyebabkan membran sel lipid bersifat hidrofilik/ dapat menyatu dengan molekul air adalah karena adanya protein pada lapisan luar (Pudjiaji, 1990). Campuran bahan yang digunakan dalam pembuatan membran yaitu lipid, *polyvinyl chloride* (PVC), *plasticizer*, dan *tetrahydrofuran* (THF). Campuran dari bahan tersebut menghasilkan membran lipid yang transparan, tidak berwarna dan memiliki tekstur yang lembut. Adapun struktur membran dari komposisi tersebut ditunjukkan pada gambar 2.7 (Toko, 1998).



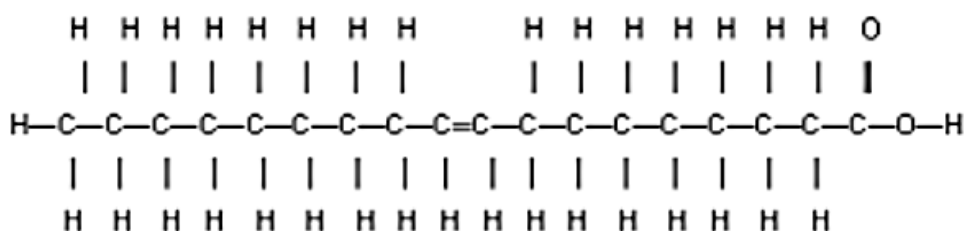
Gambar 2.5 Struktur Permukaan Membran Lipid (Toko, 1998)

2.6 Asam Lemak

Asam lemak adalah asam karboksilat dengan rantai hidrokarbon yang panjang. Jumlah atom C pada hidrokarbon asam lemak dapat bervariasi mulai dari 10 sampai 30 atom C. sifat molekul dari asam lemak adalah non-polar. Asam lemak memiliki dua jenis, yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap pada alkilnya disebut asam lemak jenuh. Sedangkan asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak yang memiliki satu ikatan rangkap pada rantai alkilnya. Asam lemak jenuh berwujud padat asam lemak tak jenuh berwujud cair ketika berada pada temperatur kamar. Asam lemak jenuh banyak terkandung pada lemak hewan, sedangkan asam lemak tidak jenuh lebih banyak terkandung pada minyak nabati (Hudaya, 2012).



Gambar 2.6 Asam Lemak Jenuh (Sartika, 2008)



Gambar 2.7 Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal (Sartika, 2008)

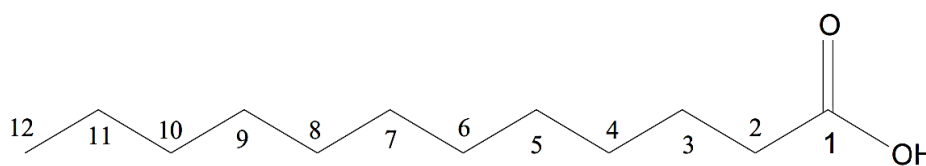
Asam lemak adalah bagian penting dari seluruh jaringan tubuh dan merupakan bagian utama senyawa fosfolipid membran sel. Dalam tubuh, asam lemak tidak hanya dibutuhkan untuk sintesa membran, modifikasi protein dan

karbohidrat, pembangunan beragam elemen struktur dalam sel jaringan, menghasilkan senyawa penanda dan bahan bakar, tetapi juga untuk melarutkan berbagai macam bagian seluler serta ekstraseluler yang sulit larut dan nonpolar (Tuminah, 2010).

Gugus karboksil dari asam lemak bersifat polar. Gugus ini terikat pada C1 dari rantai asam lemak. Posisi atom karbon pada rantai asam lemak dihitung dari posisi C1 yang mengikat gugus karboksil. Atom hidrogen (H) terikat pada atom C berikutnya (C2, C3, C4 dan seterusnya). Ikatan jenuh dapat terbentuk jika atom karbon pada C2 sampai C_n -1 dapat mengikat maksimal 2 atom H, sedangkan atom karbon pada C_n (posisi ujung) mengikat 3 atom H atau disebut gugus metal (Gambar 2). Gugus metal pada C_n ini bersifat non-polar. Dengan demikian, asam lemak memiliki ujung polar pada gugus karboksil dan ujung non-polar pada gugus metal (Mamuaja, 2017).

2.7 Asam Laurat (C₁₂H₂₄O₂)

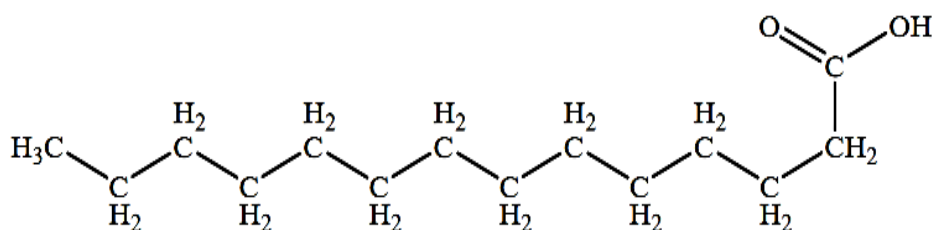
Asam laurat memiliki 12 atom (C), 24 atom hidrogen (H), 2 atom oksigen (O) dan berat molekul 22,32. Meleleh pada suhu sekitar 44 °C dan memiliki bentuk padatan (kristal) seperti jarum berwarna putih (Adyana, 2017). Asam laurat merupakan asam lemak rantai sedang yang terdapat dalam lemak susu manusia serta sapi sebesar = 5,8% dan 2,2%. Dominan dalam minyak kayu manis (80-90%) dan minyak kelapa (40-60% sebagai trilaurin). Kelapa sawit serta minyak biji pada kelapa sawit merupakan sumber utama asam laurat pada makanan manusia. Asam laurat efektif digunakan sebagai agen antikaries, antiplak, antivirus, serta anti bakteri (Tuminah, 2010).



Gambar 2.8 Asam Laurat (Widiyarti dan Hanafi, 2008)

2.8 Asam Miristat ($C_{14}H_{28}O_2$)

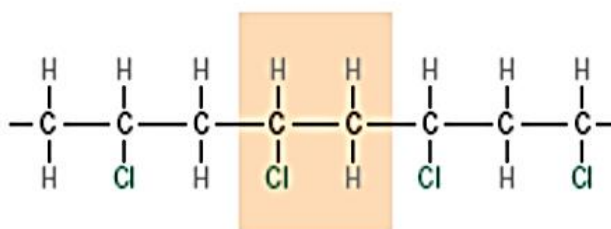
Asam miristat atau asam tetradekanoat merupakan asam lemak jenuh dengan rumus molekul $C_{14}H_{28}O_2$. Asam miristat dalam suhu ruang berbentuk kristal, memiliki berat molekul 228,37, titik leleh $54,4^{\circ}C$ dan titik didih $250,5^{\circ}C$ (Carl, 2009). Asam miristat bersifat hidrofobik sehingga sangat larut dalam alkohol/eter dan memiliki kelarutan yang kecil dalam air. Sifat asam lemak nabati pada umumnya adalah merupakan sumber zat aktif yang bersifat *emollient* atau melembabkan, hal tersebut juga berlaku pada asam miristat (Cahyono, 2010). Oleh karena itu, selain banyak digunakan dalam sabun dan detergen (Kappelle, 2014), asam miristat juga banyak diaplikasikan untuk bahan kosmetika seperti sampo, lipstik, losion, dan lain-lain (Hartanto & Rhoito, 2018).



Gambar 2.9 Asam Miristat (Lestari, 2014)

2.9 Polyvinyl Chloride (PVC)

Polimer *polyvinyl chloride* (PVC) termasuk dalam jenis polimer termoplastik yaitu suatu substansi yang kehilangan bentuknya ketika dipanaskan dan menjadi rigid kembali ketika didinginkan. Sifat termoplastik dari polimer *Polyvinyl chloride* (PVC) menyebabkan polimer tersebut bersifat plastik yang jika diberi bebamn akan berubah bentuk dan jika beban dilepaskam maka bahan tersebut tidak akan kembali ke bentuk semula. Karena sifatnya yang termoplastik, daur ulang secara fisik polivinil klorida dapat dilakukan relatif mudah, dimana material bisa dibentuk kembali di bawah proses pemanasan (Wiryosentono, 1998).



Gambar 2.10 Struktur Molekul PVC (Callister, 2007)

Ketika diproduksi, PVC bersifat amorf, polimer polar. Sifat ini tergantung pada nilai rata-rata derajat polimerisasi (panjang rantai molekul polimer). Perbedaan proses produksi polimer berkembang menjadi polimer emulsi (PVC-E), polimer suspensi (PVC-s), dan polimer massa (PVC-M) (Khenzie, 2013).

Polivinil klorida (PVC) merupakan senyawa yang fasanya berbentuk padatan keras hampir tidak mudah terpengaruh (tidak bereaksi) dengan kehadiran oksidator kuat, hal tersebut dikarenakan senyawa PVC berbentuk polimer yang menyebabkannya menjadi polimer yang sangat stabil. Dari segi keamanan, senyawa polivinil klorida hampir tidak berbahaya dan tidak mengganggu

lingkungan karena tidak berpotensi mencemari yang lebih rendah dari suhu pengolahannya, yaitu antara 140-200°C, dimana polivinil klorida akan melepaskan hidrogen dan klorida, dan membentuk ikatan rangkap konjugasi dan kemudian akan diikuti dengan perubahan warna mulai dari warna kuning, oren, merah, coklat, hingga hitam. Pencampuran bahan aditif seperti pemlastis dan penstabil bertujuan untuk meningkatkan stabilitas termal PVC, hal tersebut berperan untuk mengikat hidrogen dan klorida terlepas dan menggantikan atom klorin yang labil pada rantai polivinil klorida (PVC) dan mencegah dehidroklorinsi lanjutan (Callister, 2007).

2.10 Plasticizer Bis (2-ethylhexyl) Phthalate

Bis (2-ethylhexyl) phthalate lazim digunakan sebagai bahan *plasticizer* dalam industri plastik. *Bis (2-ethylhexyl) phthalate* sering dikenal masyarakat dengan DOP. Polimer (khususnya industri PVC) dapat memiliki fleksibilitas lebih tinggi karena adanya DOP sebagai bahan *plasticizer*. DOP merupakan senyawa organik yang memiliki rumus kimia $C_6H_4(COOCH_2CH(C_2H_5)C_4H_9)_2$. Molekul DOP memiliki satu cincin aromatik dan dua ikatan ester dengan dua gugus hidrokarbon dengan delapan buah atom karbon (oktil). Tidak larut dalam air dan memiliki stabilitas yang baik terhadap ultraviolet, panas serta resistensi yang baik terhadap hidrolisis merupakan ciri dari DOP (Yulindo, 2008).

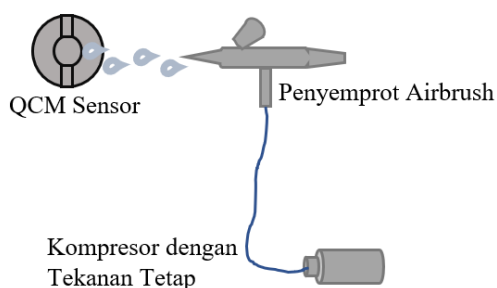
Pemlastis, paling sering digunakan untuk resin vinil klorida, dan sedikit untuk vinil asetat dan asetat. Zat ini berguna untuk memperbaiki kecocokan dengan resin. Bila terdistribusi baik diantara rantai molekul dari polimer maka jarak dari molekul rantai diperbaiki dan resin lebih lunak dengan bertambahnya beban. Zat pemlastis yang sering digunakan adalah DOP (Dioktil ftalat;

$C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$), DBP (Dibutil ftalat; $C_6H_4(COOC_4H_9)_2$), dan DOA (Dioktil adipat, $C_4H_8(COOC_{18}H_{17})_2$) (Yulindo, 2008).

Pada industri PVC penggunaan DOP cukup dominan dan menghemat biaya produksi. Selain digunakan sebagai plasticizer dalam industri PVC, dalam jumlah terbatas dioktil ftalat juga digunakan dalam adesive sealant dan industri cat untuk meningkatkan kinerja. Dioktil ftalat dapat digunakan sebagai pelarut pada parfum dan kuteks dan pestisida (Yulindo, 2008).

2.11 Teknik *Air Brush*

Teknik *air brush* dilakukan dengan menggunakan konfigurasi seperti tampak pada gambar 2. 11. Untuk teknik *air brush* ini, ketebalan lapisan dipengaruhi oleh kekuatan kompresor untuk menyemprot, jarak semprot, dan waktu penyemprotan. Dengan banyaknya variabel yang dapat diatur ini maka perlakuan menjadi sangat beragam.



Gambar 2.11 Konfigurasi Sistem *Airbrush*

Jenis *airbrush* yang digunakan ini adalah *double action* (internal mix): sesuai namanya, *penbrush* ini mempunyai dua jenis aksi. Ketika tuas ditekan maka akan keluar angin. Sedangkan aksi lainnya adalah jika tuas ditekan dan ditarik kebelakang maka secara otomatis akan mengeluarkan angin dan cat secara bersamaan (Ma'ruf, 2020).

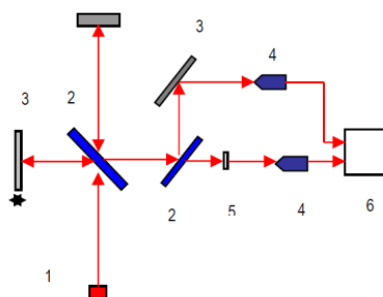
2.12 *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektroskopi infra merah adalah salah satu teknik spektroskopi yang banyak digunakan untuk analisis suatu senyawa. Hampir setiap senyawa yang memiliki ikatan kovalen, baik itu senyawa organik maupun anorganik, akan menyerap frekuensi radiasi elektromagnetik dalam daerah spektrum infra merah. Karena setiap gugus fungsi memiliki karakteristik frekuensi inframerah yang berbeda-beda maka tujuan utama dari spektroskopi ini adalah untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada suatu senyawa. Daerah spektrum elektronik infra merah terletak antara 13.000 sampai 10 cm^{-1} , atau antara $0,78$ sampai $1000\text{ }\mu\text{m}$ (Barkah, 2011).

Molekul akan mengalami eksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi bila menyerap radiasi inframerah pada saat proses penyerapan energi inframerah oleh suatu molekul, hal tersebut seperti halnya tipe penyerapan energi yang lain. Penyerapan radiasi infra merah merupakan proses kuantisasi. Frekuensi yang akan diserap oleh molekul adalah frekuensi yang hanya memiliki energi tertentu. Radiasi dalam kisaran energi infra merah sesuai dengan kisaran frekuensi vibrasi rentangan (*stretching*) dan bengkokan (*bending*) dari ikatan kovalen dalam kebanyakan molekul (Barkah, 2011).

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *Fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Frekuensi dalam sinyal gabungan akan dianalisis oleh spektroskopi FTIR yang merupakan inti dari *interferometer michelson*. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pen trasmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas

tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (mm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Skema alat spektroskopi FTIR secara sederhana ditunjukkan pada gambar dibawah (Choirul, dkk. 2007).



Gambar 2.12 Skema Alat Spektroskopi FTIR (Choirul dkk, 2007)

2.13 Kajian Integrasi Islam

Asam lemak merupakan asam karboksilat yang banyak ditemukan pada tumbuhan seperti pada minyak kelapa, minyak biji sawit, minyak biji kapas, minyak gandum, minyak kedelai, dan lain-lain. Asam lemak khususnya asam laurat dan asam miristat dapat digunakan sebagai lapisan membran pada sensor QCM dengan menambahkan bahan-bahan tertentu. Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT (Qs. Al-Jaatsiyah: 13) yang menyatakan bahwa segala sesuatu yang diciptakan di bumi dapat dimanfaatkan.

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ

Terjemahan:

“dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir.” (Qs. Al-Jaatsiyah: 13) (Departemen Agama, 2008).

Pada ayat di atas dapat dipahami bahwa manusia bisa memanfaatkan segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT baik di bumi maupun di langit. Menurut Assiba'i (1993) kata (memudahkan atau menundukkan) pada ayat diatas adalah sesuatu yang dapat kita taklukkan. Hal ini berarti menundukkan segala isi alam semesta untuk kepentingan manusia. Karena di alam semesta ini tidak ada sesuatu yang sukar digunakan oleh manusia, asal manusia menggunakan akal dan fikiran serta ilmu pengetahuannya untuk memahami dan mengerti bagaimana mengembangkan kebaikan-kebaikan yang berasal dari hal-hal tersebut. Dalam hal ini seperti contohnya adalah pemanfaat asam lemak khususnya asam laurat dan asam miristat sebagai bahan utam untuk pelapisan membran pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) terhadap respon bakteri *E.coli*.

Bakteri *E.coli* merupakan mikroorganisme yang diciptakan oleh Allah SWT. Bakteri *E.coli* bisa ditemukan dimana saja. Sebagaimana firman Allah SWT dalam surat Al-An'am ayat 95:

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْحَبِّ وَالنَّوَى يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِنَ الْحَيِّ ذَلِكُمُ اللَّهُ فَأَنَّى تُؤْفَكُونَ

Terjemahan:

“Sesungguhnya Allah menumbuhkan butir tumbuh-tumbuhan dan biji buah-buahan. Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan yang mengeluarkan yang mati dari yang hidup. (yang memiliki sifat-sifat) demikian ialah Allah, maka mengapa kamu masih berpaling?.” (Qs. Al-An'am: 95) (Departemen Agama, 2008).

Berdasarkan ayat di atas dapat dijelaskan bahwa Allah SWT menunjukkan salah satu bukti kekuasaanNya, yaitu penciptaan biji dan embrio tanaman di setiap tempat yang sempit. Sedangkan bagian lain biji itu, terdiri atas zat-zat yang tidak hidup terakumulasi. Ketika embrio itu mulai bernyawa dan tumbuh, zat-zat yang terakumulasi itu berubah menjadi zat yang dapat memberi makanan embrio (Shihab, 2002). Seperti halnya ayat tersebut terbentuknya bakteri *E.coli* bisa terjadi dimana saja. Oleh sebab itu, penting untuk mengetahui bahwa makanan dan minuman yang kita konsumsi terbebas dari berbagai macam bakteri, termasuk bakteri *E.coli*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental, pembuatan membran dilakukan dengan variasi bahan dasar asam laurat dan asam miristat dan menggunakan *Plasticizer: Bis (2-ethylhexyl) phthalate* serta *Polyvinyl Chloride* (PVC) yang akan digunakan sebagai lapisan pada sensor QCM terhadap respon bakteri *E.coli*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan September 2020 sampai selesai. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium riset material jurusan fisika Universitas Islam Negeri Malang yang meliputi persiapan, pembuatan sampel, pengukuran, analisa, dan pelaporan.

3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Holder QCM
2. OpenQCM
3. Kristal kuarsa
4. *Air brush*
5. *Gelas beaker*
6. Gelas ukur
7. Spatula
8. Mikropipet tetes

9. Pipet ukur
10. Pipetor 0,1 mL
11. Pipet tetes
12. Botol sampel
13. *Magnetic stirrer*
14. Kertas label
15. Kabel penghubung
16. Personal computer
17. *Software QCM*
18. *Microsoft Excel*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Asam Laurat
2. Asam Miristat
3. Aquades
4. *Polyvinyl Chloride (PVC)*
5. *Tetrahydrofuran (THF)*
6. *Plasticizer: Bis (2-ethylhexyl) phthalate*
7. Bakteri *E.coli*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Lapisan Membran

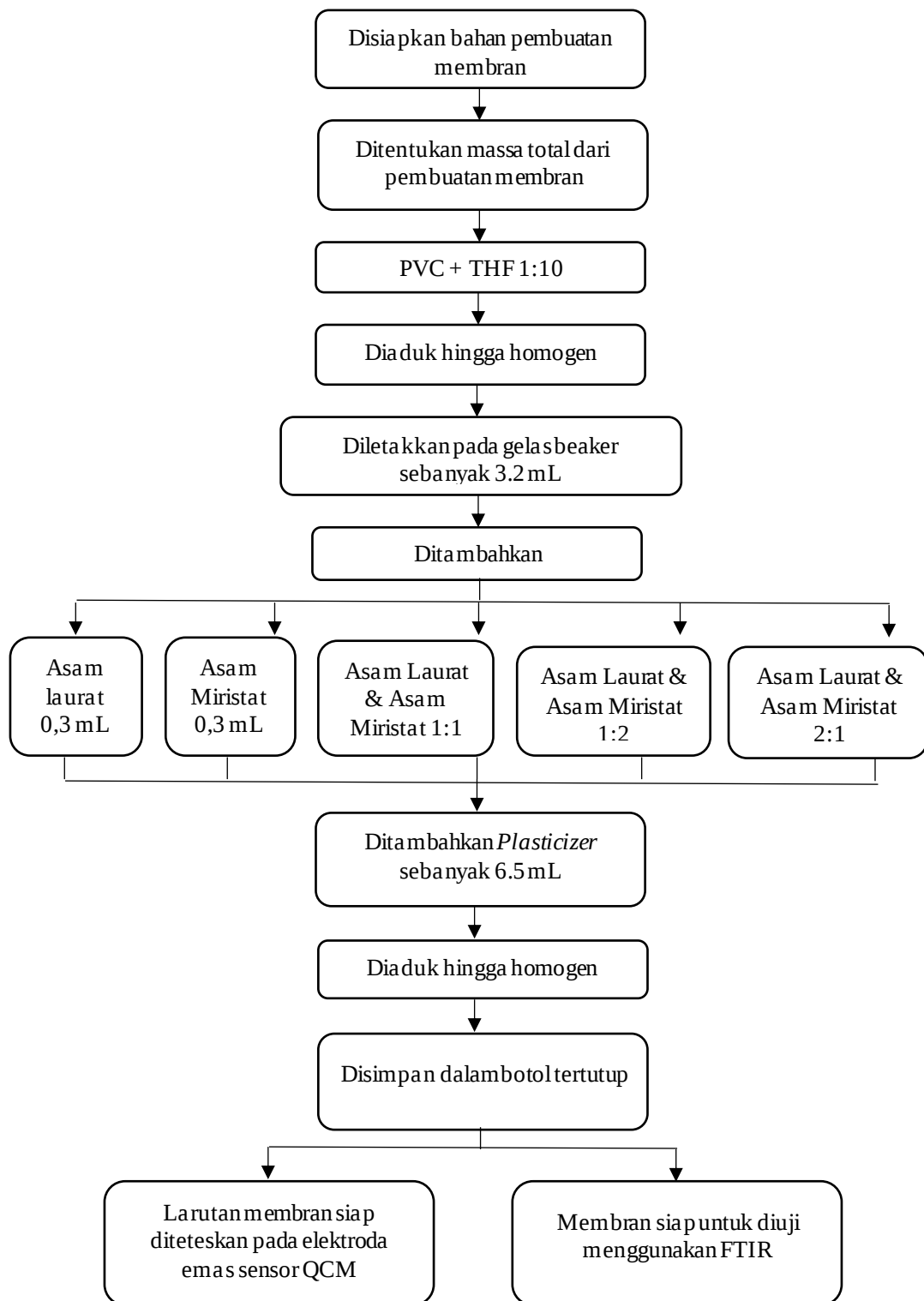
Berikut merupakan penjelasan mengenai tahapan-tahapan dalam pembuatan lapisan membran:

1. Bahan-bahan disiapkan untuk pembuatan lapisan yaitu Asam Laurat, Asam Miristat, *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Plasticizer*, dan *Tetrahydrofuran* (THF).
2. Lapisan yang akan digunakan pada permukaan ditentukan massa totalnya sekitar 10 mL.
3. Pada gelas *beaker* 1 dimasukkan PVC sebanyak 1 gram dan 10 mL THF, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan 250 rpm dan suhu 100°C sampai homogen.
4. Pada percobaan pertama dimasukkan asam laurat sebanyak 0.3 mL ke dalam gelas *beaker* sebagai bahan aktif dari membran yang akan berinteraksi langsung dengan sampel.
5. Percobaan kedua dimasukkan asam miristat sebanyak 0.3 mL ke dalam gelas *beaker* sebagai bahan aktif dari membran yang akan berinteraksi langsung dengan sampel.
6. Sedangkan untuk percobaan ketiga, keempat, dan kelima dilakukan perbandingan massa pada asam laurat dan asam miristat sebesar masing-masing 1:1, 1:2, dan 2:1 sebagai bahan aktif dari membran yang akan berinteraksi langsung dengan sampel.
7. Pada masing-masing percobaan ditambahkan *Plasticizer*: Bis (2-*ethylhexyl*) *phthalate* sebanyak 6.5 mL, dan bahan pada gelas beaker 1

sebanyak 3.2 mL, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1.5 jam dengan kecepatan 250 rpm dan suhu 100°C sampai homogen.

8. Membran kemudian disimpan dalam botol sampel.
9. Lapisan membran siap untuk digunakan pada sensor QCM dan siap untuk dianalisis gugus fungsinya menggunakan FTIR.

3.4.2 Diagram Alir Pembuatan Membran



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Lapisan Membran

3.4.3 Pengujian Sensitivitas dan Frekuensi Perdetik Terhadap Bakteri *E.coli* Menggunakan Sensor QCM

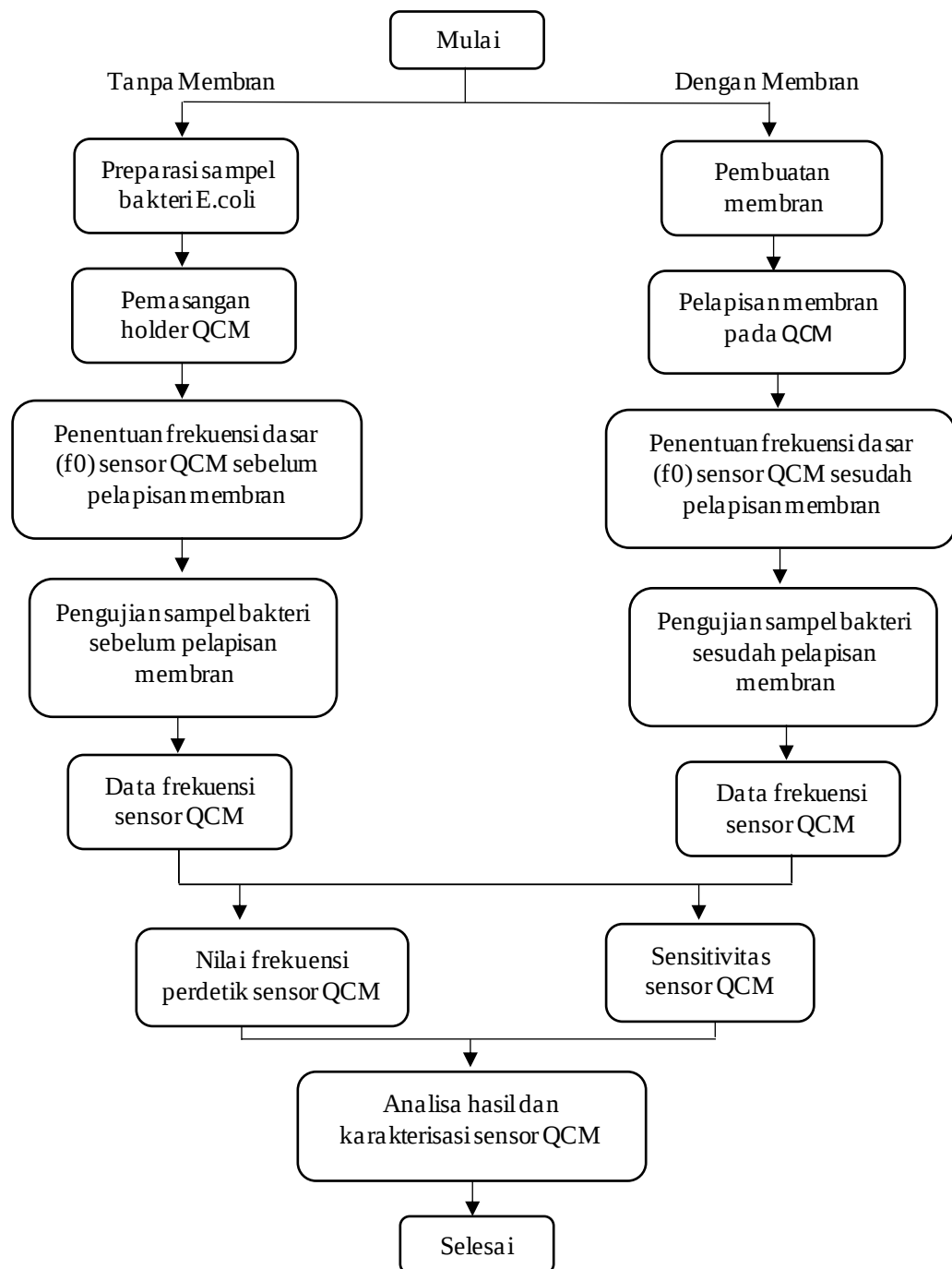
1. Pelapisan Membran pada Sensor QCM

- a) Dilakukan persiapan pelapisan membran pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM).
- b) Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) ditempatkan pada holder.
- c) *Air brush* disiapkan untuk digunakan sebagai tempat pelapisan
- d) Membran disiapkan untuk diletakkan pada *Air brush* sebanyak $\pm 2\text{mL}$.
- e) Diatur jarak sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan *Air brush* sejauh 5 cm.
- f) Membran disemprotkan pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) selama 1 menit dengan tekanan yang sudah ditentukan.
- g) Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) diambil dengan hati-hati menggunakan pinset.
- h) Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) yang dilapisi membran siap digunakan.

2. Persiapan Pengambilan Data

- a) Disiapkan sampel bakteri *E.coli* dengan 5 kali pengenceran.
- b) Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dihubungkan dengan rangkaian yang sudah disiapkan seperti openQCM dan *personal computer*.

3.4.4 Diagram Alir Pengujian pada Sensor QCM



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian pada Sensor QCM

3.4.5 Karakterisasi dan Pengujian Lapisan Membran

1. Membran diuji menggunakan alat FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan senyawa yang terbentuk pada membran.
2. Membran diuji sensitivitas dan frekuensi perdetiknya terhadap sampel bakteri *E.coli* menggunakan sensor QCM.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

3.5.1 Tahap Pengambilan Data Frekuensi Dasar (f_0)

1. Dipasang sensor QCM elektroda emas tanpa lapisan membran pada holder QCM.
2. Dihubungkan rangkaian QCM dengan PC menggunakan kabel.
3. Dijalankan *software* openQCM dan diberi tegangan listrik pada rangkaian sensor sehingga sensor mampu berisolasi.
4. Ditunggu sampai frekuensi stabil.
5. Direkam data selama 5 menit sampai frekuensi osilasi sensor dalam keadaan *steady state*.
6. Dilakukan pengulangan percobaan selama 5 kali.
7. Diulang pengambilan data pada urutan 1-6 dengan sensor QCM yang telah dilapisi membran.
8. Disimpan data frekuensi yang telah didapatkan dari *software* openQCM ke dalam *Microsoft Excel*.
9. Dilakukan rata-rata dan dianalisis data sehingga didapatkan nilai frekuensi dasar (f_0) yang akan dicantumkan seperti pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Rencana Pengambilan Data Frekuensi Dasar

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

3.5.2 Tahap Pengambilan Data Bakteri *E.coli* pada Sensor Elektroda Emas

Murni

1. Sensor QCM elektroda emas murni dipasangkan pada holder QCM dan ditutup rapat.
2. Diletakkan holder pada openQCM.
3. Dihubungkan rangkaian openQCM dengan PC menggunakan kabel.
4. Sampel Bakteri *E.coli* dengan variasi pengenceran diujikan pada sensor QCM.
5. Dijalankan dan ditunggu *software* openQCM selama 5 menit.
6. Data frekuensi yang sudah diperoleh, disimpan.
7. Percobaan dilakukan dengan 5 kali pengulangan.
8. Setelah percobaan selesai, *software* openQCM dimatikan.
9. Seluruh data yang didapatkan disimpan pada *Microsoft Excel* dengan format tabel 3.2

Tabel 3.2 Rencana Data Sampel Bakteri *E.coli* Sebelum Pelapisan Membran

Pengenceran Bakteri	Bakteri <i>E.coli</i> dengan Elektroda Emas Murni	
	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)

3.5.3 Tahap Pengambilan Data Bakteri *E.coli* Sesudah Pelapisan Membran pada Sensor QCM

1. Sensor QCM dengan elektroda emas yang sudah dilapisi membran dipasang pada holder QCM dan ditutup rapat, kemudian diletakkan pada openQCM.
2. Rangkaian openQCM dihubungkan dengan PC melalui kabel penghubung.
3. Sampel bakteri *E.coli* dengan 5 kali pengenceran diujikan pada setiap variasi membran.
4. Dijalankan *software* openQCM sampai stabil.
5. Data frekuensi yang diperoleh selama 5 menit disimpan.
6. Percobaan dilakukan dengan 5 kali pengulangan.
7. *Software* openQCM dimatikan setelah semua pengujian selesai dilakukan.
8. Seluruh data yang didapatkan kemudian disimpan dalam *Microsoft Excel* dengan format tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Rencana Data Sampel Bakteri *E.coli* Sesudah Pelapisan Membran

Pengenceran Bakteri	Bakteri <i>E.coli</i>	
	Waktu (s)	Frekuensi (MHz)
Membran A/B/C/D/E		

3.5.4 Tahap Pengolahan Data

1. Frekuensi dasar (f_0) ditentukan melalui sensor QCM dengan melakukan percobaan minimal lima kali pengulangan, sehingga akan diperoleh frekuensi dasar dalam keadaan *steady state*.
2. Data hasil pengujian sampel antara variabel waktu dan perubahan frekuensi osilasi di plot dengan tujuan untuk mengetahui nilai frekuensi perdetik sensor QCM.
3. Data hasil pengujian sampel antara variable pengenceran bakteri dan perubahan frekuensi osilasi di plot dengan tujuan untuk mengetahui reaksi sensor QCM saat mendeteksi bakteri.
4. Dilakukan analisis hasil berupa karakterisasi dan sensitivitas sensor QCM.

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui eksperimen sampling menggunakan set peralatan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan menggunakan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Analisis karakteristik gugus fungsi dari membran dengan bahan dasar asam laurat dan asam miristat menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil pengujian berupa data transmitan, lalu diplotkan ke dalam grafik dan ditandai bagian lembah untuk dicocokkan dengan data *sheet* sehingga dapat diketahui gugus fungsi dari setiap sampel. Sedangkan data yang diperoleh dari pengujian sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) berupa data frekuensi dan waktu yang akan diplot pada grafik dan menghasilkan data nilai frekuensi perdetik dan sensitivitas sensor.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen yang menggunakan asam laurat dan asam miristat sebagai bahan aktif untuk pembuatan membran. Penelitian dimulai pada bulan September 2020 sampai Maret 2021. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Termodinamika dan Laboratorium Kimia Dasar Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Analisis nilai frekuensi perdetik (waktu respon) dan sensitivitas membran pada sensor QCM terhadap respon bakteri *E.coli* dilakukan di Laboratorium Termodinamika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

4.1.1 Pembuatan Lapisan Membran

Pembuatan lapisan membran dilakukan menggunakan variasi bahan aktif yakni asam laurat dan asam miristat dengan menggunakan *Plasticizer: Bis (2-ethylhexyl) phthalate* sebagai pemlastis lapisan membran (melenturkan membran), *Polyvinyl Chloride* (PVC) memadatkan, mengeraskan dan memperkuat membran, serta *Tetrahydrofuran* (THF) sebagai pelarut. Pembuatan lapisan membran dimulai dengan mencampurkan *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Tetrahydrofuran* (THF) dengan perbandingan 1:10 menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, kecepatan 250 rpm, dan suhu 100°C hingga homogen. Kemudian, sebanyak 3.2 mL sampel tersebut ditambahkan *Plasticizer: Bis(2-ethylhexyl) phthalate* 6.5 mL dan bahan aktif dengan variasi

percobaan pertama asam laurat 0.3 mL, percobaan kedua asam miristat 0.3 mL, percobaan selanjutnya dengan perbandingan bahan aktif sebesar 1:1, 1:2, serta 2:1. Lalu, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1.5 jam dengan kecepatan 250 rpm dan suhu 100°C. Setelah didapatkan lapisan membran, lalu disimpan dalam botol tertutup agar tidak terkontaminasi dengan bahan lainnya. Lapisan membran siap digunakan pada sensor QCM.

Pelapisan membran pada sensor QCM dilakukan dengan menggunakan metode *Airbrush* yang sudah ditentukan tekanan, jarak, serta waktu yang digunakan untuk melapiskan membran tersebut. Jarak yang digunakan *Airbrush* untuk melapiskan membran pada sensor QCM sejauh 5 cm dengan waktu semprot selama 1 menit dan tekanan yang sudah ditentukan sebelumnya. Membran yang digunakan untuk pelapisan disiapkan sebesar ± 2 mL diletakkan di tempat yang sudah disediakan pada *airbrush*. Sensor QCM ditempatkan pada holder lalu diberikan jarak yang sudah ditentukan.

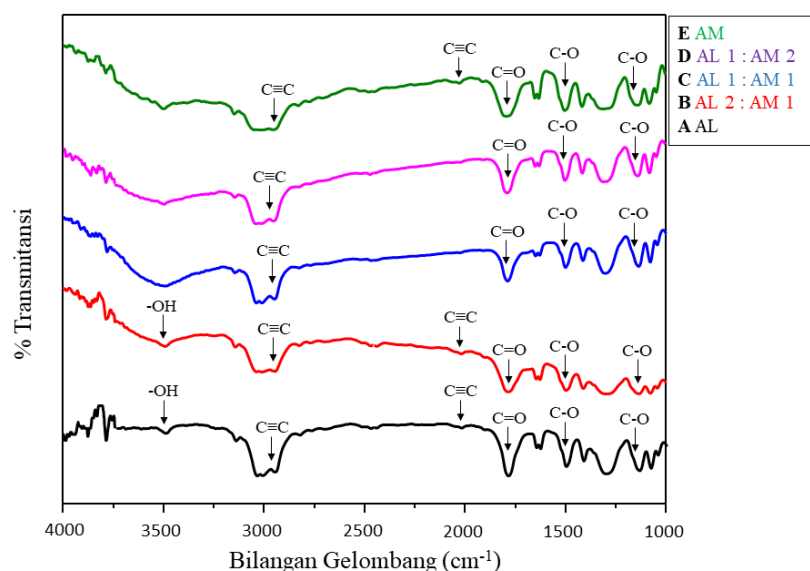
Pengujian sensor QCM terhadap Bakteri *E.coli* terdapat beberapa variasi yakni: sebelum dan sesudah sensor QCM dilapisi oleh membran. Metode pengujian sensor QCM sebelum pelapisan membran dilakukan dengan hanya menggunakan variasi konsentrasi bakteri *E.coli* yang langsung ditempatkan pada sensor QCM. Lalu, diambil data hasil percobaan melalui *software* OpenQCM. Sedangkan, pada metode kedua: sensor QCM terlebih dahulu dilapisi membran yang sudah divariasikan bahan aktifnya. Lalu, ditempatkan bakteri *E.coli* dengan dengan 5 kali pengenceran diatas lapisan membran. Setelah itu, sensor QCM diuji dan diambil datanya menggunakan *software* OpenQCM. Setelah didapatkan data pengujian sensor sebelum dan sesudah

pelapisan membran. Lalu data dianalisis melalui *Microsoft Excel* menggunakan grafik sehingga akan diperoleh data frekuensi setiap detik terhadap bakteri *E.coli* menggunakan sensor QCM. Pengujian selanjutnya adalah menggunakan set peralatan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik gugus fungsi dari membran. Hasil pengujian berupa data transmitan, lalu diplotkan ke dalam grafik dan ditandai bagian lembah untuk dicocokkan dengan data *sheet* sehingga dapat diketahui gugus fungsi dari setiap sampel.

4.1.2 Analisis Gugus Fungsi Menggunakan Spektrum Transmisi pada

FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Analisis menggunakan Spektrum Transmisi dilakukan untuk mengetahui komponen kimia yang terdapat di dalam membran. Data yang didapatkan berupa nilai persentase (%) transmitansi dan bilangan gelombang. Dari data tersebut kemudian dianalisis menggunakan data standar, sehingga akan didapatkan grafik seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Spektrum Transmisi pada Membran

Pada gambar 4.16 menunjukkan spektrum transmisi, pada spektrum tersebut terdapat 5 perbedaan yang teridentifikasi. Dari gambar 4.1 kemudian dianalisis menggunakan data standart yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pembacaan Spektrum Transmisi Asam Laurat dan Asam Miristat

Bilangan gelombang (cm^{-1})					Gugus fungsi
AL	AL AM 2:1	AL AM 1:1	AL AM 1:2	AM	
3437,7	3437,7	-	-	-	-OH (<i>stretching</i>)
2959,7	2958,4	-	-	-	C-H ₂ (<i>stretching</i>)
2865,4	2863,1	2869,6	2865,1	2869,2	C≡C (<i>stretching</i>)
1944,75	1945,2	-	-	1947,5	C=C (<i>stretching</i>)
1729,15	1728,9	1730,2	1729,12	1730,45	C=O
1275,7	1272,6	1279,6	1284,6	1286,97	C-O (<i>stretching</i>) ester
1125,1	1124,4	1125,2	1125,4	1126,04	C-O alkoksi

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa membran asam laurat (AL) menunjukkan adanya vibrasi gugus -OH, C≡C, C=C, dan C-O yang terdapat pada bilangan gelombang 1125,1 – 3437,7 cm^{-1} . Sedangkan pada membran asam miristat juga memiliki gugus fungsi yang sama dengan bilangan gelombang 1124,4 – 3437,7 cm^{-1} . Pada membran dengan perbandingan asam laurat dan asam miristat 1:1 ; 1:2 ; 2:1 terdapat gugus fungsi yang sama, hanya saja memiliki puncak yang lebih landai daripada asam laurat. Pada membran asam laurat asam miristat, dan membran dengan perbandingan memiliki gugus fungsi -OH yang menunjukkan bahwa sampel mengandung gugus hidroksil. Gugus hidroksil merupakan gugus fungsional -OH yang dapat digunakan sebagai substuen di sebuah senyawa organik. Molekul yang mengandung gugus hidroksil dikenal dengan sebutan alkohol (Hart, 2003). Hal tersebut diperkuat

dengan adanya gugus C-O alkoksi pada bilangan gelombang disekitar 1125 cm^{-1} yang juga menunjukkan adanya alkohol. Seluruh membran memiliki gugus fungsi C=O ester yang menunjukkan bahwa membran tersebut mengandung gugus karboksil yang dapat berikatan dengan bakteri *E.coli*. Hal tersebut menunjukkan bahwa seluruh membran dapat digunakan sebagai lapisan pada sensor QCM.

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

Data hasil yang diperoleh dari pengujian sensor QCM menggunakan elektroda emas akan mengalami perubahan frekuensi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sampel bakteri *E.coli* yang sudah diberi perlakuan 5 kali pengenceran. Sebelum dilakukan pengujian sensor QCM menggunakan sampel, dilakukan pengujian frekuensi dasar (f_0) terlebih dahulu dengan data yang diperoleh pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM Tanpa Membran

Percobaan ke-	Frekuensi (Hz)	Frekuensi Rata-rata (Hz)
1	16000000	14700377.3
2	15999824.35	
3	15253313.24	
4	10248751.5	
5	15999997.4	

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Frekuensi Dasar Sensor QCM dengan Membran

Membran	Frekuensi (Hz)				
AL	15999957.62	15998141.64	15999965.86	15999963.73	15986513.51
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15996908.47	
AL 2 : AM 1	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	
AL 1 : AM 1	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	
AL 1 : AM 2	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	
AM	15999998.79	15999998.4	15996403.36	15999010.5	15999896.11
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999061.43	

Frekuensi dasar yang didapatkan pada tabel 4.1 dan 4.2 digunakan sebagai kontrol. Pengukuran frekuensi dasar pada sensor QCM dilakukan sebelum pengujian pada sampel. Jika hasil yang didapat berbeda dengan frekuensi dasar pada pengujian pertama, maka akan dilakukan pengujian ulang dan pembersihan menggunakan aquades yang dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Hal ini bertujuan agar ketika dilakukan pengujian pada sampel, sudah tidak terdapat sisa-sisa membran lain (sebelumnya) yang menempel pada sensor QCM. Sehingga, hasil yang didapatkan pada percobaan bisa benar-benar akurat.

Tabel 4.4 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Elektroda Emas Murni

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	10001790.74	10001820.04	10001827.26	10001832.87	10004004.51
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			10002255.08	
2	10061394.29	10055271.16	10053375.69	10077563.58	10053878.68
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			10060296.68	
3	10029166.33	10037638.08	10032991.47	10035488.36	10035448.06
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			10034146.46	
4	10042609.43	10069370.04	10064628.61	10049350.76	10055201.57
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			10056232.08	
5	10027434.5	10048490.92	10065036.92	10089807.89	10090729.53
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			10064299.95	

Tabel 4.5 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Membran Asam Laurat

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	15999947.11	15999926.71	15994145.63	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15998803.89	
2	15999999.19	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999999.84	
3	15999609.07	15999964.69	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999914.75	
4	16000000	15999998.77	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999999.75	
5	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	

Tabel 4.6 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Membran Asam Miristat

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	15999284.53	15999844.63	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999825.83	
2	15982167.99	15985125.17	15990209.56	15997125.39	15998755.45
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15990676.71	
3	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	
4	15999932.18	15999921.91	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999970.82	
5	15999973	15999995.89	15999998.73	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999993.52	

Tabel 4.7 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:1)

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	15999855.39	15999832.02	15999733.45	15999908.54	15999901.66
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999846.21	
2	15999915.68	15999961.9	15999999.94	15999999.55	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999975.41	
3	15999880.57	15999764.73	15999883.98	15999796.81	15999705.9
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999806.4	
4	15999993.09	15999992.75	15999972.05	15999998.84	15999979.33
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999987.21	
5	15999947.42	15999923.16	15999896.64	15999852	15666893.03
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15933302.45	

Tabel 4.8 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:2)

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	15995113.11	15984687.71	15992149.85	15999979.6	15999990.16
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15994384.09	
2	16000000	16000000	16000000	16000000	15999990.05
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999998.01	
3	15999962.93	15999979.48	15999977.74	15999829.56	15999671.23
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999884.19	
4	15999809.28	15999913.37	15999939.02	15999963.3	15999985.02
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999922	
5	15999911.6	15999920.83	15999917.21	15999927.61	15999926.01
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999920.65	

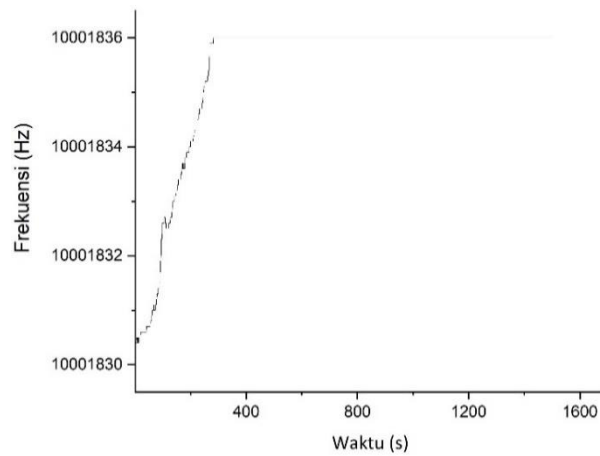
Tabel 4.9 Pengujian Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (2:1)

Pengenceran	Frekuensi (Hz)				
1	15999993.79	15999933.4	15999884.29	15999981.38	15999959.09
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999950.39	
2	15999999.9	15999999.97	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999999.97	
3	16000000	16000000	16000000	15999999.99	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	
4	1599999.99	15999999.99	16000000	16000000	15999999.8
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			15999999.96	
5	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
	Frekuensi Rata-Rata (Hz)			16000000	

Data hasil pengujian sampel menggunakan sensor QCM kemudian dianalisis karakteristik sensornya menggunakan Origin 2019b. Terdapat dua karakteristik sensor yang akan dianalisis yaitu waktu tanggap sensor (frekuensi perdetik), deteksi sensor, dan sensitivitas sensor.

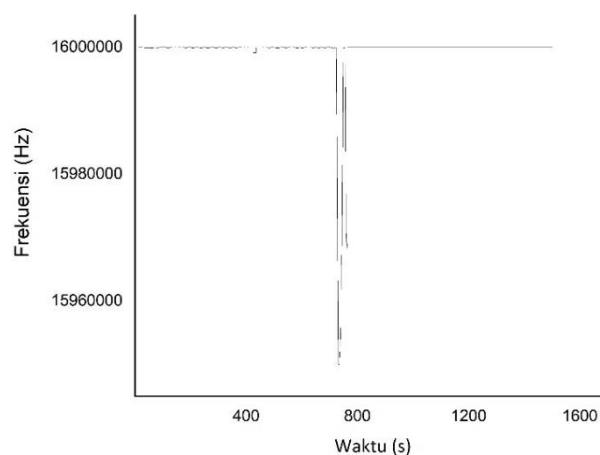
4.1.4 Analisis Nilai Frekuensi Perdetik pada Sensor QCM

Data yang diperoleh dari pengujian sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) berupa frekuensi dan waktu yang akan diplot pada grafik dan menghasilkan data frekuensi perdetik (waktu respon). Waktu respon merupakan waktu yang menunjukkan seberapa cepat sensor QCM menanggapi perubahan pada *input*. Sensor yang bagus adalah sensor yang memiliki waktu tanggap kecil. Semakin kecil waktu tanggap yang dimiliki sensor, semakin baik kualitas sensor tersebut. Nilai frekuensi perdetik (waktu respon) diambil dengan menggunakan dua variasi, yaitu pada sensor QCM sebelum dilapisi membran dan sesudah dilapisi membran. Nilai frekuensi perdetik (waktu respon) sensor QCM dengan elektroda emas ditunjukkan pada gambar 4.2.



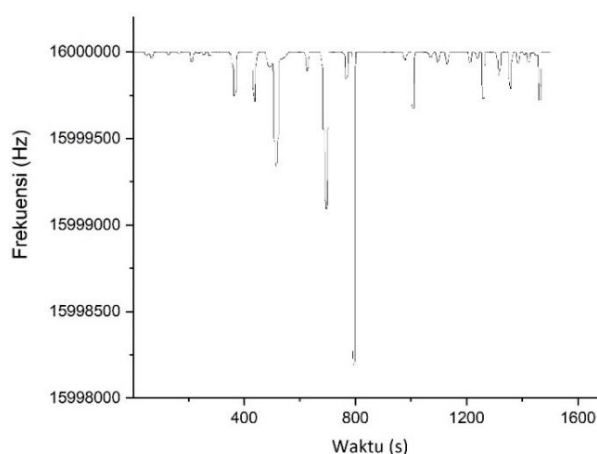
Gambar 4.2 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Elektroda Emas

Dari gambar 4.2 tersebut dapat diketahui bahwa nilai frekuensi perdetik (waktu respon) dengan sampel bakteri *E.coli* mengalami kenaikan setelah detik pertama dengan nilai frekuensi sebesar 10001830 Hz. Setelah itu nilai frekuensi sensor terus mengalami peningkatan hingga detik ke 269 sebesar 10001836 Hz dan pada detik selanjutnya nilai frekuensi sensor berada pada keadaan tunak (*steady state*) hingga detik ke 300.



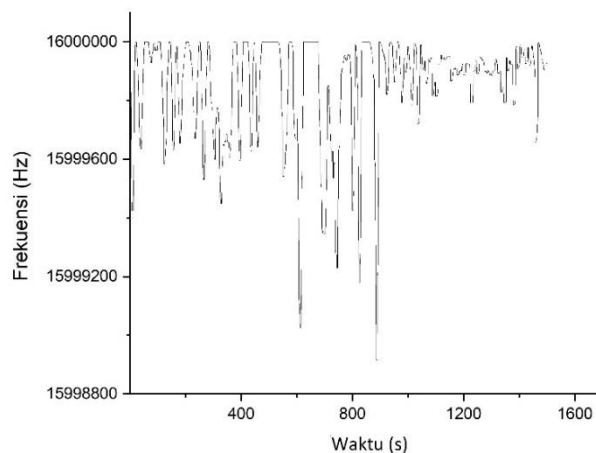
Gambar 4.3 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Pelapisan Membran Asam Laurat (AL)

Nilai frekuensi perdetik (waktu respon) pada sensor QCM elektroda emas murni terhadap Asam Laurat ditunjukkan pada gambar 4.3. Pada gambar 4.3 dapat diketahui bahwa sensor QCM mulai merespon bakteri *E.coli* pada detik ke-450 dengan nilai frekuensi 15999926.71 Hz sampai detik ke-700 dan terus mengalami kenaikan frekuensi sebesar 16000000 Hz sampai pada batas akhir pengujian.



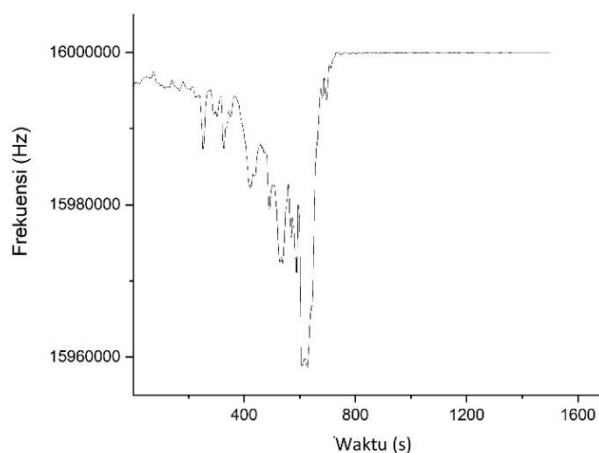
Gambar 4.4 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (2:1)

Data selanjutnya yakni data hasil pengujian nilai frekuensi perdetik terhadap bakteri *E.coli* dengan perbandingan bahan utama untuk pelapisan membran asam laurat dan asam miristat sebesar 2:1. Pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa sensor QCM mulai merespon bakteri *E.coli* dari detik pertama dan mengalami kenaikan serta penurunan nilai frekuensi sampai pada detik 1500. Pada detik tersebut sensor QCM mulai pada keadaan tunak (*steady state*) dengan nilai frekuensi sebesar 15999959.09 Hz sampai detik terakhir pengujian.



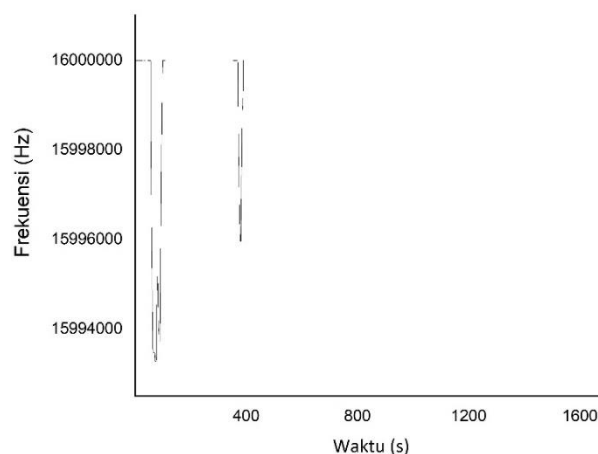
Gambar 4.5 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (1:1)

Nilai frekuensi perdetik (waktu respon) pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada detik ke 5 sensor mulai merespon bakteri *E.coli* dan terus mengalami kenaikan serta penurunan sampai pada detik terakhir pengujian. Sensor QCM dengan pelapisan membran ini tidak mengalami keadaan keadaantunak (*steady state*) sampai akhir pengujian.



Gambar 4.6 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Perbandingan Pelapisan Membran Asam Laurat : Asam Miristat (1:2)

Nilai frekuensi perdetik (waktu respon) sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dengan perbandingan bahan utama untuk pelapisan membran asam laurat : asam miristat (1:2) terjadi pada detik pertama dengan nilai frekuensi yang dihasilkan sebesar 15995113.11 Hz dan terus mengalami perubahan nilai frekuensi sampai pada detik ke-1050. Lalu keadaan keadaan tunak dimulai hingga detik akhir pengujian sensor.



Gambar 4.7 Nilai Frekuensi Perdetik Bakteri *E.coli* dengan Pelapisan Membran Asam Miristat (AM)

Pada gambar 4.7 dapat diketahui bahwa sensor QCM merespon bakteri *E.coli* detik ke 50 dengan nilai frekuensi sebesar 15999926.71 Hz, dan terus mengalami perubahan frekuensi hingga detik ke 350, lalu mengalami penurunan sebesar 15994145.63 Hz. Dan meningkat lagi sebesar 16000000 Hz pada detik ke 400 sampai detik terakhir berada pada keadaan keadaan tunak.

Data enam pengujian nilai frekuensi perdetik (waktu respon) menunjukkan hasil waktu keadaan tunak yang berbeda-beda. Perbedaan yang terjadi dapat dipengaruhi oleh jenis sampel yang digunakan. Pemberian lapisan membran pada sensor QCM dinilai berpengaruh dan dapat menentukan tingkat

selektivitas sensor. Rincian data hasil penentuan nilai frekuensi perdetik (waktu respon) dapat ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Analisis Nilai Frekuensi Perdetik pada Sensor QCM

No.	Jenis Sampel dan Elektroda	Waktu respon	Waktu Keadaan tunak
1.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan elektroda emas	Detik pertama	Detik ke 269
2.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan membran asam laurat (AL)	Detik pertama	Detik ke 700
3.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan perbandingan membran AL:AM (2:1)	Detik pertama	Detik ke 1500
4.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan perbandingan membran AL:AM (1:1)	Detik pertama	-
5.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan perbandingan membran AL:AM (1:2)	Detik pertama	Detik ke 1050
6.	Bakteri <i>E.coli</i> dengan membran asam miristat (AM)	Detik pertama	Detik ke 400

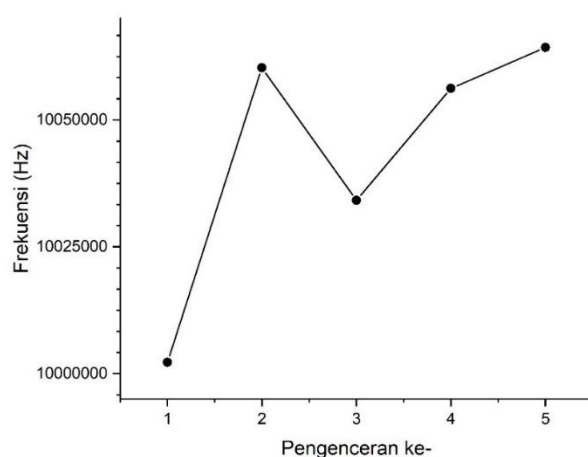
Berdasarkan tabel 4.10 hasil pengujian nilai frekuensi perdetik (waktu respon) diatas dapat diketahui bahwa sensor QCM mulai merespon dengan cepat dan mengalami keadaan keadaan tunak pada gambar 4.7. Keadaan tunak (*steady state*) merupakan keadaan dimana berbagai pengaruh dalam gesekan mencapai sebuah keseimbangan (Blau, 1989). Ketika sensor QCM diberikan membran Asam Miristat pada detik ke-400 sensor berada pada keadaan tunak sampai pada batas akhir. Sedangkan pada data lain, sensor mengalami respon cepat, akan tetapi belum berada pada keadaan tunak dan terus mengalami kenaikan nilai frekuensi sampai pada detik akhir pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa nilai respon sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dengan pelapisan membran asam miristat pelapisan membran pada elektroda sensor berpengaruh pada tingkat kecepatan sensor dalam merespon sampel bakteri *E.coli*. Sensor QCM dengan

lapisan membran asam miristat lebih cepat merepon sampel bakteri *E.coli* daripada membran lain. Akan tetapi hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa respon yang paling baik terdapat pada sensor QCM elektroda emas murni.

4.1.5 Analisis Deteksi dan Sensitivitas Sensor QCM

Pengujian sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dilakukan dengan mengencekan bakteri *E.coli* sampai dengan 5 kali pengenceran. Semakin banyak pengenceran dilakukan pada bakteri *E.coli*, maka tingkat kepekatan (jumlah koloni) semakin kecil, sehingga bisa mempengaruhi nilai frekuensi sensor QCM. Untuk menentukan nilai deteksi sensor QCM menggunakan grafik hubungan antara konsentrasi dan frekuensi sensor yang sudah didapatkan dari data hasil pengujian.

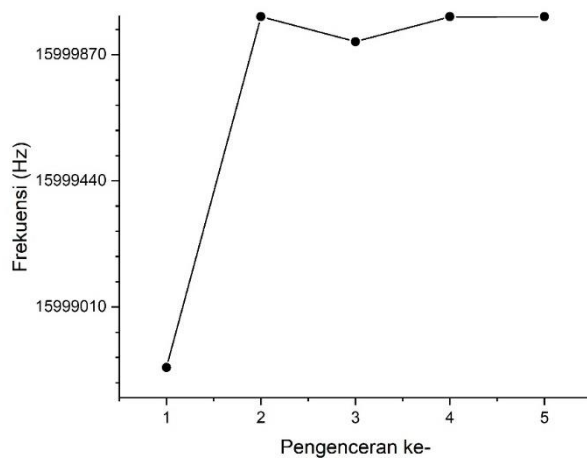
Pengujian sampel yang pertama yaitu bakteri *E.coli* pada sensor QCM dengan elektroda emas murni. Data hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap Sensor QCM Emas Murni

Gambar 4.8 menunjukkan nilai frekuensi sensor QCM mengalami kenaikan pada pengenceran pertama, setelah itu terjadi penurunan nilai frekuensi dan kenaikan lagi sampai pada pengenceran kelima. Kenaikan secara signifikan mulai terjadi pada pengenceran ketiga dengan nilai frekuensi sebesar 10034146.46 Hz. Konsentrasi sampel selanjutnya yaitu pada pengenceran keempat sampai kelima telah merespon sampel bakteri *e.coli* dengan baik ditunjukkan dengan terjadinya kenaikan konsentrasi secara signifikan. Gambar 4.8 menunjukkan daerah kerja sensor terjadi pada pengenceran ketiga sampai kelima.

Pengujian selanjutnya bakteri *e.coli* pada sensor QCM dengan menggunakan membran asam laurat. Data hasil percobaan ditunjukkan oleh gambar 4.9 dengan menggunakan plot grafik sumbu x dan y. Konsentrasi bakteri *E.coli* sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y.

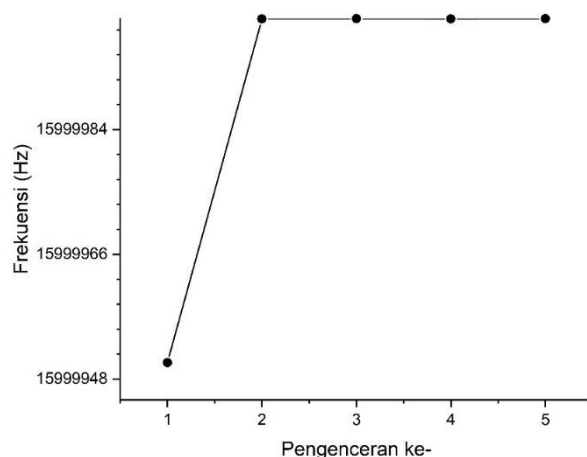


Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat

Pada gambar 4.9 menunjukkan nilai frekuensi sensor QCM meningkat pada pengenceran pertama dan mengalami penurunan pada pengenceran kedua.

Setelah itu, pada pengenceran ketiga sampai kelima nilai frekuensi sensor QCM mengalami peningkatan yang signifikan.

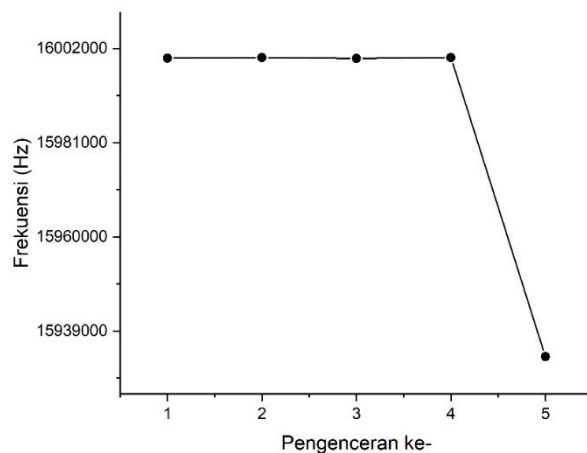
Percobaan ketiga bakteri *E.coli* pada sensor QCM dengan perbandingan membran asam laurat dan asam miristat 2:1 pada gambar 4.10 dengan nilai konsentrasi sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y.



Gambar 4.10 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 2 : Asam Miristat 1

Pada percobaan ketiga nilai frekuensi sensor QCM pada pengenceran pertama meningkat secara signifikan sampai pada pengenceran terakhir. Akan tetapi, pada pengenceran pertama dan kedua memiliki jarak yang cukup jauh dibandingkan dengan yang lainnya.

Pengujian keempat bakteri *E.coli* pada sensor QCM dengan menggunakan membran asam laurat 1 : asam miristat 1 pada gambar 4.11 dengan nilai konsentrasi sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y.

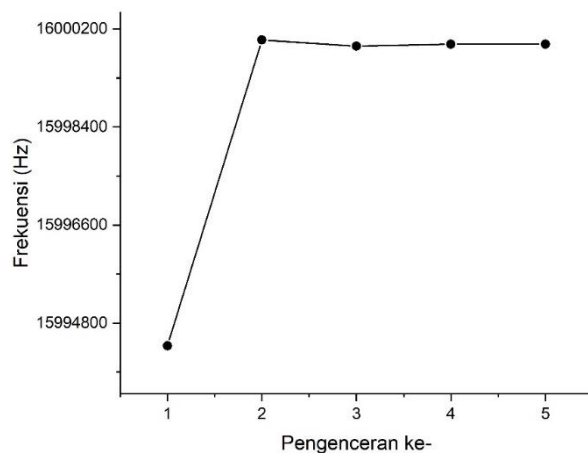


Gambar 4.11 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 1 : Asam Miristat 1

Pengujian keempat menggunakan lapisan membran asam laurat dan asam miristat dengan perbandingan 1:1. Pada pengujian ini nilai frekuensi sensor QCM dengan pengenceran pertama terus mengalami penurunan sampai pada pengenceran kelima.

Pada pengujian kelima bakteri *E.coli* pada sensor QCM dengan menggunakan perbandingan asam laurat dan asam miristat sebesar 1:2 ditunjukkan pada gambar 4.12 dengan nilai konsentrasi sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y.

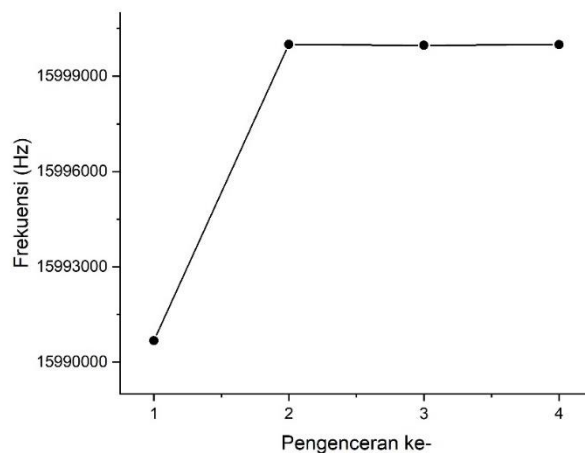
Pada pengujian kelima diketahui bahwa nilai frekuensi sensor QCM pada pengenceran pertama meningkat dan terus mengalami perubahan frekuensi yang tidak signifikan sampai pada pengenceran terakhir.



Gambar 4.12 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat 1 : Asam Miristat 2

Pengujian yang terakhir bakteri *E.coli* pada sensor QCM dengan menggunakan membran asam miristat yang ditunjukkan pada gambar 4.13 dengan konsentrasi sebagai sumbu x dan nilai frekuensi sebagai sumbu y.

Pengujian terakhir menunjukkan bahwa nilai frekuensi sensor QCM dengan pengenceran pertama pada bakteri *E.coli* mengalami penurunan dan kenaikan lagi pada pengenceran kedua. Pada konsentrasi tersebut bisa ditentukan sebagai daerah mati sensor (*dead band*). Pada pengenceran bakteri *E.coli* ketiga sampai kelima nilai frekuensi sensor QCM mulai mengalami kenaikan yang signifikan. Hal ini bisa diartikan bahwa membran asam miristat bekerja dengan baik karena sudah memiliki nilai yang signifikan.



Gambar 4.13 Pengaruh Konsentrasi Bakteri *E.coli* terhadap Sensor QCM dengan Membran Asam Miristat

Sensitivitas merupakan kepekaan suatu sensor ketika menanggapi suatu sampel. Sensitivitas sensor QCM dapat dilakukan dengan menganalisis daerah kerja yang diperoleh dari hasil deteksi limit sensor. Analisis regresi adalah salah satu dari teknik statistika yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas. Pada analisis regresi variabel dibedakan menjadi dua bagian yaitu variabel bebas (independent) dan variabel terikat (dependent). Secara umum analisis regresi linier dibagi menjadi dua yaitu analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier berganda (Pramudjono, 2010).

Dalam analisis regresi juga terdapat regresi linier dan regresi non-linier. Pada regresi nonlinier terdapat salah satu metode yaitu regresi eksponensial. Regresi eksponensial terbagi menjadi dua yaitu model eksponensial sederhana dan model eksponensial berganda. Model eksponensial berganda merupakan pengembangan dari model regresi eskponensial dimana pada model regresi

eksponensial berganda terdapat dua atau lebih variabel bebas (X) terhadap satu variabel terikat (Y) (Nawari, 2010).

Regresi eksponensial adalah regresi non-linier yang variabel terikatnya berdistribusi eksponensial, lalu dalam scatter plot terbentuk garis seperti eksponensial dan merupakan pengembangan dari regresi linier dengan memanfaatkan fungsi logaritmik. Model regresi eksponensial mempunyai peranan penting dalam beberapa bidang statistic dan telah banyak digunakan pada beberapa penelitian yaitu penelitian data survival, penelitian tentang ketahanan benda-benda produksi, dan penelitian pada bidang kedokteran. Bila sekelompok data tampaknya paling baik disajikan melalui kurva regresi yang tak linier, maka kita harus mencoba menentukan kurva dan menduga parameternya (Damanhuri, 1995). Secara umum model eksponensial dirumuskan (Sudjana, 2003):

$$Y_i = \beta_0 e^{\beta_1 X_i} \cdot \varepsilon_i \quad (4.1)$$

Dimana:

Y	= variabel terikat untuk observasi ke-i
X	= variabel bebas
B	= parameter model regresi
e	= 2,71828
ε_i	= residual

Menurut Atmaja (2009), berdasarkan persamaan regresi eksponensial ini dapat disimpulkan bahwa jika tanpa adanya pengaruh dari variabel bebas maka tidak dapat diperkirakan untuk variabel terikatnya, dan jika adanya pengaruh dari variabel bebas maka dapat diperkirakan nilai kenaikan atau penambahannya secara eksponensial. *R square* adalah nilai yang menunjukkan

seberapa besar pengaruh variabel independen (eksogen) terhadap variabel dependen (endogen). *R square* adalah angka dalam interval 0 sampai 1. Pengelompokan nilai *R square* ada tiga kelas yaitu kelas kuat, kelas sedang, dan kelas lemah. *R square* dengan nilai 0,75 keatas termasuk kategori kuat, 0,50 termasuk kategori sedang, dan nilai *R square* 0,25 termasuk kategori lemah (Hair. *et al*, 2011). Syarat dari *R squared* ketika mendekati angka 1 maka nilainya semakin baik. Jika *R square* adalah 0,6 berarti 60% distribusi variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen. Sisanya 40% tidak dijelaskan oleh variabel bebas atau dapat dijelaskan oleh variabel di luar variabel bebas (komponen error) (Ghozali, 2016).

Sensitivitas pada penelitian ini diambil dari daerah kerja sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dari setiap pengujian baik menggunakan elektroda emas murni maupun dengan pelapisan membran. Berikut ini adalah penjelasan dari sensitivitas sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM).

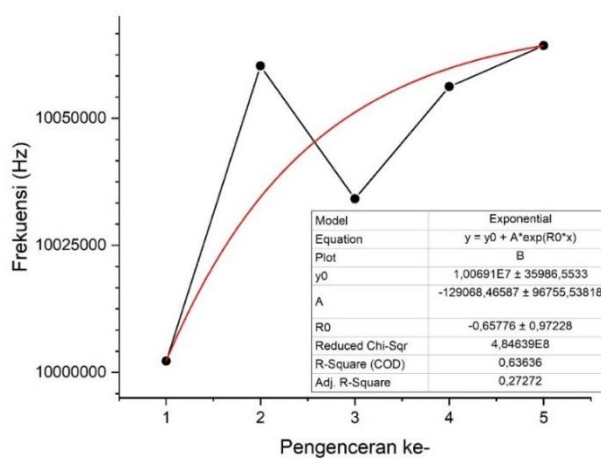
a. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Elektroda Emas

Pengujian deteksi limit pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) dengan menggunakan elektroda emas murni memiliki daerah kerja pada pengenceran pertama sampai terakhir. Daerah kerja tersebut kemudian diplot dan diregresi eksponen menggunakan aplikasi *origin 2019b*. Adapun hasil pengujian sensitivitas sensor QCM dengan elektroda emas murni ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Elektroda Emas Murni

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y0	1,00691E7 ± 35986,5533
A	-129068,46587 ± 96755,53818
R0	-0,65776 ± 0,97228
Reduced Chi-Sqr	4,84639E8
R-square (COD)	0,63636
Adj. R-Square	0,27272

Adapun gambar grafik pengujian sensitivitas sensor QCM dengan elektroda emas murni terhadap bakteri *E.coli*.



Gambar 4.14 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Elektroda Emas Murni

Berdasarkan pengujian sensitivitas sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) terhadap sampel bakteri *E.coli* dengan elektroda emas murni didapatkan hasil regresi eksponensial yaitu $y = 1.00619E7 -$

$129068.46587 \cdot \exp(-0.65776x)$ dan nilai determinan $R^2 = 0.63636$. Sehingga nilai kebenaran data yang didapat adalah sebesar 63.64%.

b. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Membran Asam Laurat

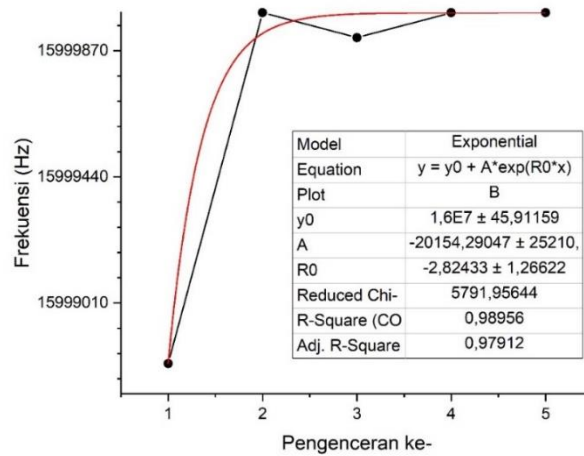
Hasil pengujian sensitivitas sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* menggunakan pelapisan membran asam laurat ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Membran Asam Laurat

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y_0	$1.6E7 \pm 45,91159$
A	$-20154,29047 \pm 25210$
R_0	$-2,82433 \pm 1,26622$
Reduced Chi-Sqr	5791,95644
R-Square (COD)	0,98956
Adj. R-Square	0,97912

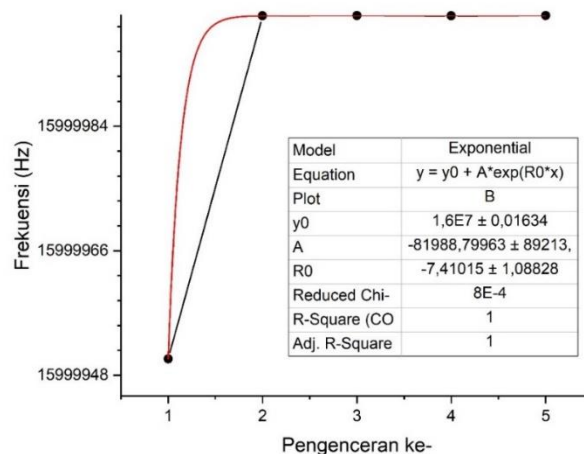
Adapun gambar grafik pengujian sensitivitas sensor QCM ditunjukkan pada gambar 4.15 dengan hubungan antara frekuensi resonansi dan konsentrasi.

Data hasil regresi eksponensial menunjukkan nilai $y = 1.6E7 - 20154.29047 \cdot \exp(-2.82433x)$. Dari hasil persamaan tersebut, nilai koefisien determinan (R^2) sebesar 0.98956. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa nilai pengaruh pengujian bakteri *E.coli* terhadap sensor QCM sebesar 99%.



Gambar 4.15 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Pelapisan Membran Asam Laurat

c. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (2:1)



Gambar 4.16 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 2:1

Berdasarkan grafik pengujian regresi eksponensial diatas didapatkan persamaan $y = 1.6E7 - 81988.79963 \cdot \exp(-7.41015x)$. Sehingga nilai koefisien determinan (R^2) dari sensor QCM atau pengaruh pengujian sensor

QCM terhadap bakteri *E.coli* sebesar 1 atau 100%. Berikut data yang diperoleh dari pengujian sensitivitas sensor QCM.

Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 2:1

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y_0	$1.6E7 \pm 0,01634$
A	$-81988,79963 \pm 89213$
R_0	$-7,41015 \pm 1,08828$
Reduced Chi-Sqr	8E-4
R-Square (COD)	1
Adj. R-Square	1

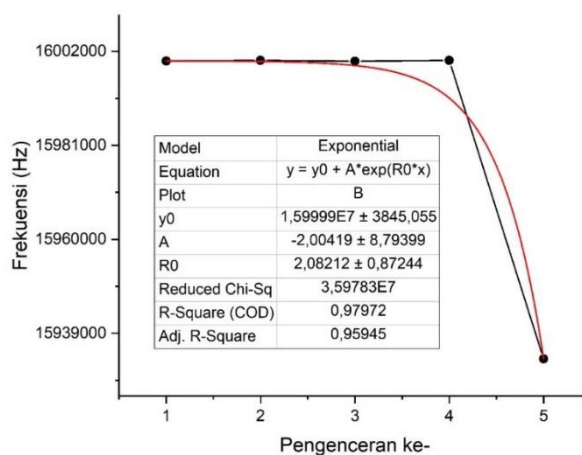
d. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:1)

Hasil pengujian sensitivitas sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* menggunakan perbandingan lapisan membran asam laurat dan asam miristat 1:1 ditunjukkan pada tabel 4.14.

Berdasarkan tabel 4.14 tersebut didapatkan persamaan regresi eksponensial $y = 1.59999E7 - 2.00419 \cdot \exp(2.08212x)$. Dari persamaan tersebut didapatkan nilai koefisien determinasi (pengaruh pengujian) sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dengan perbandingan lapisan membran asam laurat dan asam miristat 1:1 sebesar 0.97972 atau 97.97%. Adapun grafik dari sensitivitas sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dengan perbandingan lapisan membran asam laurat dan asam laurat 1:1 ditunjukkan pada gambar 4.17.

Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 1:1

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y_0	$1.59999E7 \pm 3845,055$
A	$-2,00419 \pm 8,79399$
R_0	$2,08212 \pm 0,87244$
Reduced Chi-Sqr	3,59783E7
R-Square (COD)	0,97972
Adj. R-Square	0,95945



Gambar 4.17 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 1:1

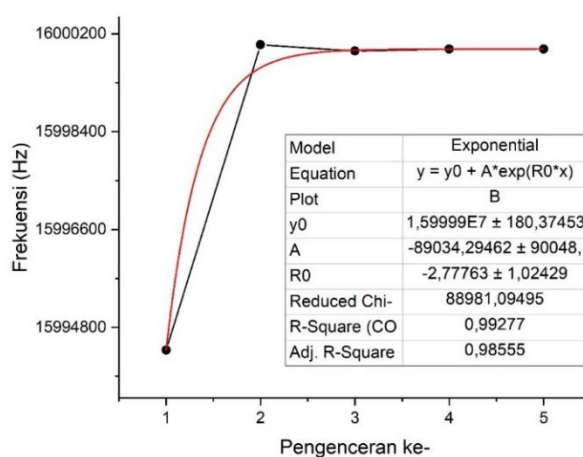
e. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Perbandingan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat (1:2)

Hasil pengujian sensitivitas sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* menggunakan perbandingan lapisan membran asam laurat dan asam miristat

1:2 ditampilkan pada tabel 4.15 dan gambar 4.18 dengan hasil persamaan regresi eksponensial $y = 1.59999E7 - 89034.29462 \cdot \exp(-2.77763x)$. Sehingga nilai koefisien determinan (R^2) sebesar 0.9883 atau 98.8% yang artinya pengaruh pengujian sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* sebesar 98.8%. Adapun hasil dari pengujian sensitivitas ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Membran Asam Laurat dan Asam Miristat 1:2

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y0	$1,59999E7 \pm 180,37453$
A	$-89034,29462 \pm 90048$
R0	$-2,77763 \pm 1,02429$
Reduced Chi-Sqr	88981,09495
R-Square (COD)	0,99277
Adj. R-Square	0,98555



Gambar 4.18 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Perbandingan Lapisan Asam Laurat dan Asam Miristat 1:2

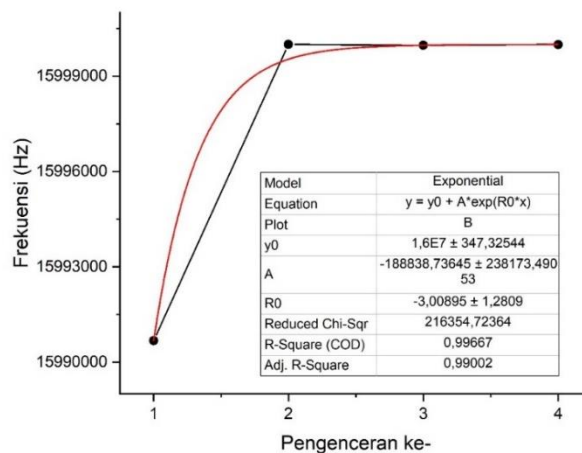
f. Pengujian Sensor QCM dengan Bakteri *E.coli* Menggunakan Membran Asam Miristat

Hasil pengujian sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* menggunakan lapisan membran asam miristat ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor QCM dengan Lapisan Membran Asam Miristat

Parameter	Keterangan
Model	Exponential
Equation	$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 \cdot x)$
Plot	B
y_0	$1.6E7 \pm 347,32544$
A	$-188838,73645 \pm 238173,5$
R_0	$-3,00895 \pm 1,2809$
Reduced Chi-Sqr	216354,72364
R-Square (COD)	0,99667
Adj. R-Square	0,99002

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa persamaan regresi eksponensial yang didapatkan memiliki nilai $y = 1.6E7 - 1.88838.73645 \cdot \exp(-3.00895x)$. Sehingga nilai koefisien determinan sensor QCM terhadap bakteri *E.coli* dengan perbandingan membran asam laurat dan asam miristat 2:1 yang didapatkan sebesar (R^2) sebesar 0.99333 atau 99.3%. Adapun grafiknya seperti pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Regresi Eksponensial Pengujian Sensor QCM dengan Lapisan Membran Asam Miristat

4.2 Pembahasan

Bahan utama pembuatan membran biosensor ini adalah asam laurat dan asam miristat. Kedua bahan ini dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan membran karena memiliki sifat antibodi yang nantinya akan mengidentifikasi antigen yang diberikan pada sampel. Kedua bahan utama ini juga memiliki struktur lipid bilayer (lipid ganda) yang mampu berinteraksi dengan biomolekul.

Pada penelitian ini menggunakan lima variasi membran yaitu: Asam laurat (AL), Asam Laurat 2 : Asam Miristat 1 (AL 2 : AM 1), Asam Laurat 1 : Asam Miristat 1 (AL 1 : AM 1), Asam Laurat 1 : Asam Miristat 2 (AL 1 : AM 2), dan Asam Miristat (AM). Membran tersebut kemudian diuji menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terkandung di dalamnya. Setelah diketahui gugus fungsi dari membran tersebut, kemudian dilakukan pengujian terhadap respon bakteri *e.coli* dengan menggunakan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM).

Gugus fungsi yang dicari pada membran ini merupakan gugus fungsi yang mengandung gugus karboksilat ($\text{C}=\text{O}$) yang memiliki bilangan gelombang sekitar $1720 - 1740 \text{ cm}^{-1}$ (Silverstein, 2005). Fungsi gugus tersebut pada membran ini adalah untuk berinteraksi dengan bakteri *E.coli* yang dijadikan sampel pada penelitian kali ini. Semakin banyak kandungan gugus karboksil dari suatu membran, maka semakin baik berinteraksi dengan bakteri *E.coli*.

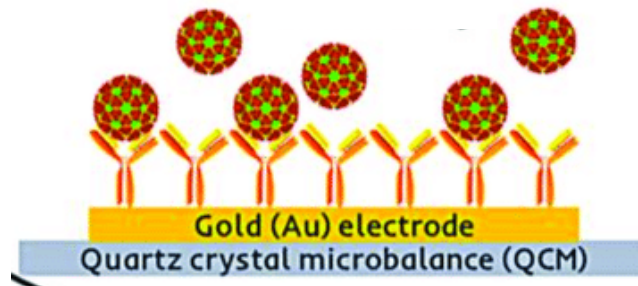
Analisis gugus fungsi menggunakan FTIR kali ini, nilai bilangan gelombang yang muncul pada membran asam laurat adalah sebesar $1125,1 - 3437,7 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa asam laurat memiliki beberapa gugus fungsi diantaranya $-\text{OH}$, $\text{C}-\text{H}_2$ stretching, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{O}$ ester, dan $\text{C}-\text{O}$ alkoksi. Pernyataan ini sejalan dengan Muhammad, dkk (2021) bahwa terdapat gugus OH , $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{O}$ pada asam laurat. Gugus karboksilat ($\text{C}=\text{O}$) yang terdapat pada asam laurat menunjukkan puncak yang sangat curam. Hal ini berarti bahwa kandungan gugus karboksil pada asam laurat lebih banyak dibandingkan pada membran lainnya. Seperti halnya pada membran asam miristat yang memiliki gugus karboksil dengan bilangan gelombang $1730,45 \text{ cm}^{-1}$ dan menunjukkan grafik yang paling landai diantara membran yang lain. Pada membran asam miristat memiliki gugus fungsi $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{O}$ ester, $\text{C}-\text{O}$ alkoksi. Hal ini sesuai dengan penelitian Trivedi, dkk (2015) yang menunjukkan bahwa asam miristat memiliki gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ yang terdapat pada bilangan gelombang sekitar 1702 cm^{-1} . Sedangkan pada perbandingan membran asam laurat dan asam miristat memiliki gugus fungsi yang sama dengan asam laurat yang nilai bilangan gelombangnya dari $1124,4 \text{ cm}^{-1} - 3437,7 \text{ cm}^{-1}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa bahan asam laurat sangat berpengaruh pada membran ini. Pada membran yang memiliki perbandingan 1:1 ;

1:2 ; serta membran asam miristat tidak memiliki gugus fungsi C-H₂ yang bilangan gelombangnya sekitar 2958 cm⁻¹. Jika dilihat dari grafik puncak pada bilangan gelombang tersebut semakin landai ketika sudah berada pada membran asam miristat. Sehingga dapat berarti bahwa penambahan asam miristat pada membran menyebabkan hilangnya gugus C-H₂ stretching dengan bilangan gelombang 2959,7 cm⁻¹ dan 2958,4 cm⁻¹ (Jiang et. al, 2018) yang terdapat pada membran asam laurat dan perbandingan asam laurat 2 : asam miristat 1 yang tidak terdapat pada membran lain.

Sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) merupakan suatu komponen yang mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik. Terdapat beberapa hal untuk memilih sensor yang baik. Sensor yang baik harus memiliki karakteristik yang dipenuhi diantaranya nilai frekuensi perdetik (waktu respon), deteksi limit, sensitivitas dan linieritas sensor. Pada penelitian ini digunakan sampel bakteri *E.coli* dengan variasi konsentrasi (koloni), kemudian sampel diujikan dengan dua variasi sensor yaitu dengan menggunakan elektroda emas murni dan menggunakan lapisan membran asam laurat dan asam miristat. Data yang didapatkan kemudian diolah menggunakan aplikasi *Origin 2019b* untuk diketahui nilai frekuensi perdetik (waktu respon), deteksi sensor, dan sensitivitas sensornya.

Pelapisan membran diatas permukaan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) menggunakan metode *Airbrush* dengan mengatur jarak sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) sejauh 5 cm. Membran disemprotkan pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) selama 2 menit dengan tekanan yang sudah ditentukan.

Pelapisan membran pada sensor QCM akan menambah sensitivitas sensor terhadap sampel bakteri *e.coli*. Membran yang mengandung antibodi (asam laurat dan asam miristat) akan menangkap antigen (sampel bakteri *e.coli*) yang sudah disiapkan dengan variasi koloni. Seperti yang diilustrasikan gambar 4.20.



Gambar 4.20 Ilustrasi Interaksi Membran Biosensor pada Bakteri *E.coli* (Afzal, 2017)

Hasil untuk karakterisasi yang pertama yaitu pada nilai frekuensi perdetik (waktu respon). Pada data yang telah diolah didapatkan hasil nilai frekuensi perdetik (waktu respon) pada sensor QCM menggunakan sampel bakteri *E.coli* dengan elektroda emas murni dan sampel bakteri *E.coli* dengan menggunakan lapisan membran. Hasil pengujian nilai frekuensi perdetik (waktu respon) menunjukkan bahwa dari seluruh pengujian hasil respon yang baik ditunjukkan ketika sensor QCM belum dilapisi membran apapun (dengan elektroda emas murni). Sedangkan nilai frekuensi perdetik (waktu respon) yang baik adalah setelah sensor QCM dilapisi membran asam miristat yang menunjukkan respon cepat pada detik pertama dengan keadaan tunak pada detik ke-400 pengujian. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena kandungan gugus karboksil pada asam miristat yang dapat berinteraksi dengan bakteri *E.coli* lebih baik dibandingkan dengan lapisan yang lain. Nilai keadaan tunak pada sensor QCM yang dilapisi

membran maupun yang tidak, memperlihatkan angka yang berbeda. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan membran yang dipakai.

Deteksi limit didapatkan melalui daerah kerja sensor dimana daerah kerja sensor merupakan daerah setelah daerah mati (*dead band*) sampai sebelum daerah saturasi sensor. Jika sensor berada pada daerah mati dan daerah saturasi maka sensor tersebut tidak dapat mendeteksi suatu sampel. Pada penelitian ini menggunakan sensor QCM yang mengubah perubahan massa menjadi frekuensi. Sehingga, dapat diketahui bahwa ketika berada pada daerah mati dan daerah saturasi, sensor tidak dapat mendeteksi perubahan massa yang terjadi pada QCM.

Hasil limit bawah sensor QCM ditentukan melalui perbedaan nilai frekuensi pada setiap konsentrasi. Nilai limit bawah sensor QCM dengan perbandingan lapisan membran asam laurat dan asam miristat 1:1 yang memiliki nilai terendah dibandingkan dengan nilai limit bawah pada membran yang lain. Nilai sensitivitas didapatkan dari daerah kerja sensor QCM. Sensitivitas sensor QCM memiliki nilai yang berbeda-beda. Sensitivitas yang memiliki nilai tinggi terdapat pada sensor QCM dengan perbandingan pelapisan membran asam laurat dan asam miristat sebesar 2:1 dengan hasil pengaruh pengujian sebesar 100%. Hal ini kemungkinan besar dikarenakan adanya kandungan gugus karboksil yang baik di dalam membran asam laurat dibandingkan dengan membran yang lain, serta adanya perbandingan yang tepat antara kedua membran. Sehingga sensitivitas yang dihasilkan oleh perbandingan membran ini juga lebih baik.

Membran asam laurat dan asam miristat yang dijadikan lapisan membran harus memiliki struktur lipid bilayer (lipid ganda), yang memiliki bagian kepala bersifat hidrofilik dan hidrofobik, serta ujung polar pada gugus karboksil. Hal

tersebut digunakan membran untuk berinteraksi dengan bakteri *E.coli*. Gugus fungsi -OH yang ditemukan pada sampel disebabkan oleh adanya gugus fungsi hidroksil permukaan dan air yang diserap secara kimiawi. Asimetri pita pada bilangan gelombang yang lebih rendah menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang kuat (Biniak *et. Al*, 1997). Sedangkan pada bilangan gelombang 1800 cm^{-1} – 1650 cm^{-1} spektrum transmisi menunjukkan bahwa seluruh membran mengandung gugus fungsi C=O ester yang dapat diartikan bahwa setiap sampel memiliki gugus fungsi karboksil. Gugus karboksil yang terbentuk menyebabkan permukaan membran mengandung elektron-elektron bebas sehingga ketika dilapiskan pada sensor QCM membran akan membentuk ikatan koordinasi antara membran dan sampel. Pada pengujian kali ini nilai gugus fungsi karboksil yang baik ditunjukkan oleh membran asam laurat, karena adanya sensitivitas yang baik yang ditunjukkan membran tersebut terhadap sampel bakteri *E.coli* dibandingkan dengan membran yang lain. Sedangkan untuk hasil pada nilai frekuensi perdetik (waktu respon) yang paling baik ditunjukkan oleh asam miristat. Hal tersebut kemungkinan dapat terjadi karena asam miristat memiliki hidrofobisitas paling tinggi dan merupakan asam lemak jenuh yang paling kuat sehingga mudah untuk berinteraksi dengan sampel bakteri *E.coli*. Disisi lain, berdasarkan penelitian Murhadi (2009) yang bertujuan untuk mengetahui aktivitas anti mikroba pada asam lemak dan esternya, asam miristat terbukti memiliki aktivitas anti bakteri. Pemanfaatan asam miristat sebagai bahan utama untuk pembuatan membran merupakan salah satu perwujudan nyata bahwa di dunia terdapat unsur-unsur kimia yang diciptakan oleh Allah SWT, sebagaimana firman Allah dalam surat Al- Anbiya' ayat 30.

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ

Terjemahan:

“Dan apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwasannya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah sutau yang padu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya. Dan dari air Kami jadikan segala sesuatu yang hidup. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman?”. (Qs. Al-Anbiya’ : 30)

Terdapat kurang lebih 118 unsur yang telah ditemukan di alam dan telah teridentifikasi, 98 diantaranya terjadi secara alami melalui peristiwa-peristiwa alam, mulai dari peristiwa dentuman besar (*big bang*) sesuai dengan ayat diatas bahwa cahaya-cahaya kosmik (*cosmic rays*), bintang-bintang berukuran kecil, bintang-bintang berukuran besar, supernova atau ledakan bintang, dan Non-alamiah atau buatan manusia (Muslim, 2017).

Selain itu, asam miristat dan asam laurat merupakan jenis asam lemak jenuh. Lipida (asam lemak) didefinisikan sebagai senyawa organik yang terdapat dalam alam serta tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik non-polar. Dalam makhluk hidup, lipida yang paling banyak adalah lemak/minyak atau triasil gliserol (trigliserida) yang merupakan bahan bakar bagi hampir semua makhluk hidup. Hal tersebut sesuai dengan firman Allah dalam surat Al-Mu'minin ayat 20:

وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِنْ طُورِ سَيْنَاءَ تَنْبُتُ بِالذُّهْنِ وَالصَّبْغِ لِلْأَكْلِينَ

Terjemahan:

“Dan pohon kayu keluar dari Thursina (pohon zaitun), yang menghasilkan minyak, dan pemakan makanan bagi orang-orang yang makan.” (Qs. Al-Mu'minin (23):20).

Berdasarkan ayat di atas dapat dikatakan bahwa Allah menciptakan tumbuh-tumbuhan yang dapat menghasilkan minyak, dan dari minyak tersebut dapat dikembangkan menjadi asam miristat dan asam laurat. Asam tersebut dapat

digunakan sebagai bahan utama pembuatan membran yang akan dilapiskan pada sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis spektra FTIR pada asam laurat menunjukkan gugus fungsi diantaranya -OH , C-H_2 stretching, $\text{C}\equiv\text{C}$, C=O , C-O ester, dan C-O alkoksi. Sedangkan pada membran asam laurat terdapat gugus fungsi yang sama, akan tetapi tidak terdapat gugus fungsi -OH dan C-H_2 . Pada membran asam laurat dan asam miristat yang memiliki perbandingan 1:1 ; 1:2 ; serta membran asam miristat tidak memiliki gugus fungsi C-H_2 yang panjang gelombangnya sekitar 2958 cm^{-1} .
2. Hasil pengujian analisis frekuensi perdetik (waktu respon) menunjukkan bahwa dari seluruh pengujian hasil respon yang baik ditunjukkan ketika sensor QCM belum dilapisi membran apapun (dengan elektroda emas murni). Sedangkan nilai yang baik adalah setelah sensor QCM dilapisi membran asam miristat yang menunjukkan respon cepat pada detik pertama dengan keadaan tunak pada detik ke-400 pengujian.
3. Nilai sensitivitas tertinggi terdapat pada sensor QCM dengan perbandingan pelapisan membran asam laurat dan asam miristat sebesar 2:1 dengan hasil pengaruh pengujian sebesar 100%. Sedangkan pengujian sensitivitas terendah ketika sensor QCM tidak dilapisi apapun atau hanya menggunakan elektroda emas murni dengan pengaruh pengujian sebesar 63,63%. Urutan kedua sensitivitas sensor QCM tertinggi ketika dilapisi membran asam miristat. Urutan setelahnya adalah ketika sensor QCM dilapisi membran asam laurat, lalu perbandingan asam laurat dan asam miristat sebesar 1:2,

dan 1:1 dengan nilai pengaruh pengujian berturut-turut sebesar 99,3%, 98,9%, 97,9%.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi konsentrasi/koloni bakteri *e.coli* sebagai bahan uji, serta perlu dikembangkan dengan menggunakan bahan dasar pelapisan membran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Adyana, Dyah; Daniel dan Chairul Saleh. 2017. *Sintesis Askorbil Laurat dari Metil Laurat dan Asam Askorbat Melalui Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Lipase Serta Uji Aktivitas Antioksidan*. 14 (2). 71-76.
- Afzal, Adeel, dkk. 2017. *Gravimetric Viral Diagnostics: QCM Based Biosensored for Early Detection of Viruses*. Chemosensors. 5 (7). doi: 10.3390.
- Agustina, S. 2006. *Penggunaan Teknologi Membran pada Pengolahan Air Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jurnal Penelitian Riset Teknologi Lingkungan Kementrian Perindustrian RI, 1.
- Al-Qur'an dan terjemahannya. 2008. Departemen Agama RI. Bandung: Diponegoro.
- Arlita, Yolanda, dkk. 2014. *Identifikasi Bakteri Escherichia Coli dan Salmonella SP. Pada Makanan Jajanan Bakso Tusuk di Kota Manado*. 2(1) pp.1-6.
- Assiba'I, Musthafa Husni. 1993. *Kehidupan Sosial Menurut Islam, Tuntunan Hidup Bermasyarakat*. Bandung: Diponegoro.
- Atmaja, S. Lukas. 2009. *Statistik untuk Bisnis dan Ekonomi*. Yogyakarta: ANDI.
- Atsaurry, dkk. 2016. *Pembuatan Alat Spin Coater Berkecepatan Sudut Tinggi Berbasis Arduino Uno*. Prosiding Seminar Nasional Fisika. 5. 137-142.
- Barkah, Awaliatul. 2011. *Studi Reaksi Esterifikasi Antara Asam Lemak Hasil Hidrolisis Minyak Kelapa dengan Sukrosa Menggunakan Lipase Candida Rugosa EC 3.1.1.3* (skripsi). Jakarta: Universitas Indonesia.
- 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. 1160-1154. Doi: 10.1016/j.snb.2016.09.097.
- Biniak, S. et al. 1997. *The Characterization of Activated Carbons with Oxygen and Nitrogen Surface Groups*. Carbon. Vol 35, No. 12, pp. 1799-1810, 1997.
- Blau. 1989. *Friction and Wear Transitions of Materials*. Noyes: Park Ridge.NJ.
- BPOM RI. 2008. *Pengujian Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: Info POM. 9(2) pp. 1 - 9.
- Cahyono, E. 2010. *Isolasi Asam Miristat dari Biji Pala (Myristica fragrans)*. Gorontalo: UNG Press.
- Callister, W.D. 2004. *Material Science and Engineering an Introduction, sixth edition*. New York: Jhon Wiley and Son INC.

- Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering*. USA: United State of America.
- 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.
- Carl, L.Y. 2009. *Transport Properties of Chemicals and Hydrocarbons*. William Andrew Inc. New York p. 177. ISBN 978-0-81552039-9.
- 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.
- Caygill, R.L., Blair, G.E. and Miller, P.A. 2010. A Review on Viral Biosensor to Detect Human Pathogens. *Anal. Chim. Acta*. 681. 8-15.
- Choirul, dkk. 2007. *Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA UNDIP: Jurnal Pdf.
- Clark M. 2005. *E.coli*. (diunduh 27 September 2020). Tersedia dari: URL: HYPERLINK <http://www.cdc.gov/nczved/divisiond/dfbmd/diseases/ecolio157h7/>
- Damanhuri, E. 1995. *Statistika*. Bandung: FTSP-ITB.
- Dufour, A.P. 1984. *Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters*. Cincinnati, Ohio, U.S. Enviromental Protection Agency. EPA-600/1-84-004, 33p.
- Escherich, T. 1885. *Die Darmbakterien des Neugeborenen und Sauglings*. Fortschr. Med. 3: 515-522; 547-554.
- Fatimah, Annisa. 2010. *Studi Pengembangan Immunosensor Nanopartikel Emas (Interaksi Nanopartikel dengna Protein)* (skripsi). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Fraden, J. 2010. *Handbook of Modern Sensor: Physics, Design and Applications* (4th ed.). New York: Springer.
- Fuada, Ismatul. 2018. *Karakterisasi Sensor QCM dengan Pelapisan Bahan Aktif Methyltrioctyl Ammonium Chloride terhadap Respon Gelatin Babi dan Gelatin Sapi* (skripsi). Malang: UIN Malang.
- Fulgione *et al.* 2018. QCM-based immunosensor rapid detection of *Salmonella Typhimurium* in food. *Scientific Reports*. 8 (16137). 1-8.

- Ghozali, I. 2016. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23 Edisi 8*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Guilbault, G.G., Pravda, M., Kreuzer, M. 2004. *Biosensors-42 Years and Counting*. Anal. Lett. 37. 14481 -14496.
- Hair, Jr., Joseph F., et al. 2011. *Multivariate Data Analysis Fifth Edition*. New Jersey: PrenticeHall, Inc.
- Hart, Harold. 2003. *Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga.
- Hartanto, Edyy Sapto dan Rhoito Frista Silitonga. 2018. *Ekstraksi Asam Miristat asal Biji Pala (Myristica Fragrans Houtt) dan Limbah Industri Olahannya*. Warta IHP. 35 (1). 38-45.
- Hudaya, Tedi; Liana; Soerawidjaja, Tatang Hemas. 2012. A study on Low Temperature and Pressure Hydrogenation of Cyclopropenoid-Group Containing Non-Edible Oil for Biodiesel Feedstock. *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application [ICSEEA 2012]*. Energy Procedia.
- Jiang, Jingyu et al. 2019. *Molecular Structure Characterization of Middle-High Rank Coal Via XRD, Raman and FTIR Spectroscopy: Implications for Coalification*. Fuel 239 (2019) 559 – 572.
- Johnston LM, Jaycus LA, Martinez MC, Anciso J, Mora B, Moe CL and Moli D. 2005. *A Field Study of The Microbiological Quality of Fresh Produce*. J. of Food Protection. Sep; 68(9):1840-7.
- Kapelle, IBD., Maarif, SM., Arkeman Y. 2014. *Inovasi Produk Sabun Herbal Transparan Menggunakan Metode Microwave dari Limbah Pala*. Jurnal Teknik Industri. Bogor(ID) Hlm. 1411-6340.
- Khenzie. 2013. *Polivinil Klorida* (<http://D:/khenzie%20%20Polivinil%20klorida.htm>).
- Lelieveld HLM, Moster MA, Holal J and White B. 2000. *Hygiene in Food Processing*. Cambridge: Woodhead Publ and CRC Press.
- Lestari, Diah Eka. 2014. *Prarancangan Pabrik Asam Lemak dari Minyak Kelapa Sawit Kapasitas 65.000 Ton/Tahun* (skripsi). Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Ma'ruf. 2020. *Teknik Airbrush dalam Berkarya Seni Lukis Pada Komunitas Airbrush Makassar (KAM)* (skripsi). Makassar: Universitas Muhammadiyah.
- Mamuaja, Christine F. 2017. *LIPIDA*. Manado: Unsrat Press.

- Meng J and Schroeder CM. 2007. *Escherichia Coli In: Simjee S. (ed) Foodborne disease*. Totowa: Humana Press. Pp. 1-25.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherland: Kluwer Academic Publisher.
- Muhamad, Al Jalali., Muhammad Anas., Ratna., dan Darnia Sari. 2021. *Isolasi dan Karakterisasi Asam Laurat dari Minyak Kelapa Sebagai Aplikasi Sel Surya Berbasis Cristal Cair*. 3(1).
- Murhadi, 2009. *SENYAWA DAN AKTIVITAS ANTIMIKROBA GOLONGAN ASAM LEMAK DAN ESTERNYA DARI TANAMAN*. Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian. 14 (1). 97-105.
- Nawari. 2010. *Analisis Regresi dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Novatech. 2016. OpenQCM. Retrived September 20, 2017, from <http://openqcm.com/openQCM/>.
- Nurramdaniyah, dkk. 2017. *Studi Struktur Mikro Lapisan Asam Stearat di atas Permukaan Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM)*. Natural B. 4 (2). 106-109.
- Pramudjono. 2010. *Statistika Dasar*. Samarinda: Purry Kencana Mandiri.
- Pudjiaji, A. 1990. *Dasar-dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.
- Purwanto, R., dan Prajitno, G. 2013. *Variasi Kecepatan Putar dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk Pembuatan dan Karakterisasi Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Manggis (Garcinia Mangostana) sebagai Dye Sensitizer*. Jurnal Sains dan Seni Pomits. 2 (1). 1-7.
- Rahayu, I. 2009. *Pengaruh Variasi Suhu Larutan Pintal Terhadap Karakteristik Membran Serat Berongga Polisulfon* (skripsi). Bandung: Universitas Padjajaran.
- Rouhillah., Muhammad, Rivai., Tri, Arief Sardjono. 2015. *Karakterisasi Frekuensi Harmonisa Sensor Quartz Crystal Microbalance Sebagai Identifikasi Gas*. Prosiding SENTIA. 7. 66-71.
- Rustami, E. 2008. *Sistem Kontrol Kecepatan Putar Spin Coating Berbasis Mikrokontroler ATmega8535* (Skripsi). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sa, S. et al. 2016. *Pembuatan Alat Spin Coater Berkecepatan Sudut Tinggi Berbasis Arduino Uno*. V (October), pp. 137-142. Doi: 10.21009/030520126.

- Saraoglu, H. M. Selvi, A. O. Ebeoglu M. A & Tasaltin, C. 2013. *Electronic Nose System Based on Quartz Crystal Microbalance Sensor for Blood Glucose and HbA1c Levels From Exhaled Breath Odor*. IEEE vol. 13. No 11. Pp 4229-4235.
- Sari, Diska Meylia. 2011. *Membran Pervaporasi Polistirena dengan Variasi Penambahan Konsentrasi Pluronic* (skripsi). Bogor: IPB.
- Sartika, RA. 2008. *Pengaruh Asupan Asam Lemak Trans terhadap Profil Lipid Darah* (Disertasi). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Shao P, Huang RYM. 2007. Polimeric membrane pervaporation. *J Memb Sci*. 278: 162-179.
- Sharma, P., dkk. 2014. Detection of Linalool in Black Tea Using a Quartz Crystal Microbalance Sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. Elsevier B. V., 190, pp. 318-325. Doi: 10.1016/j.snb.2013.08.088.
- Shihab, M Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- Silverstein, Robert M., Francis X. Webster., David J. Keimle., 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. USA: John Wiley&Son.
- Singh, R., Mukherjee, M.D., Sumana, G., Gupta, R.K., Sood, A. and Malhotra, B.D. 2014. Biosensors for Pathogen Detection: A Smart Approach Towards Clinical Diagnosis. *Sens. And Act. B: Chem*. 197. 385-404.
- Sudjana, Prof. Dr. 2003. *Teknik Analisis Regresi dan Kolerasi*. Bandung: PT. Tarsito.
- Sulastri, S. 2010. *Pengukuran Sebaran Ketebalan Lapisan Tipis Hasil Spin Coating dengan Metode Inferometrik* (skripsi). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Suriawira, U. 2008. *Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*.
- Toko, K. 1998. Electronic Sensing of Tastes. *Electroanalysis*. 10 (10), pp. 657-669. Doi:10.1002/(SICI)1421-4109(199808)10:10<657::AID-ELAN657>3.0.CO;2-F.
- Trivedi, Mahendra Kumar., dkk. 2015. *Physical, Spectroscopic and Thermal Characterization of Biofield Treated Myristic Acid*. *Fundamentas of Renewable Energy and Applications*. 5 (5). 1-6.
- Tuminah, Sulistyowati. 2009. *EFEK ASAM LEMAK JENUH DAN ASAM LEMAK TAK JENUH "TRANS" TERHADAP KESEHATAN*. *Media Penelit dan Pengembang Kesehatan*. 19. 13-20.

- Tuminah, Sulistyowati. 2010. *Efek Perbedaan Sumber dan Struktur Kimia Asam Lemak Jenuh Terhadap Kesehatan*. Bul Penelit Kesehatan. 38 (1). 43-51.
- Wahab, A. W., & La Nafie, N. 2014. *Buku Ajar Metode Pemisahan dan Pengukuran 2: Elektrometri dan Spektrofotometri*. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Wahyuni, Farida., dkk. 2012. *Desain Konstruksi Sel untuk Immunosensor Berbasis Quartz Crystal Microbalance (QCM)*. Natural B. 1 (4). 305-311.
- Widiyarti, Galuh dan Hanafi, Muhammad. 2008. *Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Perbandingan Molaritas Reaktan Pada Sintesis Senyawa α -Monolaurin*. Reaktor. 12 (2). 90-97.
- Wiryosentono. 1998. *Preparasi Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang Terhadap Efisiensi Penyerapan Logam*. Yogyakarta: Jurnal UNY.
- Yadav, R., Dwivedi, S., Kumar, S. and Chaudhury. 2010. Trends and Perspective of Biosensors for Food and Environmental Virology. *Food Environ. Virol.* 2. 53-63.
- Yulindo, Yhopi. 2008. *Migrasi Dioktil Ftalat dan Etilen Glukol Ke Dalam Struktur Poliuretan Dengan Pemanjangan Rantai Diamina Aromatik Dan Pengaruhnya Terhadap Kinerja Material* (Tesis). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Zhu, C., J. Harel, M. Jacques, C. Desautels, M. S. Donnenberg, M. Beaudry, and J. M. Fairbrother. 1994. Virulence Properties and attaching-effacing activity of *E.coli* o45 associated from swine post weaning diarrhea. *Infection and Immunity* 63: 4153-4159.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Nilai Frekuensi Sensor QCM

a. Data Frekuensi Asam Laurat dan Bakteri E.coli

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	15999984	217	15999980	433	15999952	649	15999907	865	16000000	1081	16000000
2	15999974	218	15999990	434	15999952	650	15999907	866	16000000	1082	16000000
3	15999962	219	15999995	435	15999954	651	15999907	867	16000000	1083	16000000
4	15999946	220	15999996	436	15999955	652	15999916	868	16000000	1084	16000000
5	15999937	221	15999998	437	15999956	653	15999923	869	16000000	1085	16000000
6	15999937	222	15999998	438	15999956	654	15999933	870	16000000	1086	16000000
7	15999937	223	15999998	439	15999955	655	15999947	871	16000000	1087	16000000
8	15999938	224	15999998	440	15999954	656	15999963	872	16000000	1088	16000000
9	15999939	225	15999998	441	15999954	657	15999981	873	16000000	1089	16000000
10	15999942	226	15999997	442	15999953	658	15999994	874	16000000	1090	16000000
11	15999949	227	15999991	443	15999953	659	15999999	875	16000000	1091	16000000
12	15999960	228	15999987	444	15999953	660	15999999	876	16000000	1092	16000000
13	15999972	229	15999982	445	15999954	661	15999999	877	16000000	1093	16000000
14	15999986	230	15999969	446	15999955	662	15999996	878	16000000	1094	16000000
15	15999997	231	15999960	447	15999961	663	15999996	879	16000000	1095	16000000
16	15999997	232	15999950	448	15999972	664	15999990	880	16000000	1096	16000000
17	15999997	233	15999944	449	15999972	665	15999982	881	16000000	1097	16000000
18	15999997	234	15999935	450	15999972	666	15999971	882	16000000	1098	16000000
19	15999997	235	15999918	451	15999968	667	15999964	883	16000000	1099	16000000
20	15999996	236	15999898	452	15999950	668	15999948	884	16000000	1100	16000000
21	15999993	237	15999898	453	15999949	669	15999928	885	16000000	1101	16000000
22	15999990	238	15999898	454	15999948	670	15999920	886	16000000	1102	16000000
23	15999989	239	15999900	455	15999948	671	15999920	887	16000000	1103	16000000
24	15999985	240	15999911	456	15999948	672	15999920	888	16000000	1104	16000000
25	15999984	241	15999920	457	15999948	673	15999920	889	16000000	1105	16000000
26	15999976	242	15999929	458	15999949	674	15999925	890	16000000	1106	16000000
27	15999973	243	15999936	459	15999952	675	15999934	891	16000000	1107	16000000
28	15999963	244	15999946	460	15999964	676	15999944	892	16000000	1108	16000000
29	15999956	245	15999963	461	15999979	677	15999951	893	16000000	1109	16000000
30	15999953	246	15999984	462	15999995	678	15999967	894	16000000	1110	16000000
31	15999946	247	15999994	463	15999995	679	15999988	895	16000000	1111	16000000
32	15999942	248	15999997	464	15999995	680	15999996	896	16000000	1112	16000000
33	15999936	249	15999997	465	15999989	681	15999998	897	16000000	1113	16000000
34	15999934	250	15999997	466	15999978	682	15999998	898	16000000	1114	16000000
35	15999930	251	15999994	467	15999963	683	15999998	899	16000000	1115	16000000
36	15999929	252	15999992	468	15999945	684	15999998	900	16000000	1116	16000000
37	15999926	253	15999987	469	15999930	685	15999996	901	16000000	1117	16000000
38	15999925	254	15999980	470	15999927	686	15999996	902	16000000	1118	16000000
39	15999922	255	15999968	471	15999927	687	15999994	903	16000000	1119	16000000

40	15999917	256	15999957	472	15999927	688	15999993	904	16000000	1120	16000000
41	15999914	257	15999946	473	15999929	689	15999992	905	16000000	1121	16000000
42	15999909	258	15999933	474	15999930	690	15999990	906	16000000	1122	16000000
43	15999905	259	15999917	475	15999936	691	15999987	907	16000000	1123	16000000
44	15999903	260	15999901	476	15999948	692	15999983	908	16000000	1124	16000000
45	15999902	261	15999887	477	15999962	693	15999974	909	16000000	1125	16000000
46	15999902	262	15999880	478	15999981	694	15999964	910	16000000	1126	16000000
47	15999902	263	15999880	479	15999994	695	15999958	911	16000000	1127	16000000
48	15999903	264	15999880	480	15999994	696	15999942	912	16000000	1128	16000000
49	15999904	265	15999892	481	15999994	697	15999927	913	16000000	1129	16000000
50	15999905	266	15999902	482	15999994	698	15999913	914	16000000	1130	16000000
51	15999906	267	15999913	483	15999993	699	15999893	915	16000000	1131	16000000
52	15999906	268	15999925	484	15999991	700	15999877	916	16000000	1132	16000000
53	15999906	269	15999942	485	15999989	701	15999860	917	16000000	1133	16000000
54	15999905	270	15999958	486	15999987	702	15999851	918	16000000	1134	16000000
55	15999904	271	15999976	487	15999982	703	15999851	919	16000000	1135	16000000
56	15999901	272	15999992	488	15999979	704	15999851	920	16000000	1136	16000000
57	15999901	273	15999997	489	15999971	705	15999856	921	16000000	1137	16000000
58	15999899	274	15999998	490	15999966	706	15999871	922	16000000	1138	16000000
59	15999898	275	15999998	491	15999963	707	15999887	923	16000000	1139	16000000
60	15999888	276	15999998	492	15999956	708	15999901	924	16000000	1140	16000000
61	15999887	277	15999998	493	15999948	709	15999921	925	16000000	1141	16000000
62	15999887	278	15999997	494	15999939	710	15999938	926	16000000	1142	16000000
63	15999879	279	15999997	495	15999932	711	15999938	927	16000000	1143	16000000
64	15999878	280	15999997	496	15999922	712	15999938	928	16000000	1144	16000000
65	15999870	281	15999995	497	15999912	713	15999986	929	16000000	1145	16000000
66	15999866	282	15999991	498	15999900	714	15999993	930	16000000	1146	16000000
67	15999859	283	15999987	499	15999895	715	15999996	931	16000000	1147	16000000
68	15999854	284	15999978	500	15999886	716	16000000	932	16000000	1148	16000000
69	15999853	285	15999968	501	15999873	717	16000000	933	16000000	1149	16000000
70	15999850	286	15999954	502	15999870	718	16000000	934	16000000	1150	16000000
71	15999849	287	15999942	503	15999870	719	16000000	935	16000000	1151	16000000
72	15999840	288	15999928	504	15999870	720	16000000	936	16000000	1152	16000000
73	15999838	289	15999914	505	15999876	721	16000000	937	16000000	1153	16000000
74	15999834	290	15999900	506	15999886	722	16000000	938	16000000	1154	16000000
75	15999834	291	15999898	507	15999900	723	16000000	939	16000000	1155	16000000
76	15999834	292	15999898	508	15999915	724	16000000	940	16000000	1156	16000000
77	15999835	293	15999898	509	15999928	725	16000000	941	16000000	1157	16000000
78	15999837	294	15999907	510	15999943	726	16000000	942	16000000	1158	16000000
79	15999844	295	15999917	511	15999960	727	16000000	943	16000000	1159	16000000
80	15999852	296	15999932	512	15999972	728	16000000	944	16000000	1160	16000000
81	15999861	297	15999944	513	15999986	729	16000000	945	16000000	1161	16000000
82	15999884	298	15999959	514	15999993	730	16000000	946	16000000	1162	16000000

83	15999902	299	15999973	515	15999993	731	16000000	947	16000000	1163	16000000
84	15999918	300	15999987	516	15999993	732	16000000	948	16000000	1164	16000000
85	15999932	301	15999998	517	15999994	733	16000000	949	16000000	1165	16000000
86	15999952	302	15999998	518	15999994	734	16000000	950	16000000	1166	16000000
87	15999963	303	15999998	519	15999994	735	16000000	951	16000000	1167	16000000
88	15999976	304	15999996	520	15999994	736	16000000	952	16000000	1168	16000000
89	15999983	305	15999996	521	15999994	737	16000000	953	16000000	1169	16000000
90	15999990	306	15999994	522	15999993	738	16000000	954	16000000	1170	16000000
91	15999993	307	15999988	523	15999993	739	16000000	955	16000000	1171	16000000
92	15999994	308	15999982	524	15999989	740	16000000	956	16000000	1172	16000000
93	15999995	309	15999975	525	15999981	741	16000000	957	16000000	1173	16000000
94	15999996	310	15999963	526	15999970	742	16000000	958	16000000	1174	16000000
95	15999998	311	15999947	527	15999953	743	16000000	959	16000000	1175	16000000
96	15999998	312	15999934	528	15999936	744	16000000	960	16000000	1176	16000000
97	15999998	313	15999921	529	15999926	745	16000000	961	16000000	1177	16000000
98	15999999	314	15999904	530	15999921	746	16000000	962	16000000	1178	16000000
99	15999999	315	15999901	531	15999916	747	16000000	963	16000000	1179	16000000
100	15999999	316	15999901	532	15999916	748	16000000	964	16000000	1180	16000000
101	15999999	317	15999901	533	15999916	749	16000000	965	16000000	1181	16000000
102	15999999	318	15999905	534	15999916	750	16000000	966	16000000	1182	16000000
103	15999999	319	15999913	535	15999924	751	16000000	967	16000000	1183	16000000
104	15999999	320	15999924	536	15999935	752	16000000	968	16000000	1184	16000000
105	15999999	321	15999940	537	15999954	753	16000000	969	16000000	1185	16000000
106	15999998	322	15999953	538	15999971	754	16000000	970	16000000	1186	16000000
107	15999998	323	15999967	539	15999981	755	16000000	971	16000000	1187	16000000
108	15999997	324	15999985	540	15999988	756	16000000	972	16000000	1188	16000000
109	15999993	325	15999996	541	15999992	757	16000000	973	16000000	1189	16000000
110	15999991	326	15999997	542	15999995	758	16000000	974	16000000	1190	16000000
111	15999989	327	15999998	543	15999996	759	16000000	975	16000000	1191	16000000
112	15999986	328	15999998	544	15999996	760	16000000	976	16000000	1192	16000000
113	15999976	329	15999998	545	15999996	761	16000000	977	16000000	1193	16000000
114	15999957	330	15999998	546	15999984	762	16000000	978	16000000	1194	16000000
115	15999945	331	15999997	547	15999968	763	16000000	979	16000000	1195	16000000
116	15999929	332	15999991	548	15999954	764	16000000	980	16000000	1196	16000000
117	15999915	333	15999986	549	15999944	765	16000000	981	16000000	1197	16000000
118	15999912	334	15999981	550	15999940	766	16000000	982	16000000	1198	16000000
119	15999912	335	15999976	551	15999939	767	16000000	983	16000000	1199	16000000
120	15999912	336	15999967	552	15999939	768	16000000	984	16000000	1200	16000000
121	15999913	337	15999954	553	15999939	769	16000000	985	16000000	1201	16000000
122	15999917	338	15999943	554	15999939	770	16000000	986	16000000	1202	16000000
123	15999927	339	15999930	555	15999939	771	16000000	987	16000000	1203	16000000
124	15999945	340	15999913	556	15999953	772	16000000	988	16000000	1204	16000000
125	15999958	341	15999913	557	15999969	773	16000000	989	16000000	1205	16000000

126	15999974	342	15999913	558	15999983	774	16000000	990	16000000	1206	16000000
127	15999989	343	15999914	559	15999993	775	16000000	991	16000000	1207	16000000
128	15999995	344	15999918	560	15999997	776	16000000	992	16000000	1208	16000000
129	15999995	345	15999923	561	15999997	777	16000000	993	16000000	1209	16000000
130	15999995	346	15999932	562	15999997	778	16000000	994	16000000	1210	16000000
131	15999991	347	15999944	563	15999996	779	16000000	995	16000000	1211	16000000
132	15999985	348	15999956	564	15999977	780	16000000	996	16000000	1212	16000000
133	15999975	349	15999970	565	15999962	781	16000000	997	16000000	1213	16000000
134	15999959	350	15999988	566	15999946	782	16000000	998	16000000	1214	16000000
135	15999952	351	15999996	567	15999926	783	16000000	999	16000000	1215	16000000
136	15999952	352	15999996	568	15999912	784	16000000	1000	16000000	1216	16000000
137	15999952	353	15999996	569	15999899	785	16000000	1001	16000000	1217	16000000
138	15999953	354	15999996	570	15999884	786	16000000	1002	16000000	1218	16000000
139	15999953	355	15999995	571	15999874	787	16000000	1003	16000000	1219	16000000
140	15999956	356	15999994	572	15999874	788	16000000	1004	16000000	1220	16000000
141	15999959	357	15999987	573	15999874	789	16000000	1005	16000000	1221	16000000
142	15999965	358	15999983	574	15999877	790	16000000	1006	16000000	1222	16000000
143	15999974	359	15999968	575	15999890	791	16000000	1007	16000000	1223	16000000
144	15999974	360	15999953	576	15999904	792	16000000	1008	16000000	1224	16000000
145	15999974	361	15999943	577	15999921	793	16000000	1009	16000000	1225	16000000
146	15999973	362	15999928	578	15999934	794	16000000	1010	16000000	1226	16000000
147	15999958	363	15999916	579	15999946	795	16000000	1011	16000000	1227	16000000
148	15999943	364	15999902	580	15999958	796	16000000	1012	16000000	1228	16000000
149	15999935	365	15999902	581	15999965	797	16000000	1013	16000000	1229	16000000
150	15999934	366	15999902	582	15999971	798	16000000	1014	16000000	1230	16000000
151	15999934	367	15999903	583	15999971	799	16000000	1015	16000000	1231	16000000
152	15999934	368	15999905	584	15999971	800	16000000	1016	16000000	1232	16000000
153	15999934	369	15999920	585	15999967	801	16000000	1017	16000000	1233	16000000
154	15999938	370	15999934	586	15999952	802	16000000	1018	16000000	1234	16000000
155	15999943	371	15999945	587	15999942	803	16000000	1019	16000000	1235	16000000
156	15999959	372	15999960	588	15999924	804	16000000	1020	16000000	1236	16000000
157	15999973	373	15999975	589	15999905	805	16000000	1021	16000000	1237	16000000
158	15999987	374	15999989	590	15999898	806	16000000	1022	16000000	1238	16000000
159	15999987	375	15999996	591	15999898	807	16000000	1023	16000000	1239	16000000
160	15999987	376	15999996	592	15999898	808	16000000	1024	16000000	1240	16000000
161	15999987	377	15999996	593	15999902	809	16000000	1025	16000000	1241	16000000
162	15999972	378	15999996	594	15999907	810	16000000	1026	16000000	1242	16000000
163	15999956	379	15999994	595	15999914	811	16000000	1027	16000000	1243	16000000
164	15999945	380	15999993	596	15999930	812	16000000	1028	16000000	1244	16000000
165	15999944	381	15999992	597	15999944	813	16000000	1029	16000000	1245	16000000
166	15999944	382	15999986	598	15999962	814	16000000	1030	16000000	1246	16000000
167	15999944	383	15999978	599	15999983	815	16000000	1031	16000000	1247	16000000
168	15999944	384	15999957	600	15999997	816	16000000	1032	16000000	1248	16000000

169	15999944	385	15999947	601	15999997	817	16000000	1033	16000000	1249	16000000
170	15999948	386	15999947	602	15999997	818	16000000	1034	16000000	1250	16000000
171	15999955	387	15999947	603	15999996	819	16000000	1035	16000000	1251	16000000
172	15999969	388	15999950	604	15999995	820	16000000	1036	16000000	1252	16000000
173	15999984	389	15999952	605	15999995	821	16000000	1037	16000000	1253	16000000
174	15999988	390	15999953	606	15999989	822	16000000	1038	16000000	1254	16000000
175	15999988	391	15999954	607	15999975	823	16000000	1039	16000000	1255	16000000
176	15999988	392	15999959	608	15999967	824	16000000	1040	16000000	1256	16000000
177	15999977	393	15999966	609	15999956	825	16000000	1041	16000000	1257	16000000
178	15999964	394	15999966	610	15999938	826	16000000	1042	16000000	1258	16000000
179	15999951	395	15999966	611	15999933	827	16000000	1043	16000000	1259	16000000
180	15999935	396	15999966	612	15999933	828	16000000	1044	16000000	1260	16000000
181	15999928	397	15999948	613	15999933	829	16000000	1045	16000000	1261	16000000
182	15999928	398	15999944	614	15999934	830	16000000	1046	16000000	1262	16000000
183	15999928	399	15999944	615	15999934	831	16000000	1047	16000000	1263	16000000
184	15999929	400	15999944	616	15999940	832	16000000	1048	16000000	1264	16000000
185	15999930	401	15999944	617	15999954	833	16000000	1049	16000000	1265	16000000
186	15999936	402	15999945	618	15999962	834	16000000	1050	16000000	1266	16000000
187	15999947	403	15999945	619	15999971	835	16000000	1051	16000000	1267	16000000
188	15999960	404	15999953	620	15999989	836	16000000	1052	16000000	1268	16000000
189	15999974	405	15999958	621	15999989	837	16000000	1053	16000000	1269	16000000
190	15999989	406	15999974	622	15999989	838	16000000	1054	16000000	1270	16000000
191	15999997	407	15999974	623	15999983	839	16000000	1055	16000000	1271	16000000
192	15999997	408	15999974	624	15999971	840	16000000	1056	16000000	1272	16000000
193	15999997	409	15999966	625	15999961	841	16000000	1057	16000000	1273	16000000
194	15999997	410	15999954	626	15999945	842	16000000	1058	16000000	1274	16000000
195	15999995	411	15999953	627	15999928	843	16000000	1059	16000000	1275	16000000
196	15999995	412	15999953	628	15999922	844	16000000	1060	16000000	1276	16000000
197	15999992	413	15999953	629	15999922	845	16000000	1061	16000000	1277	16000000
198	15999990	414	15999953	630	15999922	846	16000000	1062	16000000	1278	16000000
199	15999987	415	15999955	631	15999925	847	16000000	1063	16000000	1279	16000000
200	15999974	416	15999955	632	15999928	848	16000000	1064	16000000	1280	16000000
201	15999968	417	15999957	633	15999935	849	16000000	1065	16000000	1281	16000000
202	15999957	418	15999957	634	15999947	850	16000000	1066	16000000	1282	16000000
203	15999949	419	15999957	635	15999958	851	16000000	1067	16000000	1283	16000000
204	15999925	420	15999957	636	15999973	852	16000000	1068	16000000	1284	16000000
205	15999911	421	15999956	637	15999990	853	16000000	1069	16000000	1285	16000000
206	15999894	422	15999956	638	15999995	854	16000000	1070	16000000	1286	16000000
207	15999881	423	15999956	639	15999995	855	16000000	1071	16000000	1287	16000000
208	15999881	424	15999956	640	15999995	856	16000000	1072	16000000	1288	16000000
209	15999881	425	15999956	641	15999992	857	16000000	1073	16000000	1289	16000000
210	15999881	426	15999952	642	15999983	858	16000000	1074	16000000	1290	16000000
211	15999886	427	15999956	643	15999976	859	16000000	1075	16000000	1291	16000000

212	15999897	428	15999956	644	15999966	860	16000000	1076	16000000	1292	16000000
213	15999905	429	15999956	645	15999951	861	16000000	1077	16000000	1293	16000000
214	15999929	430	15999953	646	15999936	862	16000000	1078	16000000	1294	16000000
215	15999946	431	15999952	647	15999918	863	16000000	1079	16000000	1295	16000000
216	15999963	432	15999952	648	15999907	864	16000000	1080	16000000	1296	16000000

b. Data Frekuensi Asam Miristat dan Bakteri E.coli

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	15999995	201	16000000	401	16000000	601	16000000	801	16000000	1001	16000000
2	15999995	202	16000000	402	16000000	602	16000000	802	16000000	1002	16000000
3	15999994	203	16000000	403	16000000	603	16000000	803	16000000	1003	16000000
4	15999994	204	16000000	404	16000000	604	16000000	804	16000000	1004	16000000
5	15999994	205	16000000	405	16000000	605	16000000	805	16000000	1005	16000000
6	15999994	206	16000000	406	16000000	606	16000000	806	16000000	1006	16000000
7	15999994	207	16000000	407	16000000	607	16000000	807	16000000	1007	16000000
8	15999994	208	16000000	408	16000000	608	16000000	808	16000000	1008	16000000
9	15999994	209	16000000	409	16000000	609	16000000	809	16000000	1009	16000000
10	15999994	210	16000000	410	16000000	610	16000000	810	16000000	1010	16000000
11	16000000	211	16000000	411	16000000	611	16000000	811	16000000	1011	16000000
12	16000000	212	16000000	412	16000000	612	16000000	812	16000000	1012	16000000
13	15999996	213	16000000	413	16000000	613	16000000	813	16000000	1013	16000000
14	15999994	214	16000000	414	16000000	614	16000000	814	16000000	1014	16000000
15	15999994	215	16000000	415	16000000	615	16000000	815	16000000	1015	16000000
16	15999994	216	16000000	416	16000000	616	16000000	816	16000000	1016	16000000
17	15999994	217	16000000	417	16000000	617	16000000	817	16000000	1017	16000000
18	15999994	218	16000000	418	16000000	618	16000000	818	16000000	1018	16000000
19	15999994	219	16000000	419	16000000	619	16000000	819	16000000	1019	16000000
20	15999994	220	16000000	420	16000000	620	16000000	820	16000000	1020	16000000
21	15999994	221	16000000	421	16000000	621	16000000	821	16000000	1021	16000000
22	15999994	222	16000000	422	16000000	622	16000000	822	16000000	1022	16000000
23	15999998	223	16000000	423	16000000	623	16000000	823	16000000	1023	16000000
24	15999999	224	16000000	424	16000000	624	16000000	824	16000000	1024	16000000
25	15999991	225	16000000	425	16000000	625	16000000	825	16000000	1025	16000000
26	15999988	226	16000000	426	16000000	626	16000000	826	16000000	1026	16000000
27	15999988	227	16000000	427	16000000	627	16000000	827	16000000	1027	16000000
28	15999988	228	16000000	428	16000000	628	16000000	828	16000000	1028	16000000
29	15999988	229	16000000	429	16000000	629	16000000	829	16000000	1029	16000000
30	15999988	230	16000000	430	16000000	630	16000000	830	16000000	1030	16000000
31	15999988	231	16000000	431	16000000	631	16000000	831	16000000	1031	16000000
32	15999988	232	16000000	432	16000000	632	16000000	832	16000000	1032	16000000
33	15999988	233	16000000	433	16000000	633	16000000	833	16000000	1033	16000000
34	15999989	234	16000000	434	16000000	634	16000000	834	16000000	1034	16000000
35	15999997	235	16000000	435	16000000	635	16000000	835	16000000	1035	16000000
36	16000000	236	16000000	436	16000000	636	16000000	836	16000000	1036	16000000
37	16000000	237	16000000	437	16000000	637	16000000	837	16000000	1037	16000000

38	16000000	238	16000000	438	16000000	638	16000000	838	16000000	1038	16000000
39	16000000	239	16000000	439	16000000	639	16000000	839	16000000	1039	16000000
40	16000000	240	16000000	440	16000000	640	16000000	840	16000000	1040	16000000
41	16000000	241	16000000	441	16000000	641	16000000	841	16000000	1041	16000000
42	16000000	242	16000000	442	16000000	642	16000000	842	16000000	1042	16000000
43	16000000	243	16000000	443	16000000	643	16000000	843	16000000	1043	16000000
44	16000000	244	16000000	444	16000000	644	16000000	844	16000000	1044	16000000
45	16000000	245	16000000	445	16000000	645	16000000	845	16000000	1045	16000000
46	15999998	246	16000000	446	16000000	646	16000000	846	16000000	1046	16000000
47	15999998	247	16000000	447	16000000	647	16000000	847	16000000	1047	16000000
48	15999998	248	16000000	448	16000000	648	16000000	848	16000000	1048	16000000
49	15999998	249	16000000	449	16000000	649	16000000	849	16000000	1049	16000000
50	15999992	250	16000000	450	16000000	650	16000000	850	16000000	1050	16000000
51	15999992	251	16000000	451	16000000	651	16000000	851	16000000	1051	16000000
52	15999992	252	16000000	452	16000000	652	16000000	852	16000000	1052	16000000
53	15999992	253	16000000	453	16000000	653	16000000	853	16000000	1053	16000000
54	15999992	254	16000000	454	16000000	654	16000000	854	16000000	1054	16000000
55	15999992	255	16000000	455	16000000	655	16000000	855	16000000	1055	16000000
56	15999990	256	16000000	456	16000000	656	16000000	856	16000000	1056	16000000
57	15999990	257	16000000	457	16000000	657	16000000	857	16000000	1057	16000000
58	15998182	258	16000000	458	16000000	658	16000000	858	16000000	1058	16000000
59	15997001	259	16000000	459	16000000	659	16000000	859	16000000	1059	16000000
60	15996264	260	16000000	460	16000000	660	16000000	860	16000000	1060	16000000
61	15995749	261	16000000	461	16000000	661	16000000	861	16000000	1061	16000000
62	15995360	262	16000000	462	16000000	662	16000000	862	16000000	1062	16000000
63	15994382	263	16000000	463	16000000	663	16000000	863	16000000	1063	16000000
64	15993964	264	16000000	464	16000000	664	16000000	864	16000000	1064	16000000
65	15993545	265	16000000	465	16000000	665	16000000	865	16000000	1065	16000000
66	15993545	266	16000000	466	16000000	666	16000000	866	16000000	1066	16000000
67	15993545	267	16000000	467	16000000	667	16000000	867	16000000	1067	16000000
68	15993466	268	16000000	468	16000000	668	16000000	868	16000000	1068	16000000
69	15993466	269	16000000	469	16000000	669	16000000	869	16000000	1069	16000000
70	15993466	270	16000000	470	16000000	670	16000000	870	16000000	1070	16000000
71	15993466	271	16000000	471	16000000	671	16000000	871	16000000	1071	16000000
72	15993419	272	16000000	472	16000000	672	16000000	872	16000000	1072	16000000
73	15993281	273	16000000	473	16000000	673	16000000	873	16000000	1073	16000000
74	15993276	274	16000000	474	16000000	674	16000000	874	16000000	1074	16000000
75	15993281	275	16000000	475	16000000	675	16000000	875	16000000	1075	16000000
76	15993281	276	16000000	476	16000000	676	16000000	876	16000000	1076	16000000
77	15993309	277	16000000	477	16000000	677	16000000	877	16000000	1077	16000000
78	15993370	278	16000000	478	16000000	678	16000000	878	16000000	1078	16000000
79	15994541	279	16000000	479	16000000	679	16000000	879	16000000	1079	16000000
80	15995170	280	16000000	480	16000000	680	16000000	880	16000000	1080	16000000
81	15995170	281	16000000	481	16000000	681	16000000	881	16000000	1081	16000000
82	15995170	282	16000000	482	16000000	682	16000000	882	16000000	1082	16000000
83	15994861	283	16000000	483	16000000	683	16000000	883	16000000	1083	16000000
84	15994480	284	16000000	484	16000000	684	16000000	884	16000000	1084	16000000

85	15994185	285	16000000	485	16000000	685	16000000	885	16000000	1085	16000000
86	15994019	286	16000000	486	16000000	686	16000000	886	16000000	1086	16000000
87	15993875	287	16000000	487	16000000	687	16000000	887	16000000	1087	16000000
88	15993730	288	16000000	488	16000000	688	16000000	888	16000000	1088	16000000
89	15993730	289	16000000	489	16000000	689	16000000	889	16000000	1089	16000000
90	15993730	290	16000000	490	16000000	690	16000000	890	16000000	1090	16000000
91	15994118	291	16000000	491	16000000	691	16000000	891	16000000	1091	16000000
92	15994811	292	16000000	492	16000000	692	16000000	892	16000000	1092	16000000
93	15995791	293	16000000	493	16000000	693	16000000	893	16000000	1093	16000000
94	15996795	294	16000000	494	16000000	694	16000000	894	16000000	1094	16000000
95	15997513	295	16000000	495	16000000	695	16000000	895	16000000	1095	16000000
96	15998111	296	16000000	496	16000000	696	16000000	896	16000000	1096	16000000
97	15998573	297	16000000	497	16000000	697	16000000	897	16000000		
98	15999042	298	16000000	498	16000000	698	16000000	898	16000000		
99	15999700	299	16000000	499	16000000	699	16000000	899	16000000		
100	15999995	300	16000000	500	16000000	700	16000000	900	16000000		
101	15999995	301	16000000	501	16000000	701	16000000	901	16000000		
102	15999995	302	16000000	502	16000000	702	16000000	902	16000000		
103	15999995	303	16000000	503	16000000	703	16000000	903	16000000		
104	15999995	304	16000000	504	16000000	704	16000000	904	16000000		
105	15999995	305	16000000	505	16000000	705	16000000	905	16000000		
106	15999995	306	16000000	506	16000000	706	16000000	906	16000000		
107	15999995	307	16000000	507	16000000	707	16000000	907	16000000		
108	15999995	308	16000000	508	16000000	708	16000000	908	16000000		
109	16000000	309	16000000	509	16000000	709	16000000	909	16000000		
110	16000000	310	16000000	510	16000000	710	16000000	910	16000000		
111	16000000	311	16000000	511	16000000	711	16000000	911	16000000		
112	16000000	312	16000000	512	16000000	712	16000000	912	16000000		
113	16000000	313	16000000	513	16000000	713	16000000	913	16000000		
114	16000000	314	16000000	514	16000000	714	16000000	914	16000000		
115	16000000	315	16000000	515	16000000	715	16000000	915	16000000		
116	16000000	316	16000000	516	16000000	716	16000000	916	16000000		
117	16000000	317	16000000	517	16000000	717	16000000	917	16000000		
118	16000000	318	16000000	518	16000000	718	16000000	918	16000000		
119	16000000	319	16000000	519	16000000	719	16000000	919	16000000		
120	16000000	320	16000000	520	16000000	720	16000000	920	16000000		
121	16000000	321	16000000	521	16000000	721	16000000	921	16000000		
122	16000000	322	16000000	522	16000000	722	16000000	922	16000000		
123	16000000	323	16000000	523	16000000	723	16000000	923	16000000		
124	16000000	324	16000000	524	16000000	724	16000000	924	16000000		
125	16000000	325	16000000	525	16000000	725	16000000	925	16000000		
126	16000000	326	16000000	526	16000000	726	16000000	926	16000000		
127	16000000	327	16000000	527	16000000	727	16000000	927	16000000		
128	16000000	328	16000000	528	16000000	728	16000000	928	16000000		
129	16000000	329	16000000	529	16000000	729	16000000	929	16000000		
130	16000000	330	16000000	530	16000000	730	16000000	930	16000000		
131	16000000	331	16000000	531	16000000	731	16000000	931	16000000		

132	16000000	332	16000000	532	16000000	732	16000000	932	16000000
133	16000000	333	16000000	533	16000000	733	16000000	933	16000000
134	16000000	334	16000000	534	16000000	734	16000000	934	16000000
135	16000000	335	16000000	535	16000000	735	16000000	935	16000000
136	16000000	336	16000000	536	16000000	736	16000000	936	16000000
137	16000000	337	16000000	537	16000000	737	16000000	937	16000000
138	16000000	338	16000000	538	16000000	738	16000000	938	16000000
139	16000000	339	16000000	539	16000000	739	16000000	939	16000000
140	16000000	340	16000000	540	16000000	740	16000000	940	16000000
141	16000000	341	16000000	541	16000000	741	16000000	941	16000000
142	16000000	342	16000000	542	16000000	742	16000000	942	16000000
143	16000000	343	16000000	543	16000000	743	16000000	943	16000000
144	16000000	344	16000000	544	16000000	744	16000000	944	16000000
145	16000000	345	16000000	545	16000000	745	16000000	945	16000000
146	16000000	346	16000000	546	16000000	746	16000000	946	16000000
147	16000000	347	16000000	547	16000000	747	16000000	947	16000000
148	16000000	348	16000000	548	16000000	748	16000000	948	16000000
149	16000000	349	16000000	549	16000000	749	16000000	949	16000000
150	16000000	350	16000000	550	16000000	750	16000000	950	16000000
151	16000000	351	16000000	551	16000000	751	16000000	951	16000000
152	16000000	352	16000000	552	16000000	752	16000000	952	16000000
153	16000000	353	16000000	553	16000000	753	16000000	953	16000000
154	16000000	354	16000000	554	16000000	754	16000000	954	16000000
155	16000000	355	15999990	555	16000000	755	16000000	955	16000000
156	16000000	356	15999990	556	16000000	756	16000000	956	16000000
157	16000000	357	15999990	557	16000000	757	16000000	957	16000000
158	16000000	358	15999990	558	16000000	758	16000000	958	16000000
159	16000000	359	15999990	559	16000000	759	16000000	959	16000000
160	16000000	360	15999990	560	16000000	760	16000000	960	16000000
161	16000000	361	15999990	561	16000000	761	16000000	961	16000000
162	16000000	362	15999990	562	16000000	762	16000000	962	16000000
163	16000000	363	15999990	563	16000000	763	16000000	963	16000000
164	16000000	364	15999990	564	16000000	764	16000000	964	16000000
165	16000000	365	16000000	565	16000000	765	16000000	965	16000000
166	16000000	366	16000000	566	16000000	766	16000000	966	16000000
167	16000000	367	16000000	567	16000000	767	16000000	967	16000000
168	16000000	368	15999997	568	16000000	768	16000000	968	16000000
169	16000000	369	15999994	569	16000000	769	16000000	969	16000000
170	16000000	370	15999955	570	16000000	770	16000000	970	16000000
171	16000000	371	15999560	571	16000000	771	16000000	971	16000000
172	16000000	372	15998365	572	16000000	772	16000000	972	16000000
173	16000000	373	15997844	573	16000000	773	16000000	973	16000000
174	16000000	374	15997645	574	16000000	774	16000000	974	16000000
175	16000000	375	15997161	575	16000000	775	16000000	975	16000000
176	16000000	376	15996386	576	16000000	776	16000000	976	16000000
177	16000000	377	15996345	577	16000000	777	16000000	977	16000000
178	16000000	378	15996276	578	16000000	778	16000000	978	16000000

179	16000000	379	15995953	579	16000000	779	16000000	979	16000000
180	16000000	380	15995953	580	16000000	780	16000000	980	16000000
181	16000000	381	15995953	581	16000000	781	16000000	981	16000000
182	16000000	382	15996896	582	16000000	782	16000000	982	16000000
183	16000000	383	15997416	583	16000000	783	16000000	983	16000000
184	16000000	384	15997615	584	16000000	784	16000000	984	16000000
185	16000000	385	15998099	585	16000000	785	16000000	985	16000000
186	16000000	386	15998874	586	16000000	786	16000000	986	16000000
187	16000000	387	15998916	587	16000000	787	16000000	987	16000000
188	16000000	388	15998987	588	16000000	788	16000000	988	16000000
189	16000000	389	15999313	589	16000000	789	16000000	989	16000000
190	16000000	390	15999995	590	16000000	790	16000000	990	16000000
191	16000000	391	15999997	591	16000000	791	16000000	991	16000000
192	16000000	392	15999999	592	16000000	792	16000000	992	16000000
193	16000000	393	16000000	593	16000000	793	16000000	993	16000000
194	16000000	394	16000000	594	16000000	794	16000000	994	16000000
195	16000000	395	16000000	595	16000000	795	16000000	995	16000000
196	16000000	396	16000000	596	16000000	796	16000000	996	16000000
197	16000000	397	16000000	597	16000000	797	16000000	997	16000000
198	16000000	398	16000000	598	16000000	798	16000000	998	16000000
199	16000000	399	16000000	599	16000000	799	16000000	999	16000000
200	16000000	400	16000000	600	16000000	800	16000000	1000	16000000

c. Data Frekuensi AL 1 : AM 1 dan Bakteri E.coli

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	15999958	201	15999994	401	15999779	601	15999738	801	15999426
2	15999934	202	15999995	402	15999794	602	15999665	802	15999426
3	15999881	203	16000000	403	15999847	603	15999661	803	15999452
4	15999778	204	16000000	404	15999864	604	15999654	804	15999476
5	15999667	205	16000000	405	15999911	605	15999523	805	15999490
6	15999536	206	16000000	406	15999954	606	15999400	806	15999634
7	15999454	207	16000000	407	16000000	607	15999323	807	15999668
8	15999425	208	16000000	408	16000000	608	15999123	808	15999712
9	15999397	209	16000000	409	16000000	609	15999109	809	15999847
10	15999397	210	15999999	410	16000000	610	15999098	810	15999989
11	15999397	211	15999997	411	16000000	611	15999073	811	15999989
12	15999424	212	15999993	412	16000000	612	15999040	812	15999989
13	15999476	213	15999988	413	16000000	613	15999024	813	15999977
14	15999580	214	15999985	414	16000000	614	15999040	814	15999970
15	15999691	215	15999975	415	16000000	615	15999040	815	15999955
16	15999821	216	15999968	416	16000000	616	15999136	816	15999943
17	15999904	217	15999967	417	16000000	617	15999223	817	15999878
18	15999933	218	15999967	418	16000000	618	15999500	818	15999860
19	15999970	219	15999961	419	16000000	619	15999530	819	15999843
20	15999991	220	15999938	420	16000000	620	15999558	820	15999734
21	16000000	221	15999925	421	16000000	621	15999704	821	15999576
22	16000000	222	15999924	422	16000000	622	15999750	822	15999389

23	16000000	223	15999923	423	16000000	623	15999815	823	15999260
24	16000000	224	15999904	424	16000000	624	15999818	824	15999179
25	15999983	225	15999884	425	16000000	625	16000000	825	15999179
26	15999960	226	15999869	426	15999982	626	16000000	826	15999179
27	15999943	227	15999812	427	15999961	627	16000000	827	15999242
28	15999917	228	15999783	428	15999934	628	16000000	828	15999260
29	15999890	229	15999767	429	15999911	629	16000000	829	15999277
30	15999869	230	15999761	430	15999890	630	16000000	830	15999386
31	15999837	231	15999760	431	15999759	631	16000000	831	15999548
32	15999794	232	15999691	432	15999744	632	16000000	832	15999741
33	15999736	233	15999676	433	15999649	633	16000000	833	15999883
34	15999709	234	15999671	434	15999642	634	16000000	834	15999971
35	15999673	235	15999671	435	15999628	635	16000000	835	16000000
36	15999668	236	15999676	436	15999628	636	16000000	836	16000000
37	15999644	237	15999694	437	15999628	637	16000000	837	16000000
38	15999638	238	15999701	438	15999646	638	16000000	838	16000000
39	15999636	239	15999710	439	15999669	639	16000000	839	16000000
40	15999636	240	15999741	440	15999688	640	16000000	840	16000000
41	15999636	241	15999756	441	15999818	641	16000000	841	16000000
42	15999665	242	15999832	442	15999834	642	16000000	842	16000000
43	15999712	243	15999862	443	15999929	643	16000000	843	16000000
44	15999739	244	15999878	444	15999936	644	16000000	844	16000000
45	15999792	245	15999903	445	15999950	645	16000000	845	16000000
46	15999820	246	15999938	446	15999974	646	16000000	846	16000000
47	15999861	247	15999966	447	15999992	647	16000000	847	16000000
48	15999894	248	15999987	448	15999998	648	16000000	848	16000000
49	15999925	249	16000000	449	15999998	649	16000000	849	16000000
50	15999956	250	16000000	450	15999998	650	16000000	850	16000000
51	15999976	251	16000000	451	15999998	651	16000000	851	16000000
52	15999990	252	16000000	452	15999929	652	16000000	852	16000000
53	16000000	253	15999993	453	15999902	653	16000000	853	16000000
54	16000000	254	15999971	454	15999846	654	16000000	854	16000000
55	16000000	255	15999970	455	15999818	655	16000000	855	16000000
56	16000000	256	15999939	456	15999778	656	16000000	856	16000000
57	16000000	257	15999902	457	15999694	657	16000000	857	16000000
58	16000000	258	15999825	458	15999663	658	16000000	858	16000000
59	16000000	259	15999793	459	15999642	659	16000000	859	16000000
60	16000000	260	15999770	460	15999642	660	16000000	860	16000000
61	16000000	261	15999734	461	15999642	661	16000000	861	16000000
62	16000000	262	15999569	462	15999675	662	16000000	862	16000000
63	16000000	263	15999549	463	15999693	663	16000000	863	15999998
64	16000000	264	15999537	464	15999728	664	16000000	864	15999994
65	16000000	265	15999531	465	15999748	665	16000000	865	15999994
66	16000000	266	15999531	466	15999787	666	16000000	866	15999987
67	15999999	267	15999531	467	15999871	667	16000000	867	15999981
68	15999989	268	15999580	468	15999902	668	16000000	868	15999975
69	15999972	269	15999583	469	15999923	669	16000000	869	15999970
70	15999963	270	15999589	470	15999943	670	16000000	870	15999963
71	15999958	271	15999616	471	15999950	671	16000000	871	15999962
72	15999954	272	15999781	472	15999962	672	16000000	872	15999950

73	15999949	273	15999808	473	15999970	673	16000000	873	15999937
74	15999948	274	15999842	474	15999992	674	16000000	874	15999926
75	15999946	275	15999875	475	15999999	675	16000000	875	15999890
76	15999928	276	15999895	476	16000000	676	15999999	876	15999887
77	15999928	277	15999917	477	16000000	677	15999999	877	15999876
78	15999928	278	15999936	478	16000000	678	15999922	878	15999875
79	15999945	279	15999974	479	16000000	679	15999873	879	15999788
80	15999954	280	16000000	480	16000000	680	15999824	880	15999597
81	15999959	281	16000000	481	16000000	681	15999807	881	15999588
82	15999963	282	16000000	482	16000000	682	15999732	882	15999576
83	15999969	283	15999997	483	16000000	683	15999711	883	15999391
84	15999969	284	15999989	484	16000000	684	15999699	884	15999308
85	15999971	285	15999977	485	16000000	685	15999648	885	15999037
86	15999993	286	15999976	486	16000000	686	15999548	886	15998915
87	15999995	287	15999956	487	16000000	687	15999516	887	15998915
88	15999995	288	15999938	488	16000000	688	15999505	888	15998915
89	15999995	289	15999902	489	16000000	689	15999463	889	15999007
90	15999973	290	15999828	490	16000000	690	15999453	890	15999204
91	15999973	291	15999815	491	16000000	691	15999366	891	15999215
92	15999973	292	15999797	492	16000000	692	15999348	892	15999239
93	15999973	293	15999794	493	16000000	693	15999348	893	15999438
94	15999973	294	15999791	494	16000000	694	15999356	894	15999537
95	15999973	295	15999778	495	16000000	695	15999354	895	15999844
96	15999973	296	15999774	496	16000000	696	15999354	896	15999991
97	15999973	297	15999766	497	16000000	697	15999354	897	16000000
98	15999973	298	15999703	498	16000000	698	15999348	898	16000000
99	15999973	299	15999701	499	16000000	699	15999345	899	16000000
100	16000000	300	15999675	500	16000000	700	15999345	900	16000000
101	16000000	301	15999667	501	16000000	701	15999345	901	15999998
102	16000000	302	15999651	502	16000000	702	15999348	902	15999997
103	16000000	303	15999613	503	16000000	703	15999367	903	15999997
104	16000000	304	15999602	504	16000000	704	15999369	904	15999991
105	16000000	305	15999600	505	16000000	705	15999369	905	15999987
106	16000000	306	15999600	506	16000000	706	15999491	906	15999986
107	16000000	307	15999600	507	16000000	707	15999497	907	15999976
108	16000000	308	15999670	508	16000000	708	15999532	908	15999970
109	16000000	309	15999721	509	16000000	709	15999666	909	15999970
110	16000000	310	15999721	510	16000000	710	15999760	910	15999967
111	15999972	311	15999743	511	16000000	711	15999847	911	15999965
112	15999969	312	15999758	512	16000000	712	15999847	912	15999958
113	15999958	313	15999772	513	16000000	713	15999847	913	15999958
114	15999940	314	15999776	514	16000000	714	15999851	914	15999951
115	15999902	315	15999776	515	16000000	715	15999851	915	15999951
116	15999878	316	15999772	516	16000000	716	15999827	916	15999945
117	15999846	317	15999769	517	16000000	717	15999786	917	15999936
118	15999809	318	15999762	518	16000000	718	15999779	918	15999936
119	15999779	319	15999744	519	16000000	719	15999722	919	15999927
120	15999754	320	15999711	520	16000000	720	15999719	920	15999892
121	15999739	321	15999704	521	16000000	721	15999686	921	15999880
122	15999712	322	15999580	522	16000000	722	15999685	922	15999822

123	15999585	323	15999568	523	16000000	723	15999640	923	15999821
124	15999585	324	15999521	524	16000000	724	15999592	924	15999821
125	15999585	325	15999487	525	16000000	725	15999592	925	15999821
126	15999597	326	15999466	526	16000000	726	15999592	926	15999833
127	15999612	327	15999462	527	16000000	727	15999625	927	15999834
128	15999636	328	15999449	528	16000000	728	15999627	928	15999849
129	15999646	329	15999449	529	16000000	729	15999627	929	15999858
130	15999651	330	15999449	530	16000000	730	15999627	930	15999898
131	15999669	331	15999485	531	16000000	731	15999537	931	15999910
132	15999692	332	15999573	532	16000000	732	15999537	932	15999976
133	15999834	333	15999577	533	16000000	733	15999537	933	15999992
134	15999864	334	15999610	534	16000000	734	15999588	934	15999994
135	15999886	335	15999647	535	15999997	735	15999588	935	15999996
136	15999899	336	15999652	536	15999993	736	15999588	936	15999998
137	15999916	337	15999652	537	15999989	737	15999586	937	16000000
138	15999929	338	15999647	538	15999979	738	15999393	938	16000000
139	15999944	339	15999647	539	15999961	739	15999289	939	16000000
140	15999974	340	15999652	540	15999961	740	15999275	940	16000000
141	15999994	341	15999661	541	15999941	741	15999275	941	15999996
142	16000000	342	15999661	542	15999925	742	15999275	942	15999996
143	16000000	343	15999661	543	15999910	743	15999275	943	15999991
144	16000000	344	15999661	544	15999905	744	15999275	944	15999989
145	16000000	345	15999661	545	15999835	745	15999230	945	15999953
146	16000000	346	15999670	546	15999770	746	15999230	946	15999944
147	15999991	347	15999686	547	15999753	747	15999230	947	15999925
148	15999959	348	15999686	548	15999748	748	15999369	948	15999912
149	15999931	349	15999686	549	15999697	749	15999462	949	15999892
150	15999893	350	15999665	550	15999543	750	15999470	950	15999877
151	15999849	351	15999659	551	15999542	751	15999631	951	15999863
152	15999805	352	15999659	552	15999540	752	15999638	952	15999863
153	15999732	353	15999659	553	15999542	753	15999640	953	15999863
154	15999662	354	15999659	554	15999543	754	15999646	954	15999866
155	15999630	355	15999659	555	15999569	755	15999721	955	15999902
156	15999630	356	15999639	556	15999569	756	15999746	956	15999910
157	15999630	357	15999637	557	15999573	757	15999796	957	15999929
158	15999631	358	15999607	558	15999582	758	15999802	958	15999942
159	15999659	359	15999607	559	15999588	759	15999808	959	15999963
160	15999697	360	15999607	560	15999625	760	15999894	960	15999978
161	15999741	361	15999627	561	15999630	761	15999895	961	16000000
162	15999785	362	15999639	562	15999652	762	15999902	962	16000000
163	15999858	363	15999654	563	15999652	763	15999908	963	16000000
164	15999928	364	15999682	564	15999681	764	15999909	964	16000000
165	15999960	365	15999700	565	15999691	765	15999909	965	16000000
166	15999974	366	15999749	566	15999752	766	15999912	966	15999996
167	15999985	367	15999776	567	15999786	767	15999929	967	15999990
168	15999985	368	15999878	568	15999837	768	15999935	968	15999979
169	15999985	369	15999919	569	15999850	769	15999938	969	15999973
170	15999980	370	15999943	570	15999942	770	15999945	970	15999951
171	15999942	371	15999956	571	15999989	771	15999951	971	15999923
172	15999908	372	16000000	572	16000000	772	15999953	972	15999912

173	15999883	373	16000000	573	16000000	773	15999953	973	15999897
174	15999857	374	16000000	574	16000000	774	15999953	974	15999892
175	15999812	375	16000000	575	16000000	775	15999948	975	15999834
176	15999785	376	16000000	576	16000000	776	15999947	976	15999792
177	15999753	377	16000000	577	16000000	777	15999940	977	15999792
178	15999698	378	16000000	578	16000000	778	15999937	978	15999792
179	15999654	379	16000000	579	16000000	779	15999937	979	15999793
180	15999654	380	16000000	580	16000000	780	15999937	980	15999815
181	15999654	381	16000000	581	16000000	781	15999939	981	15999844
182	15999671	382	16000000	582	16000000	782	15999945	982	15999855
183	15999689	383	16000000	583	15999995	783	15999951	983	15999869
184	15999700	384	15999995	584	15999988	784	15999953	984	15999872
185	15999723	385	15999980	585	15999982	785	15999957	985	15999924
186	15999749	386	15999932	586	15999975	786	15999957	986	15999943
187	15999768	387	15999916	587	15999970	787	15999958	987	15999943
188	15999806	388	15999891	588	15999779	788	15999958	988	15999943
189	15999871	389	15999837	589	15999757	789	15999958	989	15999919
190	15999889	390	15999803	590	15999734	790	15999956	990	15999897
191	15999891	391	15999707	591	15999719	791	15999949	991	15999897
192	15999908	392	15999692	592	15999689	792	15999934	992	15999897
193	15999909	393	15999639	593	15999681	793	15999909	993	15999897
194	15999925	394	15999628	594	15999678	794	15999894	994	15999901
195	15999946	395	15999600	595	15999672	795	15999881	995	15999907
196	15999947	396	15999595	596	15999672	796	15999743	996	15999921
197	15999961	397	15999595	597	15999672	797	15999716	997	15999929
198	15999977	398	15999600	598	15999776	798	15999673	998	15999955
199	15999981	399	15999649	599	15999776	799	15999549	999	15999975
200	15999981	400	15999683	600	15999776	800	15999426	1000	15999985

d. Data Frekuensi AL 1 : AM 2 dan Bakteri E.coli

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	15995458	201	15995203	401	15988921	601	15973228	801	15999857
2	15995487	202	15995204	402	15988598	602	15969262	802	15999844
3	15995531	203	15995204	403	15988341	603	15965252	803	15999844
4	15995682	204	15995204	404	15988129	604	15961298	804	15999844
5	15995805	205	15995200	405	15987977	605	15959140	805	15999863
6	15995892	206	15995136	406	15987789	606	15958864	806	15999877
7	15996005	207	15995136	407	15987348	607	15958864	807	15999900
8	15996029	208	15995136	408	15986847	608	15958864	808	15999917
9	15996037	209	15995287	409	15986429	609	15958941	809	15999929
10	15996049	210	15995401	410	15985999	610	15958982	810	15999959
11	15996072	211	15995442	411	15985606	611	15958983	811	15999960
12	15996072	212	15995457	412	15985100	612	15959126	812	15999987
13	15996080	213	15995457	413	15984599	613	15959323	813	15999987
14	15996080	214	15995457	414	15984055	614	15959435	814	15999987
15	15996080	215	15995457	415	15983498	615	15959624	815	15999950
16	15996003	216	15995406	416	15983106	616	15959669	816	15999922
17	15995966	217	15995391	417	15982788	617	15959678	817	15999891
18	15995965	218	15995391	418	15982576	618	15959796	818	15999888

19	15995957	219	15995141	419	15982447	619	15959796	819	15999888
20	15995926	220	15994936	420	15982367	620	15959796	820	15999888
21	15995874	221	15994695	421	15982183	621	15959547	821	15999888
22	15995864	222	15994430	422	15982183	622	15959269	822	15999888
23	15995846	223	15994184	423	15982183	623	15958985	823	15999888
24	15995864	224	15994161	424	15982352	624	15958852	824	15999901
25	15995874	225	15994149	425	15982598	625	15958574	825	15999938
26	15995941	226	15994144	426	15982652	626	15958574	826	15999966
27	15996027	227	15994144	427	15982665	627	15958574	827	15999997
28	15996060	228	15994144	428	15983031	628	15958610	828	15999999
29	15996068	229	15994157	429	15983346	629	15959054	829	15999999
30	15996153	230	15994193	430	15983625	630	15959808	830	15999999
31	15996317	231	15994201	431	15984028	631	15960325	831	15999989
32	15996406	232	15994232	432	15984028	632	15960795	832	15999970
33	15996411	233	15994326	433	15984028	633	15961702	833	15999946
34	15996445	234	15994337	434	15983979	634	15962529	834	15999937
35	15996469	235	15994342	435	15983961	635	15963335	835	15999936
36	15996506	236	15994362	436	15983859	636	15964058	836	15999936
37	15996512	237	15994387	437	15983800	637	15964936	837	15999936
38	15996526	238	15994387	438	15983811	638	15965689	838	15999936
39	15996603	239	15994387	439	15983812	639	15965824	839	15999936
40	15996665	240	15994331	440	15983812	640	15966009	840	15999937
41	15996697	241	15994299	441	15983812	641	15966237	841	15999947
42	15996727	242	15993993	442	15984174	642	15966544	842	15999966
43	15996753	243	15993489	443	15984698	643	15966599	843	15999980
44	15996785	244	15992908	444	15985324	644	15966661	844	15999980
45	15996818	245	15992156	445	15985901	645	15966736	845	15999980
46	15996828	246	15991432	446	15986120	646	15967234	846	15999964
47	15996828	247	15990726	447	15986413	647	15968630	847	15999946
48	15996828	248	15989956	448	15986718	648	15970122	848	15999939
49	15996814	249	15989132	449	15987012	649	15971666	849	15999931
50	15996809	250	15988323	450	15987112	650	15973483	850	15999924
51	15996791	251	15987380	451	15987334	651	15975863	851	15999924
52	15996754	252	15987380	452	15987336	652	15977902	852	15999924
53	15996752	253	15987380	453	15987486	653	15979923	853	15999924
54	15996749	254	15987609	454	15988097	654	15981985	854	15999924
55	15996745	255	15988003	455	15988097	655	15983843	855	15999945
56	15996731	256	15988429	456	15988097	656	15985112	856	15999960
57	15996715	257	15988954	457	15987938	657	15985521	857	15999978
58	15996703	258	15989741	458	15987816	658	15986035	858	15999985
59	15996692	259	15990574	459	15987816	659	15986940	859	15999993
60	15996666	260	15991497	460	15987816	660	15987419	860	16000000
61	15996665	261	15992550	461	15987816	661	15987728	861	16000000
62	15996662	262	15993360	462	15987816	662	15987896	862	16000000
63	15996652	263	15993523	463	15987775	663	15988339	863	15999997
64	15996649	264	15993753	464	15987455	664	15988537	864	15999989
65	15996649	265	15994149	465	15987455	665	15989002	865	15999966
66	15996649	266	15994473	466	15987455	666	15989745	866	15999961
67	15996675	267	15994666	467	15987455	667	15990283	867	15999947
68	15996751	268	15994755	468	15987455	668	15990971	868	15999947

69	15996836	269	15994835	469	15987362	669	15991746	869	15999947
70	15996990	270	15994854	470	15987032	670	15992614	870	15999947
71	15997148	271	15994858	471	15986927	671	15993193	871	15999947
72	15997295	272	15994865	472	15986923	672	15994086	872	15999947
73	15997414	273	15994907	473	15986879	673	15994696	873	15999950
74	15997477	274	15995011	474	15986765	674	15995295	874	15999958
75	15997477	275	15995053	475	15986765	675	15995295	875	15999958
76	15997477	276	15995085	476	15986765	676	15995295	876	15999958
77	15997409	277	15995097	477	15987001	677	15994817	877	15999954
78	15997251	278	15995098	478	15987093	678	15994394	878	15999929
79	15997083	279	15995098	479	15987093	679	15994023	879	15999920
80	15996882	280	15995098	480	15987093	680	15994023	880	15999902
81	15996652	281	15994891	481	15986636	681	15994023	881	15999894
82	15996438	282	15994546	482	15986072	682	15994242	882	15999894
83	15996240	283	15994516	483	15985285	683	15994371	883	15999894
84	15996102	284	15994371	484	15984255	684	15994499	884	15999894
85	15996007	285	15993948	485	15983230	685	15994658	885	15999894
86	15995975	286	15992606	486	15982264	686	15995998	886	15999894
87	15995975	287	15992387	487	15981080	687	15996643	887	15999941
88	15995975	288	15992311	488	15980138	688	15996643	888	15999965
89	15995976	289	15992077	489	15979642	689	15996643	889	15999965
90	15995976	290	15992077	490	15979495	690	15996339	890	15999965
91	15995976	291	15991926	491	15979495	691	15995579	891	15999957
92	15995972	292	15991824	492	15979495	692	15995013	892	15999945
93	15995940	293	15991824	493	15979715	693	15994520	893	15999944
94	15995889	294	15991926	494	15980458	694	15994132	894	15999944
95	15995840	295	15991926	495	15981122	695	15993836	895	15999944
96	15995772	296	15992205	496	15981549	696	15993836	896	15999944
97	15995718	297	15992205	497	15981849	697	15993836	897	15999944
98	15995692	298	15992205	498	15982096	698	15994124	898	15999944
99	15995692	299	15992090	499	15982202	699	15994863	899	15999944
100	15995692	300	15992073	500	15982245	700	15995330	900	15999945
101	15995692	301	15991856	501	15982526	701	15996105	901	15999964
102	15995692	302	15991654	502	15982526	702	15996734	902	15999964
103	15995712	303	15991654	503	15982526	703	15997345	903	15999964
104	15995692	304	15991654	504	15982478	704	15997683	904	15999964
105	15995686	305	15991793	505	15982478	705	15998129	905	15999964
106	15995682	306	15992160	506	15982478	706	15998321	906	15999964
107	15995644	307	15992492	507	15982562	707	15998321	907	15999964
108	15995608	308	15992831	508	15982562	708	15998321	908	15999964
109	15995505	309	15993122	509	15982562	709	15998146	909	15999964
110	15995457	310	15993350	510	15982234	710	15998040	910	15999964
111	15995383	311	15993687	511	15981872	711	15998008	911	15999964
112	15995367	312	15994054	512	15981402	712	15998008	912	15999964
113	15995363	313	15994297	513	15980954	713	15998008	913	15999959
114	15995363	314	15994297	514	15980566	714	15998233	914	15999936
115	15995367	315	15994297	515	15980122	715	15998415	915	15999936
116	15995377	316	15994256	516	15979775	716	15998599	916	15999936
117	15995444	317	15994151	517	15979406	717	15998778	917	15999936
118	15995456	318	15993853	518	15978835	718	15998927	918	15999936

119	15995456	319	15993187	519	15977939	719	15998977	919	15999936
120	15995456	320	15992017	520	15977038	720	15999128	920	15999936
121	15995452	321	15990582	521	15976253	721	15999259	921	15999936
122	15995450	322	15989285	522	15975393	722	15999379	922	15999945
123	15995448	323	15988437	523	15974534	723	15999418	923	15999971
124	15995448	324	15988175	524	15973904	724	15999426	924	15999986
125	15995450	325	15987781	525	15973465	725	15999428	925	15999986
126	15995489	326	15987417	526	15973001	726	15999470	926	15999986
127	15995497	327	15987417	527	15972508	727	15999620	927	15999986
128	15995497	328	15987417	528	15972508	728	15999754	928	15999986
129	15995489	329	15987602	529	15972508	729	15999893	929	15999986
130	15995470	330	15988377	530	15972678	730	15999940	930	15999986
131	15995429	331	15989339	531	15972836	731	15999990	931	15999986
132	15995429	332	15989929	532	15973094	732	16000000	932	15999986
133	15995429	333	15990056	533	15973094	733	16000000	933	15999986
134	15995575	334	15990056	534	15973094	734	16000000	934	15999967
135	15995750	335	15990088	535	15972994	735	16000000	935	15999952
136	15995891	336	15990088	536	15972746	736	16000000	936	15999948
137	15995995	337	15990088	537	15972283	737	16000000	937	15999948
138	15996079	338	15990219	538	15972283	738	15999993	938	15999948
139	15996189	339	15990390	539	15972283	739	15999984	939	15999948
140	15996284	340	15990693	540	15972667	740	15999956	940	15999948
141	15996357	341	15990930	541	15973237	741	15999928	941	15999948
142	15996357	342	15991392	542	15973960	742	15999903	942	15999948
143	15996357	343	15991874	543	15974513	743	15999878	943	15999951
144	15996227	344	15992052	544	15975051	744	15999843	944	15999981
145	15996068	345	15992352	545	15975865	745	15999816	945	15999981
146	15995892	346	15992352	546	15976645	746	15999781	946	15999981
147	15995795	347	15992352	547	15977355	747	15999775	947	15999981
148	15995708	348	15992112	548	15978335	748	15999750	948	15999973
149	15995599	349	15991838	549	15979105	749	15999750	949	15999973
150	15995565	350	15991651	550	15979333	750	15999750	950	15999973
151	15995565	351	15991651	551	15979641	751	15999772	951	15999973
152	15995557	352	15991651	552	15979863	752	15999796	952	15999973
153	15995557	353	15991664	553	15980327	753	15999822	953	15999973
154	15995500	354	15991741	554	15980694	754	15999856	954	15999973
155	15995487	355	15991981	555	15980788	755	15999884	955	15999973
156	15995479	356	15992218	556	15981103	756	15999918	956	15999980
157	15995454	357	15992582	557	15981970	757	15999925	957	15999992
158	15995413	358	15993003	558	15982706	758	15999957	958	15999998
159	15995376	359	15993327	559	15982706	759	15999981	959	15999998
160	15995304	360	15993694	560	15982706	760	15999997	960	15999998
161	15995275	361	15993943	561	15981739	761	16000000	961	15999982
162	15995267	362	15994121	562	15980868	762	16000000	962	15999979
163	15995260	363	15994225	563	15979715	763	16000000	963	15999979
164	15995252	364	15994244	564	15978920	764	16000000	964	15999979
165	15995140	365	15994256	565	15978223	765	16000000	965	15999979
166	15995060	366	15994256	566	15977764	766	16000000	966	15999979
167	15994974	367	15994225	567	15977141	767	16000000	967	15999979
168	15994974	368	15994212	568	15975887	768	16000000	968	15999979

169	15994974	369	15994208	569	15975739	769	16000000	969	15999979
170	15995082	370	15994193	570	15975739	770	15999999	970	15999981
171	15995223	371	15994115	571	15975739	771	15999993	971	15999997
172	15995348	372	15993934	572	15976663	772	15999970	972	15999997
173	15995428	373	15993885	573	15978313	773	15999947	973	15999997
174	15995566	374	15993860	574	15978313	774	15999925	974	15999994
175	15995741	375	15993833	575	15978313	775	15999904	975	15999991
176	15995852	376	15993739	576	15977788	776	15999889	976	15999985
177	15995989	377	15993606	577	15977208	777	15999868	977	15999978
178	15996170	378	15993487	578	15977057	778	15999834	978	15999972
179	15996170	379	15993408	579	15976966	779	15999829	979	15999972
180	15996170	380	15993325	580	15976282	780	15999829	980	15999972
181	15996105	381	15993221	581	15974821	781	15999829	981	15999972
182	15996010	382	15993013	582	15974051	782	15999849	982	15999972
183	15995961	383	15992662	583	15973037	783	15999872	983	15999972
184	15995875	384	15992344	584	15973017	784	15999895	984	15999978
185	15995839	385	15992121	585	15972985	785	15999915	985	15999981
186	15995748	386	15991876	586	15972931	786	15999930	986	15999987
187	15995646	387	15991627	587	15971964	787	15999951	987	15999994
188	15995532	388	15991386	588	15971074	788	15999985	988	16000000
189	15995394	389	15991212	589	15971074	789	15999990	989	16000000
190	15995318	390	15990986	590	15971074	790	16000000	990	16000000
191	15995316	391	15990715	591	15973200	791	16000000	991	16000000
192	15995316	392	15990649	592	15975536	792	16000000	992	15999999
193	15995313	393	15990619	593	15977663	793	15999989	993	15999994
194	15995308	394	15990505	594	15979919	794	15999973	994	15999994
195	15995296	395	15990281	595	15979919	795	15999955	995	15999994
196	15995294	396	15990008	596	15979919	796	15999940	996	15999994
197	15995265	397	15989973	597	15979404	797	15999917	997	15999994
198	15995240	398	15989887	598	15978892	798	15999901	998	15999994
199	15995203	399	15989576	599	15978289	799	15999889	999	15999994
200	15995203	400	15989265	600	15976514	800	15999858	1000	15999994

e. Data Frekuensi AL 1 : AM 2 dan Bakteri E.coli

Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)	Waktu (s)	Frekuensi (Hz)
1	16000000	201	16000000	401	16000000	601	15999999	801	15999931
2	16000000	202	16000000	402	16000000	602	15999999	802	16000000
3	16000000	203	16000000	403	16000000	603	15999999	803	16000000
4	16000000	204	16000000	404	16000000	604	16000000	804	16000000
5	16000000	205	15999996	405	16000000	605	16000000	805	16000000
6	16000000	206	15999978	406	16000000	606	16000000	806	16000000
7	16000000	207	15999962	407	16000000	607	16000000	807	16000000
8	16000000	208	15999953	408	16000000	608	16000000	808	16000000
9	16000000	209	15999946	409	16000000	609	16000000	809	16000000
10	16000000	210	15999946	410	16000000	610	16000000	810	16000000
11	16000000	211	15999946	411	16000000	611	16000000	811	16000000
12	16000000	212	15999946	412	16000000	612	16000000	812	16000000
13	16000000	213	15999946	413	16000000	613	16000000	813	16000000
14	16000000	214	15999946	414	16000000	614	16000000	814	16000000

15	16000000	215	15999946	415	16000000	615	16000000	815	16000000
16	16000000	216	15999960	416	16000000	616	15999996	816	16000000
17	16000000	217	15999976	417	16000000	617	15999996	817	16000000
18	16000000	218	15999985	418	16000000	618	15999995	818	16000000
19	16000000	219	15999992	419	16000000	619	15999986	819	16000000
20	16000000	220	15999992	420	16000000	620	15999979	820	16000000
21	16000000	221	15999992	421	16000000	621	15999973	821	16000000
22	16000000	222	15999992	422	16000000	622	15999924	822	16000000
23	16000000	223	15999992	423	16000000	623	15999920	823	16000000
24	16000000	224	15999992	424	16000000	624	15999913	824	16000000
25	16000000	225	16000000	425	16000000	625	15999891	825	16000000
26	16000000	226	16000000	426	16000000	626	15999891	826	16000000
27	16000000	227	16000000	427	16000000	627	15999891	827	16000000
28	16000000	228	16000000	428	16000000	628	15999891	828	16000000
29	16000000	229	16000000	429	16000000	629	15999899	829	16000000
30	16000000	230	16000000	430	16000000	630	15999906	830	16000000
31	16000000	231	15999999	431	15999792	631	15999913	831	16000000
32	16000000	232	15999996	432	15999785	632	15999962	832	16000000
33	16000000	233	15999996	433	15999780	633	15999965	833	16000000
34	16000000	234	15999996	434	15999757	634	15999972	834	16000000
35	16000000	235	15999995	435	15999746	635	15999999	835	16000000
36	16000000	236	15999995	436	15999733	636	15999999	836	16000000
37	16000000	237	15999995	437	15999733	637	15999999	837	16000000
38	16000000	238	15999995	438	15999715	638	16000000	838	16000000
39	16000000	239	15999995	439	15999715	639	16000000	839	16000000
40	16000000	240	15999995	440	15999715	640	16000000	840	16000000
41	16000000	241	15999996	441	15999913	641	16000000	841	16000000
42	15999998	242	16000000	442	15999920	642	16000000	842	16000000
43	15999989	243	16000000	443	15999925	643	16000000	843	16000000
44	15999985	244	16000000	444	15999948	644	16000000	844	16000000
45	15999985	245	16000000	445	15999959	645	16000000	845	16000000
46	15999985	246	16000000	446	15999971	646	16000000	846	16000000
47	15999985	247	16000000	447	15999971	647	16000000	847	16000000
48	15999983	248	16000000	448	15999989	648	16000000	848	16000000
49	15999981	249	15999997	449	15999994	649	16000000	849	16000000
50	15999981	250	15999997	450	15999994	650	16000000	850	16000000
51	15999981	251	15999986	451	15999999	651	16000000	851	16000000
52	15999983	252	15999985	452	15999999	652	16000000	852	16000000
53	15999985	253	15999985	453	15999999	653	16000000	853	16000000
54	15999989	254	15999985	454	15999999	654	16000000	854	16000000
55	15999989	255	15999985	455	15999999	655	16000000	855	16000000
56	15999989	256	15999985	456	16000000	656	16000000	856	16000000
57	15999989	257	15999985	457	16000000	657	16000000	857	16000000
58	15999989	258	15999985	458	16000000	658	16000000	858	16000000
59	15999989	259	15999988	459	16000000	659	16000000	859	16000000
60	15999988	260	15999988	460	16000000	660	16000000	860	16000000
61	15999988	261	16000000	461	16000000	661	16000000	861	16000000
62	15999981	262	16000000	462	16000000	662	16000000	862	16000000
63	15999977	263	16000000	463	16000000	663	16000000	863	16000000
64	15999976	264	16000000	464	16000000	664	16000000	864	16000000

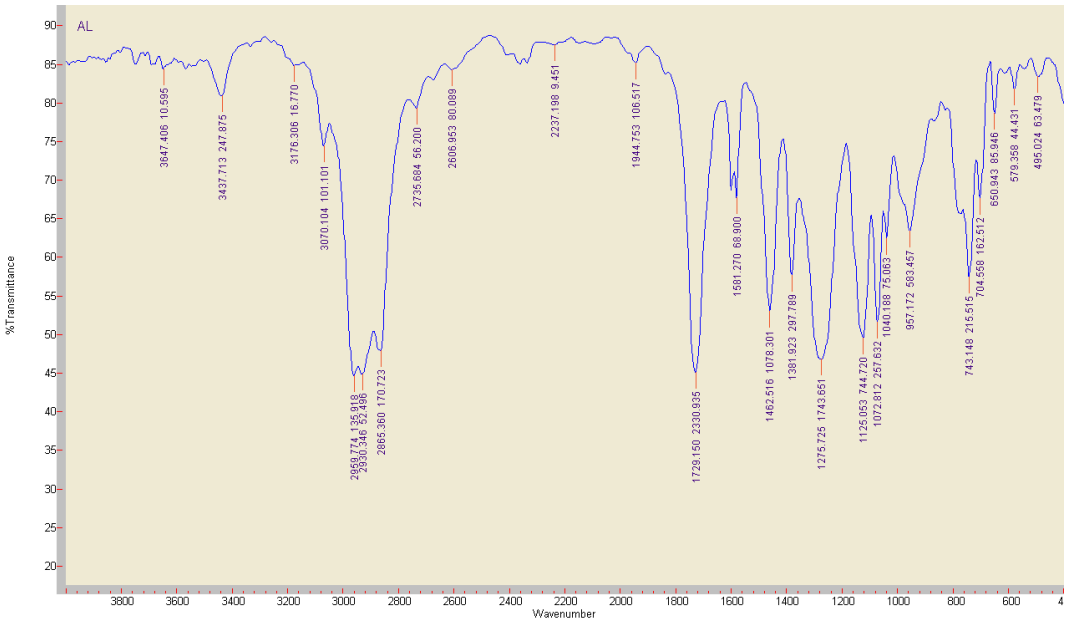
65	15999966	265	16000000	465	16000000	665	16000000	865	16000000
66	15999966	266	16000000	466	16000000	666	16000000	866	16000000
67	15999966	267	16000000	467	16000000	667	16000000	867	16000000
68	15999966	268	16000000	468	16000000	668	16000000	868	16000000
69	15999968	269	16000000	469	16000000	669	16000000	869	16000000
70	15999971	270	16000000	470	16000000	670	16000000	870	16000000
71	15999971	271	16000000	471	16000000	671	16000000	871	16000000
72	15999977	272	15999981	472	16000000	672	15999999	872	16000000
73	15999987	273	15999981	473	16000000	673	15999998	873	16000000
74	15999988	274	15999981	474	16000000	674	15999983	874	16000000
75	15999999	275	15999981	475	16000000	675	15999979	875	16000000
76	15999999	276	15999981	476	16000000	676	15999979	876	16000000
77	15999999	277	15999981	477	15999989	677	15999963	877	16000000
78	15999999	278	15999981	478	15999976	678	15999951	878	16000000
79	15999999	279	15999981	479	15999975	679	15999933	879	16000000
80	15999999	280	15999981	480	15999965	680	15999930	880	16000000
81	15999999	281	15999981	481	15999962	681	15999923	881	16000000
82	16000000	282	16000000	482	15999956	682	15999911	882	16000000
83	16000000	283	16000000	483	15999945	683	15999907	883	16000000
84	16000000	284	16000000	484	15999932	684	15999555	884	16000000
85	16000000	285	16000000	485	15999925	685	15999554	885	16000000
86	16000000	286	16000000	486	15999925	686	15999554	886	16000000
87	16000000	287	16000000	487	15999921	687	15999554	887	16000000
88	16000000	288	16000000	488	15999919	688	15999548	888	16000000
89	16000000	289	16000000	489	15999916	689	15999548	889	16000000
90	16000000	290	16000000	490	15999913	690	15999423	890	15999998
91	16000000	291	16000000	491	15999913	691	15999144	891	15999998
92	16000000	292	16000000	492	15999915	692	15999140	892	15999998
93	16000000	293	16000000	493	15999915	693	15999137	893	15999998
94	16000000	294	16000000	494	15999918	694	15999092	894	15999998
95	16000000	295	16000000	495	15999918	695	15999092	895	15999998
96	16000000	296	16000000	496	15999918	696	15999092	896	15999998
97	16000000	297	16000000	497	15999919	697	15999101	897	15999998
98	16000000	298	16000000	498	15999921	698	15999104	898	15999998
99	16000000	299	16000000	499	15999925	699	15999115	899	15999998
100	16000000	300	15999997	500	15999931	700	15999258	900	15999999
101	16000000	301	15999997	501	15999933	701	15999551	901	15999999
102	16000000	302	15999997	502	15999933	702	15999562	902	15999999
103	16000000	303	15999997	503	15999933	703	15999562	903	15999999
104	16000000	304	15999997	504	15999893	704	16000000	904	15999999
105	16000000	305	15999997	505	15999891	705	16000000	905	15999999
106	16000000	306	15999997	506	15999889	706	16000000	906	15999999
107	16000000	307	15999997	507	15999500	707	16000000	907	15999999
108	16000000	308	15999997	508	15999491	708	16000000	908	16000000
109	16000000	309	15999997	509	15999483	709	16000000	909	16000000
110	16000000	310	16000000	510	15999483	710	16000000	910	16000000
111	16000000	311	16000000	511	15999350	711	16000000	911	16000000
112	16000000	312	16000000	512	15999350	712	16000000	912	16000000
113	16000000	313	16000000	513	15999346	713	16000000	913	16000000
114	16000000	314	16000000	514	15999341	714	16000000	914	16000000

115	16000000	315	16000000	515	15999341	715	15999999	915	16000000
116	16000000	316	16000000	516	15999361	716	15999999	916	16000000
117	16000000	317	16000000	517	15999358	717	15999999	917	16000000
118	16000000	318	16000000	518	15999358	718	15999999	918	16000000
119	16000000	319	16000000	519	15999361	719	15999999	919	16000000
120	16000000	320	16000000	520	15999361	720	15999999	920	16000000
121	16000000	321	16000000	521	15999487	721	15999999	921	16000000
122	16000000	322	16000000	522	15999501	722	15999999	922	16000000
123	15999995	323	16000000	523	15999503	723	15999999	923	16000000
124	15999986	324	16000000	524	15999522	724	15999999	924	16000000
125	15999986	325	16000000	525	15999944	725	16000000	925	16000000
126	15999986	326	16000000	526	15999944	726	16000000	926	16000000
127	15999986	327	16000000	527	15999951	727	16000000	927	16000000
128	15999986	328	16000000	528	15999954	728	16000000	928	16000000
129	15999986	329	16000000	529	15999954	729	16000000	929	15999998
130	15999986	330	16000000	530	15999956	730	16000000	930	15999998
131	15999986	331	16000000	531	15999960	731	16000000	931	15999998
132	15999986	332	16000000	532	15999960	732	16000000	932	15999998
133	15999991	333	16000000	533	15999960	733	16000000	933	15999998
134	16000000	334	16000000	534	15999961	734	16000000	934	15999998
135	16000000	335	16000000	535	15999961	735	16000000	935	15999998
136	16000000	336	16000000	536	15999959	736	16000000	936	15999998
137	16000000	337	16000000	537	15999959	737	16000000	937	15999998
138	16000000	338	16000000	538	15999961	738	15999997	938	15999998
139	16000000	339	16000000	539	15999961	739	15999997	939	16000000
140	16000000	340	16000000	540	15999968	740	15999997	940	16000000
141	16000000	341	16000000	541	15999968	741	15999997	941	16000000
142	16000000	342	16000000	542	15999968	742	15999997	942	16000000
143	16000000	343	16000000	543	15999968	743	15999997	943	16000000
144	16000000	344	16000000	544	15999968	744	15999997	944	16000000
145	16000000	345	16000000	545	15999968	745	15999997	945	16000000
146	16000000	346	16000000	546	15999969	746	15999997	946	16000000
147	16000000	347	15999993	547	15999973	747	15999997	947	16000000
148	16000000	348	15999990	548	15999974	748	15999998	948	16000000
149	16000000	349	15999990	549	15999974	749	15999998	949	16000000
150	16000000	350	15999990	550	15999975	750	15999998	950	16000000
151	16000000	351	15999990	551	15999976	751	15999998	951	16000000
152	16000000	352	15999983	552	15999979	752	15999998	952	16000000
153	16000000	353	15999965	553	15999982	753	15999998	953	16000000
154	16000000	354	15999957	554	15999990	754	15999994	954	16000000
155	16000000	355	15999956	555	15999990	755	15999994	955	16000000
156	16000000	356	15999937	556	15999991	756	15999994	956	16000000
157	16000000	357	15999933	557	15999993	757	15999993	957	16000000
158	16000000	358	15999932	558	15999996	758	15999991	958	16000000
159	16000000	359	15999926	559	15999997	759	15999991	959	16000000
160	16000000	360	15999917	560	15999999	760	15999990	960	16000000
161	15999992	361	15999908	561	15999999	761	15999982	961	16000000
162	15999992	362	15999906	562	15999999	762	15999977	962	16000000
163	15999992	363	15999747	563	15999999	763	15999976	963	16000000
164	15999992	364	15999747	564	16000000	764	15999848	964	16000000

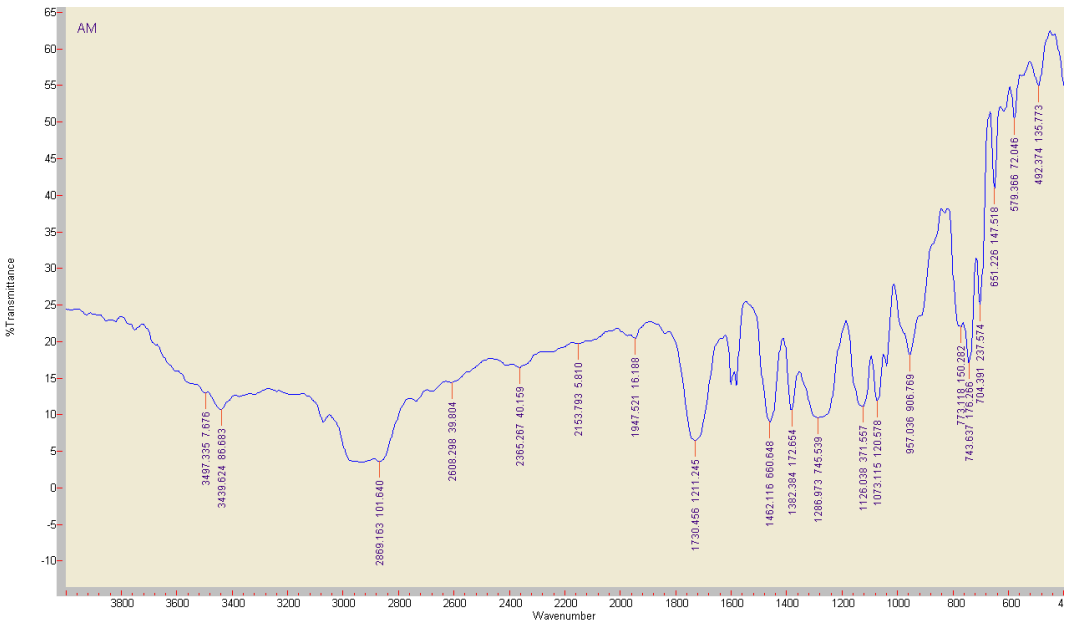
165	15999992	365	15999747	565	16000000	765	15999848	965	16000000
166	15999992	366	15999754	566	16000000	766	15999848	966	16000000
167	15999991	367	15999754	567	16000000	767	15999850	967	16000000
168	15999991	368	15999757	568	16000000	768	15999850	968	16000000
169	15999991	369	15999758	569	16000000	769	15999850	969	16000000
170	15999991	370	15999764	570	16000000	770	15999853	970	15999996
171	15999998	371	15999776	571	16000000	771	15999861	971	15999993
172	15999999	372	15999780	572	16000000	772	15999865	972	15999984
173	15999999	373	15999958	573	16000000	773	15999867	973	15999970
174	15999999	374	15999974	574	16000000	774	16000000	974	15999966
175	15999999	375	15999982	575	16000000	775	16000000	975	15999964
176	15999999	376	15999983	576	16000000	776	16000000	976	15999964
177	16000000	377	15999983	577	16000000	777	16000000	977	15999962
178	16000000	378	15999994	578	16000000	778	16000000	978	15999958
179	16000000	379	15999996	579	16000000	779	16000000	979	15999954
180	16000000	380	15999999	580	16000000	780	16000000	980	15999954
181	16000000	381	15999999	581	16000000	781	16000000	981	15999954
182	16000000	382	15999999	582	16000000	782	16000000	982	15999964
183	16000000	383	16000000	583	16000000	783	16000000	983	15999977
184	16000000	384	16000000	584	16000000	784	16000000	984	15999981
185	16000000	385	16000000	585	16000000	785	15999998	985	15999983
186	16000000	386	16000000	586	16000000	786	15999998	986	15999983
187	16000000	387	16000000	587	16000000	787	15999998	987	15999985
188	16000000	388	16000000	588	16000000	788	15999987	988	15999990
189	16000000	389	16000000	589	16000000	789	15999973	989	16000000
190	16000000	390	16000000	590	16000000	790	15998272	990	16000000
191	16000000	391	16000000	591	16000000	791	15998263	991	16000000
192	16000000	392	16000000	592	16000000	792	15998194	992	16000000
193	16000000	393	16000000	593	16000000	793	15998194	993	16000000
194	16000000	394	16000000	594	15999999	794	15998194	994	16000000
195	16000000	395	16000000	595	15999999	795	15998196	995	16000000
196	16000000	396	16000000	596	15999999	796	15998196	996	16000000
197	16000000	397	16000000	597	15999999	797	15998196	997	15999999
198	16000000	398	16000000	598	15999999	798	15998207	998	15999999
199	16000000	399	16000000	599	15999999	799	15998221	999	15999997
200	16000000	400	16000000	600	15999999	800	15999922	1000	15999997

Lampiran 2 Hasil Pengujian Gugus Fungsi

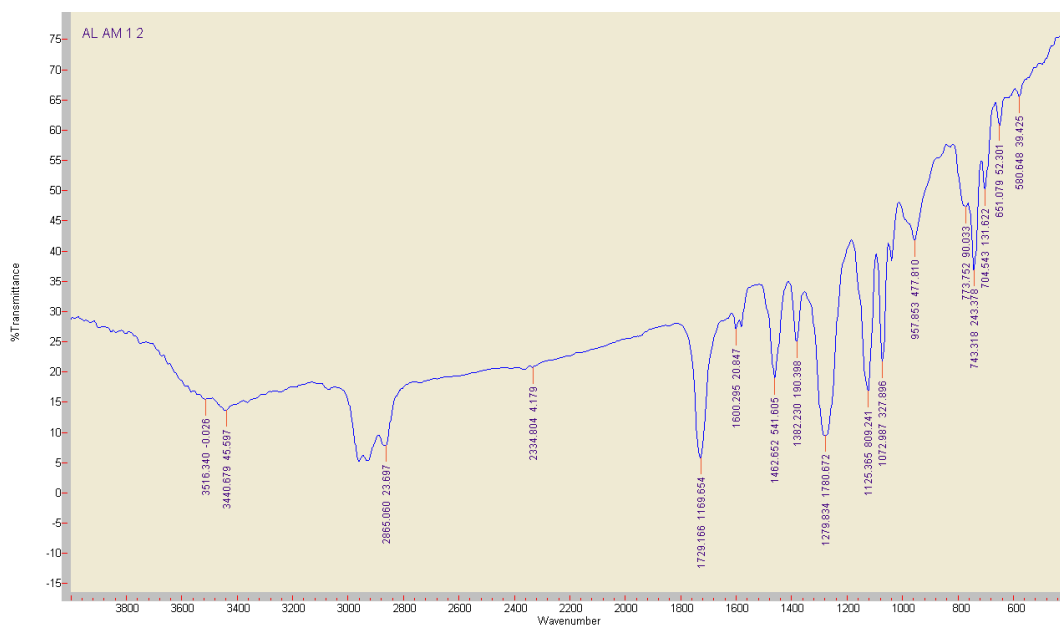
a. Membran Asam Laurat



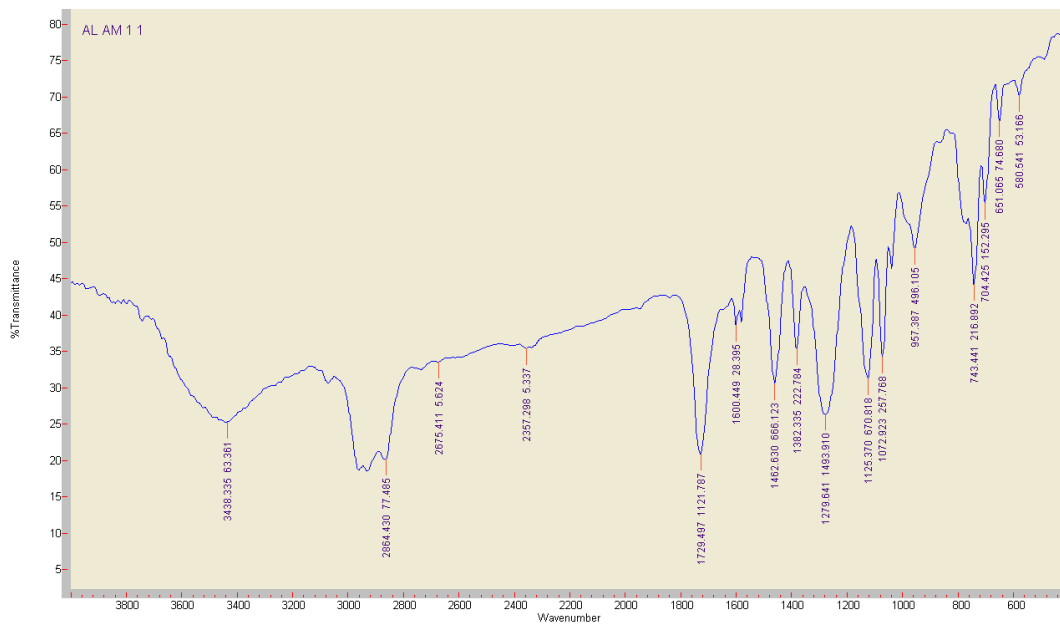
b. Membran Asam Miristat



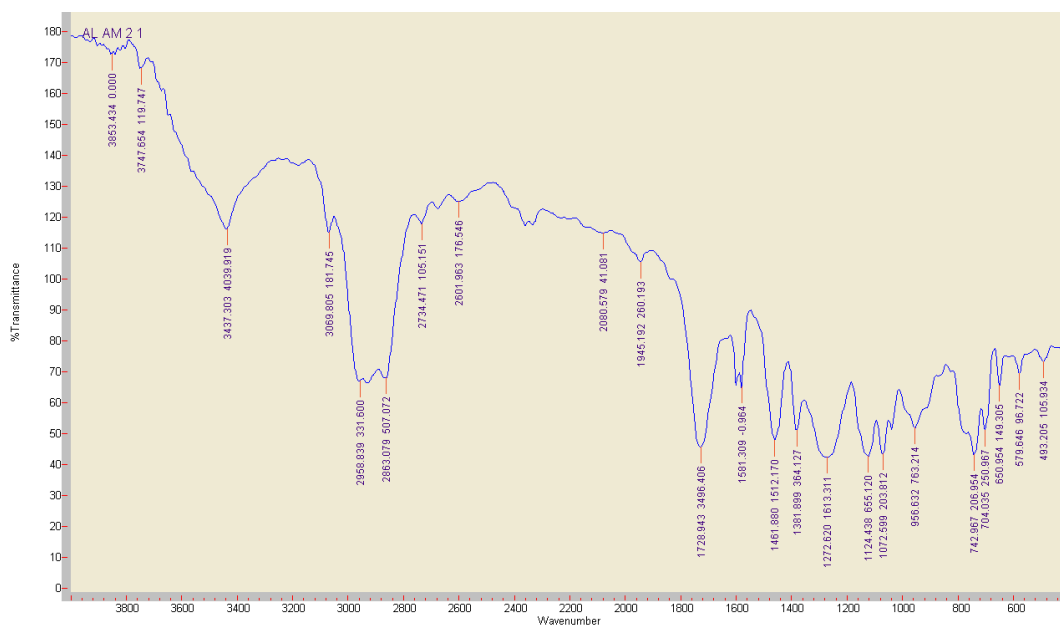
c. Membran AL 1 : AM 2



d. Membran AL 1 : AM 1



e. Membran AL 2 : AM 1



Lampiran 3 Gambar Penelitian



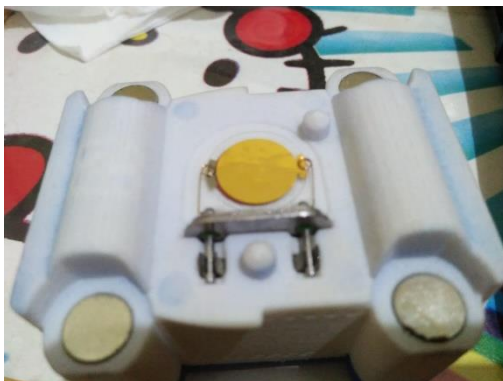
Bahan utama asam laurat
& asam miristat



Sensor QCM elektroda
emas



Sensor QCM pada
holder



Sensor QCM pada rangkaian QCM



Pengenceran bakteri *e.coli*



Pengambilan data frekuensi pada
sensor QCM



Airbrush