

**RANCANG BANGUN RANGKAIAN OSILATOR SEDERHANA 10 MHz
UNTUK MENGUKUR FREKUENSI SENSOR QCM BERBASIS
ARDUINO UNO R3**

SKRIPSI

**Oleh:
SANDY NUR WIDYANINGSIH
NIM. 200604110023**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**RANCANG BANGUN RANGAIAN OSILATOR SEDERHANA 10 MHz
UNTUK MENGUKUR FREKUENSI SENSOR QCM BERBASIS
ARDUINO UNO R3**

SKRIPSI

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

**Oleh:
SANDY NUR WIDYANINGSIH
NIM. 200604110023**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN RANGKAIAN OSILATOR SEDERHANA 10 MHz
UNTUK MENGUKUR FREKUENSI SENSOR QCM BERBASIS ARDUINO
UNO R3

SKRIPSI

Oleh:
SANDY NUR WIDYANINGSIH
NIM. 200604110023

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
4 Desember 2024

Pembimbing I



Muthmainnah, M.Si
NIP. 19860325 201903 2 009

Pembimbing II



Rusli, M.Si
NIP. 19860715 202012 1 003

Mengetahui
Ketua Program Studi



Desy Tazli, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN RANGAIAN OSILATOR SEDERHANA 10 MHz UNTUK MENGUKUR FREKUENSI SENSOR QCM BERBASIS ARDUINO UNO R3

SKRIPSI

Oleh:
Sandy Nur Widyaningsih
NIM. 200604110023

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal, 11 Desember 2024

Penguji Utama	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	<u>Naqibatin Nadliriyah, S.Si, M.Si</u> NIP. 19920221 201903 2 020	
Sekretaris Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Anggota Penguji	<u>Rusli, M.Si</u> NIP. 19880715 202012 1 003	

Mengetahui
Ketua Program Studi



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Sandy Nur Widyaningsih
NIM : 200604110023
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Rancang Bangun Rangkaian Osilator Sederhana 10 MHz
Untuk Mengukur Frekuensi Sensor QCM Berbasis
Arduino Uno R3

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 mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku

Malang, 14 Desember 2024
Yang Membuat Pernyataan,

A circular official stamp from Universitas Brawijaya (UB) is visible. The stamp contains the text "UNIVERSITAS BRAWIJAYA" around the perimeter and "METER TEMPS" in the center. A handwritten signature is written over the stamp.

Sandy Nur Widyaningsih
NIM. 200604110023

MOTTO

*"Barang siapa ingin mutiara, harus berani terjun di lautan
yang dalam"*

-Ir. Soekarno

*"Mungkin kamu bisa mengandalkan semua orang, tetapi
yang bisa kamu andalkan hanyalah dirimu sendiri"*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah yang telah memberikan kesempatan dan kemudahan dalam proses pengerjaan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa cahaya kebenaran dan menerangi hati kita dengan perbuatan mulia. Karya skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Januri Ibu Ngestiningsih. Terima kasih telah hadir dalam hidupku, menemani dan menjadi pelita yang selalu menerangi jalanku, serta selalu mendoakanku. Maaf, Sandy belum bisa menjadi apa yang Bapak dan Ibu inginkan
2. Adik – adikku tercinta Mifthakul Rizki dan Junika Ayu Ramadani
3. Kakek dan nenek ku, terutama Alm. Kakek Ngajimin. Disini saya ingin meminta maaf, karena akhir – akhir ini saya terlalu fokus mengerjakan skripsi dan jarang mengunjungi Alm. Kakek
4. Saya sendiri *Sandy Nur Widyaningsih*, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada diri saya sendiri, yang telah berusaha sampai pada titik ini. Dan pesan untuk diri saya sendiri agar selalu belajar, berusaha mencapai semua impian, selalu berdoa dan meminta pertolongan kepada Allah, tidak mudah putus asa, serta percaya pada diri sendiri dan jangan pernah lagi meremehkan dirimu sendiri

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrihim

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah beserta karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul **“Rancang Bangun Rangkaian Osilator Sederhana 10 MHz Untuk Mengukur Frekuensi Sensor QCM Berbasis Arduino Uno R3”**.

Adapun tujuan dari penulisan proposal penelitian ini yaitu sebagai syarat untuk pembuatan skripsi Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak-pihak yang telah memberi dukungan dalam bentuk moril ataupun materil sehingga dalam pembuatan proposal penelitian ini terselesaikan. Sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis Bapak Januri dan Ibu Ngestinengsih penulis yang selalu memberikan doa, dan dukungan baik moril maupun materil
2. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Ibu Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M. Si selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
5. Ibu Muthmainnah, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa membimbing dan meluangkan waktu dalam proses penyusunan skripsi

6. Bapak Rusli, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi Sains dan Islami yang telah membantu, memberikan arahan dan solusi terhadap permasalahan Integrasi Al – Qur'an dalam proses penyusunan skripsi
7. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si dan Ibu Naqiibatin Nadliriyah, S.Si. M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam skripsi ini
8. Bapak Farid Samsu Hananto, M.T selaku Dosen Wali yang selalu memberikan arahan dan bimbingan
9. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
10. Serta teman-teman kontrakan Asrama Beracun dan teman – teman fisika angkatan 2020 yang selalu memberikan dukungan

Meskipun penulis telah berusaha menyelesaikan proposal penelitian masih terdapat kekurangan. Sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca, guna menyempurnakan kekurangan penyusunan proposal penelitian.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih. Semoga proposal penelitian ini bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 14 Desember 2024

Penulis

Sandy Nur Widyaningsih
NIM. 200604110023

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
المُلخَص	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Penelitian	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1 QCM (Quartz Crystal Microbalance)	6
2.2 Rangkaian Osilator	11
2.3 Frequency Counter	13
2.4 Arduino Uno	15
2.5 Komunikasi Data	17
2.6 Penelitian Relevan	18
 BAB III METODE PENELITIAN	 20
3.1 Jenis Penelitian	20
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.4 Diagram Alir Penelitian	23
3.5 Diagram Alir Rangkaian	23
3.6 Diagram Blok Rangkaian Alat	24
3.7 Rangkaian Skematik Osilator	24
3.8 Rangkaian Skematik Frequency Counter dan Pengiriman Data	25
3.9 Kalibrasi Rangkaian Alat dan Pengambilan Data Akurasi dan Presisi ..	26
3.10 Analisis dan Pengolahan Data	27
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 28

4.1	Pembuatan Alat	28
4.2	Pembuatan Rangkaian Osilator	30
4.3	Pembuatan Rangkaian Frequency Counter	31
4.4	Pengujian Akurasi dan Presisi Rangkaian Sistem	32
4.5	Pembahasan.....	34
4.6	Integrasi Penelitian dengan Al-Qur'an	36
BAB V	PENUTUP.....	40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kontruksi sensor QCM	7
Gambar 2. 2 Skema temuan Sauerbrey	9
Gambar 2. 3 Rangkaian PCB Arduino shild	11
Gambar 2. 4 Rangkaian osilator: (a) Diagram skematik, (b) Papan sirkuit PCB ..	12
Gambar 2. 5 Papan Arduino Uno	16
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3. 2 Diagram alir rangkaian alat	23
Gambar 3. 3 Diagram alir rangkaian alat	24
Gambar 3. 4 Rangkaian osilator <i>pierce</i>	25
Gambar 3. 5 Rangkaian skematik frequency counter	25
Gambar 4. 1 Diagram kerja rangkaian alat	29
Gambar 4. 2 Rangkaian Osilator	30
Gambar 4. 3 Hasil pengujian rangkaian osilator	30

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi sensor QCM frekuensi 10 MHz	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Uno R3	16
Tabel 3. 1 Jadwal penelitian	21
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan.....	22
Tabel 3. 3 Pengambilan data frekuensi	27
Tabel 4. 1 Data frekuensi	32
Tabel 4. 2 Data hasil perhitungan standar deviasi, akurasi dan presisi.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengukuran Frekuensi	45
Lampiran 2 Data Standar Seviiasi, Akurasi dan Presisi.....	47
Lampiran 3 Pemrograman.....	49
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian.....	59

ABSTRAK

Widyaningsih, Sandy Nur. 2024. Rancang Bangun Rangkaian Osilator Sederhana 10 MHz Untuk Mengukur Frekuensi Sensor QCM Berbasis Arduino Uno R3. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi , Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Muthmainnah, M.Si (II) Rusli, M.Si

Kata Kunci: Rangkaian Osilator; QCM; *Frequency Counter*; Arduino Uno R3

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan salah satu sensor yang digunakan untuk mengukur perubahan massa pada tingkat molekuler pada permukaan kristal kuarsa. Pengukuran sensor QCM terdiri dari rangkaian osilator, penghitung frekuensi dan PC. Keakuratan dan presisi sensor bergantung pada kinerja rangkaian osilator. Penelitian ini merancang sebuah rangkaian sistem pengukur frekuensi sensor QCM berbiaya rendah. Penelitian ini juga melakukan evaluasi rangkaian sistem penghitung frekuensi, dengan menentukan akurasi dan presisi pada rangkaian sistem. Rangkaian sistem yang dibuat terdiri dari 4 buah rangkaian osilator, 4 buah penghitung frekuensi, sebuah mikrokontroler sebagai pengatur pengiriman data hasil pembacaan frekuensi. Penggunaan Arduino Uno R3 sebagai penghitung frekuensi dapat membaca frekuensi 7 MHz, stabil pada rentang frekuensi 1 – 6,5 MHz. Sedangkan untuk rangkaian osilator yang dibuat dapat menghasilkan frekuensi 10 MHz. Hasil analisis data menunjukkan bahwa nilai rata – rata standar deviasi rangkaian sistem sebesar 16,203394. Koefisien variasi (KV) sebesar 0,000537%, dengan presisi rata – rata sebesar 99,99949%. Sedangkan untuk rata – rata akurasi dari rangkaian sistem pembaca frekuensi sebesar 98%.

ABSTRACT

Widyaningsih, Sandy Nur. 2024. Simple Oscillator Circuit Design 10 MHz To Measure QCM Sensor Frequency Based On Arduino Uno R3. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor: (I) Muthmainnah, M.Si (II) Rusli, M.Si

Keywords: Oscillator Circuit; QCM; Frequency Counter; Arduino Uno R3

Quartz Crystal Microbalance (QCM) is a sensor used to measure mass changes at the molecular level on the surface of a quartz crystal. The measurement of a QCM sensor consists of an oscillator circuit, a frequency counter, and a PC. The accuracy and precision of the sensor depend on the performance of the oscillator circuit. This research designs a low-cost QCM frequency measurement system circuit. This research also evaluates the frequency counting system circuit, by determining the accuracy and precision of the system circuit. The system circuit consists of 4 oscillator circuits, 4 frequency counters, and a microcontroller as a data controller for the results of frequency readings. The use of Arduino Uno R3 as a frequency counter can read frequencies of 7 MHz, stable in the frequency range of 1-6.5 MHz. Meanwhile, the oscillator circuit that was made can produce a frequency of 10 MHz. The results of data analysis show that the average standard deviation of the system circuit is 16.203394. The coefficient of variation (CV) is 0.000537%, with an average precision of 99,99949%. Meanwhile, the average accuracy of the frequency reading system circuit is 98%.

الملخص

ويديانينجسيه، ساندي نور. ٢٠٢٠ ٤. تصميم وبناء دائرة مذبذبة بسيطة بعشرة ميغاهرتز لقياس تردد حساس QCM على أساس Arduino Uno R3. أطروحة. برنامج دراسة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف : (١) مثمينة . ماجستير العلوم، بكالوريوس العلوم، (٢) روسلي، ماجستير العلوم

الكلمات المفتاحية: دائرة المذبذب؛ QCM؛ عداد التردد؛ Arduino Uno R3

مجس الكوارتز البلوري الدقيق (QCM) هو أحد أجهزة الاستشعار المستخدمة لقياس تغيرات الكتلة على المستوى الجزيئي على سطح بلورات الكوارتز. يتكون قياس مستشعر QCM من دائرة مذبذب وعداد تردد وجهاز كمبيوتر. تعتمد دقة ودقة المستشعر على أداء دائرة المذبذب. يقوم هذا البحث بتصميم نظام قياس تردد مستشعر QCM منخفض التكلفة لقياس التردد. يقوم هذا البحث أيضًا بتقييم دائرة نظام عداد التردد، من خلال تحديد دقة ودقة دائرة النظام. يتكون النظام من 4 دوائر مذبذب، و 4 عدادات تردد، ومتحكم دقيق كمنظم لنقل بيانات قراءات التردد. يمكن لاستخدام Arduino Uno R3 3 كعداد تردد قراءة تردد 7 ميغاهرتز، وهو مستقر في نطاق التردد من 1 - 6.5 ميغاهرتز. وفي الوقت نفسه، يمكن لدائرة المذبذب المصنوعة إنتاج تردد 10 ميغاهرتز. تُظهر نتائج تحليل البيانات أن متوسط قيمة الانحراف المعياري لدائرة النظام هو 16.203394. ويبلغ معامل التباين (KV)% 0.00053، بمتوسط دقة يبلغ 99.99949%. أما بالنسبة لمتوسط دقة دائرة نظام قارئ الترددات فيبلغ 98%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur perubahan massa pada permukaan kristal kuarsa. Prinsip dasar operasi sensor QCM melibatkan perubahan frekuensi resonansi dari kristal kuarsa yang disebabkan adanya perubahan massa pada permukaannya. Sensor QCM dikembangkan pada tahun 1960 (Barzinjy & Baiz, 2022). Pengukuran menggunakan sensor QCM terdiri dari osilator, *Frequency Counter* atau pencacah frekuensi, *power supply*, komputer dan monitor. Rangkaian osilator berfungsi untuk menghasilkan getaran atau osilasi pada kristal kuarsa. Osilasi yang dihasilkan sensor akan mendeteksi perubahan massa yang terjadi pada permukaan sensor QCM. Pencacah frekuensi berfungsi untuk mengukur perubahan frekuensi osilasi kristal kuarsa. *Power supply* berfungsi sebagai penyedia tegangan untuk pengoperasian rangkaian elektronik pada sensor. Komputer dan monitor berfungsi sebagai pengelola, pengontrol dan untuk menampilkan data yang dihasilkan sensor (Hudha et al., 2017).

Sensor QCM memiliki kepekaan atau sensitivitas tinggi terhadap perubahan massa dengan ukuran mikrogram sampai nanogram sehingga sensor QCM sering digunakan untuk mendeteksi perubahan massa pada tingkat molekuler. Sensor QCM memiliki respons yang cepat sehingga memungkinkan pemantauan secara *real – time*. Stabilitas frekuensi sensor QCM tinggi memungkinkan sensor untuk mempertahankan tingkat akurasi dan kestabilan yang tinggi selama penggunaan jangka panjang. Seiring dengan berjalannya waktu ilmuwan mengembangkan sensor QCM sebagai alat atau sistem pendeteksi konsentrasi zat, kualitas udara, pendeteksi

zat berbahaya, pendeteksi kualitas air, pendeteksi molekul biologis seperti protein, DNA, mendeteksi konsentrasi zat dan lain sebagainya. Al-Qur'an menekankan pentingnya menyeimbangkan kemajuan teknologi dengan etika Islam, pengembangan teknologi harus difokuskan untuk kemaslahatan umat manusia dengan mempertimbangkan kelestarian lingkungan dan sosil. Meskipun kemajuan teknologi tidak dibahas secara langsung di dalam Al-Qur'an, akan tetapi nilai – nilai dan ajaran etika dalam Al-Qur'an dapat diterapkan dalam konteks teknologi. QS. Ar-Rum [30]: 41 menjelaskan bahwa:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan manusia ; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S Ar-Rum [30]: 41)

Terkait ayat tersebut, M Yunan Yusuf dalam Tafsir Al-Qur'an Juz 21 menuliskan bahwa yang maksud dari kerusakan pada ayat tersebut adalah polusi udara yang tinggi, pencemaran air sungai, pembakaran sampah dan semakin berkurangnya hutan – hutan sebagai paru – paru dunia. Di akhir ayat tersebut dijelaskan bahwa Allah memperlihatkan semua agar manusia sadar apa yang telah manusia perbuat dapat merusak bumi. Sehingga manusia akan kembali ke ajaran syariat agama dalam hal memelihara alam dengan benar (Qatrunnada, 2023). Dalam hal ini, teknologi QCM yang dikembangkan dapat mengatasi permasalahan lingkungan saat ini, seperti pencemaran udara, air dan lain sebagainya. Dengan kepekaan atau sensitivitas tinggi yang dimiliki sensor QCM dapat mengidentifikasi potensi masalah polusi dan mengambil tindakan korektif dengan lebih cepat.

Peningkatan sensitivitas sensor QCM dapat dilakukan dengan cara memodifikasi rangkaian osilator. Penggunaan rangkaian osilator yang tepat pada sensor QCM memiliki beberapa keuntungan yaitu tingkat stabilitas frekuensi yang

baik, resolusi frekuensi yang tinggi dan sinyal osilasi yang stabil (Montagut et al., 2011). Penelitian oleh Pardo et al. (2018) bertujuan membuat desain osilator jembatan aktif 9 MHz untuk aplikasi cairan. Hasil dari pembuatan rangkaian osilator tersebut akan dibandingkan dengan osilator miller. Dari hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa meskipun osilator jembatan aktif memiliki tingkat redaman yang tinggi, osilator miller menunjukkan resolusi yang lebih baik.

Beibner et al. (2017) melakukan penelitian untuk merancang rangkaian osilator yang dapat mengukur cairan dengan biaya rendah. Mereka menambahkan loop kontrol untuk mengatur tegangan, sehingga dapat mengkompensasi peningkatan disipasi energi akibat redaman viskositas dan menjaga osilasi tetap stabil. Hudha et al. (2017) fokus pada pengembangan sistem embedded untuk pengukuran frekuensi sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM). Mereka menambahkan pencacah frekuensi pada sistem tersebut. Hasil pengembangan sistem ini menciptakan sistem pengukuran frekuensi portabel yang mampu menampilkan grafik hasil pengukuran secara *real-time* dan menyimpan data pengukuran.

Berdasarkan penelitian – penelitian sebelumnya terdapat beberapa permasalahan seperti stabilitas frekuensi, sensitivitas terhadap lingkungan, biaya produksi atau pembuatan dan pemeliharaan yang mahal. Sehingga dilakukanlah pengembangan alat yaitu rancang bangun rangkaian osilator sederhana untuk sensor QCM.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan penelitian sebelumnya, perkembangan osilator *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) terus dilakukan. Peningkatan terus – menerus diperlukan untuk mendapatkan osilator yang mampu mengukur dengan stabilitas tinggi,

sensitivitas yang baik, dan biaya produksi yang rendah. Sejalan dengan upaya tersebut, penelitian ini akan mengembangkan sebuah rangkaian osilator sederhana bertujuan untuk mengukur frekuensi sensor QCM. Dengan memanfaatkan platform Arduino IDE, pengembangan ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dan terjangkau untuk meningkatkan kinerja osilator QCM, memperluas aplikasi teknologi ini, dan mendukung penggunaan yang lebih luas dalam berbagai konteks pengukuran. Pada penelitian ini dilakukan pelapisan sensor QCM menggunakan membran untuk meningkatkan sensitivitas sensor QCM.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana akurasi rangkaian osilator dan *frequency counter*?
2. Bagaimana presisi rangkaian osilator dan *frequency counter*?

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui akurasi rangkaian osilator dan *frequency counter*
2. Untuk mengetahui presisi rangkaian osilator dan *frequency counter*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat mempermudah pengukuran frekuensi dengan 4 input
2. Memberikan kontribusi untuk penelitian berbagai bidang fisika
3. Dengan biaya pembuatan rangkaian osilator dan *frequency counter* yang rendah, diharapkan dapat menekan biaya penelitian yang menggunakan sensor QCM

4. Dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk penelitian selanjutnya, terutama pengembangan sistem pengukuran frekuensi menggunakan QCM.

1.6 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yaitu:

1. Pengujian akurasi dan presisi rangkaian osilator dan *frequency counter* menggunakan osiloskop yang tersedia Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi program studi fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Penelitian hanya berfokus pada rangkaian osilator dan *frequency counter*
3. Aplikasi yang dipakai yaitu Arduino IDE, Microsoft Excel dan PLX-DAQ
4. Hasil dari pembacaan sensor akan ditampilkan dalam bentuk angka di *software* Microsoft Excel
5. *Input* sinyal frekuensi yang digunakan *function generator* yang tersedia di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 QCM (Quartz Crystal Microbalance)

Quartz Crystal Microbalance atau sensor QCM adalah sensor pendeteksi massa, yang mampu mengukur massa pada tingkat nanogram apabila didasarkan pada mode geser ketebalan kristal *piezoelektrik* yang diatur pada frekuensi tertentu. Pengukuran merupakan unsur penting dalam pengembangan ilmu fisika, pengukuran dapat meningkatkan efisiensi, akurasi dan produktivitas serta membantu dalam mengembangkan inovasi yang lebih efektif dan efisien. Di dalam Al-Qur'an juga telah dijelaskan bahwa segala sesuatu yang diciptakan Allah mempunyai ukuran tertentu, sebagaimana disebutkan dalam QS. Al-Qamar ayat 49 dan Al-Furqan ayat 2 sebagai berikut:

الَّذِي لَهُ مُلْكُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا بَيْنَهُمَا وَمَا دُونَ ذَلِكَ وَهُوَ الْعَزِيزُ الْغَفُورُ

Artinya: “(Yaitu Zat) yang milik – Nyalah kerajaan langit dan bumi, (Dia) tidak mempunyai anak, dan tidak ada sekutu pun dalam kekuasaan(Nya). Dia telah menciptakan segala sesuatu, lalu menetapkan ukuran – ukurannya dengan tepat”. (QS. Al-Furqan[25]: 2)

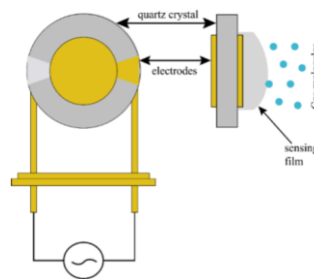
إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ

Artinya: “*Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu sesuai dengan ukuran*”(QS. Al- Qamar[54]: 49)

Ayat – ayat tersebut mengisyaratkan kata “ukuran” adalah apa yang ada di alam dapat dinyatakan dalam dua peran yaitu sebagai bilangan dengan sifat dan ketelitian yang terkandung di dalamnya dan juga sebagai hukum dan aturan. Ukuran yang baik berperan sebagai bilangan maupun hukum dan aturan, keduanya tersusun dalam suatu sistematika yang rapi dan keterkaitan satu sama lain. Telah teruji bahwa hukum – hukum fisika akan selalu berlaku sampai kapan pun, bahkan

kecenderungan tidak saja pada benda mati atau disebut materi / zat, namun juga pada perilaku makhluk hidup termasuk manusia, hal tersebut sangat dimungkinkan karena dalam ilmu fisika sifat atau gejala fisis dari suatu benda selalu dinyatakan dengan simbol dan mempunyai nilai atau harga tertentu (Fatkhurohman & Syam, 2023).

Pengukuran QCM mampu mendeteksi kekasaran permukaan, viskoelastisitas, kepadatan dan massa secara *real time* (Aliza Aini Ralib et al., 2021).



Gambar 2.1 Kontruksi sensor QCM (Aliza Aini Ralib et al., 2021)

QCM merupakan osilator elektromekanis yang terdiri dari potongan kristal kuarsa *AT-cut* tipis dengan elektron logam yang diendapkan pada permukaan QCM (Ummah, 2018). Bahan yang digunakan untuk pembuatan QCM yaitu kristal SiO_2 berbentuk kepingan berfungsi sebagai resonator yang dapat menghasilkan frekuensi (Rivai, 2009). Kristal SiO_2 biasanya diapit oleh dua elektroda penghantar. Kristal SiO_2 memiliki sifat *piezoelectric*, yaitu kemampuan untuk menghasilkan tegangan listrik ketika diberikan tegangan mekanik dan ketika diberikan tegangan listrik maka akan berubah bentuk mekaniknya. Sifat *piezoelectric* akan menghasilkan resonansi listrik, dengan cara memberikan tegangan listrik pada kristal sehingga kristal bergetar pada frekuensi tertentu (Wicaksono et al., 2014).

Sensor QCM bekerja berdasarkan sifat *piezoelektrik*, dan frekuensi resonansi dari QCM dipengaruhi adanya pada sudut potongan, ketebalan dan bahan kristal.

Potongan kristal yang dibentuk dengan arah potong pada sumbu kelistrikan dan mekaniknya, sehingga sensor QCM mengalami akan deformasi (perubahan bentuk mekanik ketika diberikan tegangan listrik). Ketika kedua sisi kepingan diberikan potensial listrik, maka akan mengalami deformasi dalam arah bolak balik sesuai dengan polaritas potensial listriknya. QCM dapat dimodelkan berdasarkan sifat elektromagnetiknya dengan model listrik yang tersusun dari elemen resistif, kapasitif, dan induktif (Wahyuni et al., 2012).

Teknologi QCM pada dasarnya merupakan keseimbangan untuk massa pengukuran massa yang sangat kecil. Kemampuan pengukuran massa bermula dari penemuan Sauerbrey pada tahun 1958, menyatakan bahwa hubungan antara perubahan frekuensi resonansi kristal pada QCM linier dengan perubahan massa. Pernyataan tersebut dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$\Delta m = -C \frac{\Delta f}{n} \quad (2.1)$$

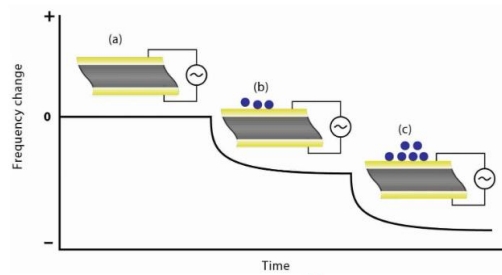
Keterangan : Δm = Massa (kg)

C = Konstanta sensitivitas (4.4 ng/cm² Hz)

n = Bilangan harmonik ($n = 1, 3, 5 \dots$)

Δf = Perubahan frekuensi resonansi (Hz)

Persamaan 2.1 dapat disebut dengan persamaan Sauerbrey, persamaan tersebut digunakan untuk menghitung massa lapisan tipis yang ditambahkan ke permukaan sensor QCM (Sauerbrey, 1959). Sauerbray berasumsi bahwa massa kecil yang ditambahkan pada kristal dapat dianggap sebagai perubahan ekuivalen dalam massa kristal kuarsa itu sendiri. Artinya persamaan hanya valid jumlah massa yang ditambahkan teradopsi secara kaku pada permukaan kuarsa tanpa slip. Berikut merupakan skema temua Sauerbrey:



Gambar 2.2 Skema temuan Sauerbrey (*Quartz Crystal Microbalance (QCM)*, n.d.)

Gambar 2.2 menunjukkan perubahan frekuensi seiring dengan penambahan massa pada permukaan sensor QCM. Untuk gambar (a) kristal kuarsa berisolasi pada frekuensi konstan ketika tegangan yang sesuai diterapkan, (b) frekuensi mulai menurun ketika molekul mulai mengendap/ menempel di permukaan kristal, (c) frekuensi semakin menurun seiring dengan semakin bertambahnya massa yang menempel di permukaan kristal kura. Dari skema tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak massa yang menempel pada permukaan sensor QCM maka frekuensi yang dihasilkan nilainya akan menurun.

Pengaplikasian sensor QCM dapat dilakukan dengan menggunakan zat cair atau gas. Pengaplikasian sensor QCM pada cairan dimulai pada tahun 1985 oleh Kanazawa. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai frekuensi sensor ketika diberikan cairan yaitu densitas atau massa jenis, efek impedansi akustik, viskositas, dan redaman gelombang akustik permukaan kristal. Dari faktor – faktor tersebut, dapat dihitung perubahan frekuensi pada sensor QCM pada zat cair:

$$\Delta f = -f_0^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\eta_1 \rho_1}{\pi \rho_q \mu_q} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Keterangan : f_0 = frekuensi resonan mode fundamental (Hz)

Δf = perubahan frekuensi akibat penambahan massa (Hz)

η_1 = viskositas cairan (cP)

ρ_1 = massa jenis cairan (g/cm³)

ρ_q = massa jenis kristal (2.648 d/cm³)

μ_q = modulus Shear kuarsa untuk kristal AT- cut (2, 947 x
10¹¹ g.cm⁻¹¹.s⁻²)

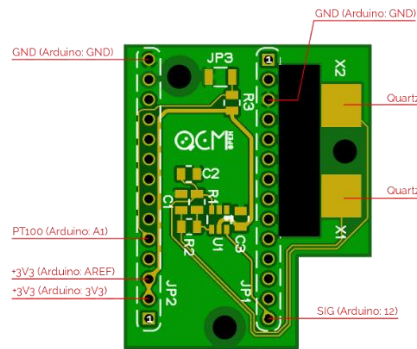
Penggunaan sensor QCM pada cairan kondisi vakum dengan kotak langsung dengan udara berbeda. Terdapat beberapa faktor mempengaruhi diantaranya yaitu semakin besar massa cairan dibawah kristal maka semakin besar penurunan *quality factor* dan fase gradiennya. Akibatnya stabilitas sensor QCM tidak sebaik seperti lingkungan gas (Ikhsani, 2019). Sensor yang digunakan untuk penelitian yaitu sensor QCM dengan elektroda emas, berikut merupakan spesifikasi sensor QCM: (10 MHz Quartz Sensors Box - 10 Pieces, n.d.):

Tabel 2.1 Spesifikasi sensor QCM frekuensi 10 MHz

Quartz Frequency	10 MHz
Nominal Sensitivity	4.42 x 10 ⁻⁹ g Hz ⁻¹ cm ⁻²
Frequency vs Temp stability	± 20 KHz @ 23°C
Frequency Tolerance	+/- 5 KHz
Capacitance	6 pF (C0)
Quartz Density	0.0026497 Kg/m ³ @ 25°C
Stiffness	8.749 N/m ²
Cut	AT-fundamental
Cut Angle	35° 15'± 3'
Quartz Thickness	~ 160 µm
Blank Diameter	13.9 mm
Electrode Diameter	6 mm
Electrode material	Gold (Au)
Electrode Coating	Au - Ti substrate
Electrode Thickness	~ 200 nm Au (on ~10 nm Ti substrate)
Electrode Contacting	Single - sided contact
Electrical Connection	Spring contacts, Pogo-pins or HC-48/U
Surface appearance	Transparent

Umumnya sensor QCM yang dijual di pasaran dilengkapi dengan rangkaian *Arduino shield*. Rangkaian *Arduino shield* merupakan pelindung keseimbangan mikro kuarsa, rangkaian ini mengimplementasikan driver osilator kristal kuarsa dalam

komfigurasi osilator pierce. Selain itu *Arduino shild* memiliki sensor temperatur yang berfungsi untuk mengukur suhu perangkat. Berikut merupakan rangkaian *Arduino shild* terdapat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 (*Open QCM Has Arduino inside at Heart*, n.d.).



Gambar 2.3 Rangkaian PCB Arduino shild (*Open QCM Has Arduino inside at Heart*, n.d.)

Arduino shild terdapat beberapa komponen elektronika seperti resistor, kapasitor, IC SN74LVC1GX04, dan pin S9101-46R. IC SN74LVC1GX04 merupakan IC yang dirancang untuk aplikasi osilator kristal, sedangkan pin S9101-46R merupakan pin yang berfungsi untuk menggantikan pin yang terlalu pendek atau rusak pada komponen elektronika.

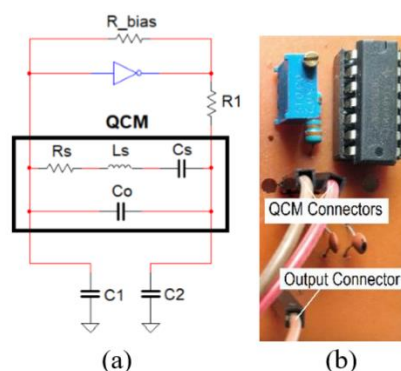
2.2 Rangkaian Osilator

Osilator merupakan rangkaian elektronika yang menghasilkan sinyal keluaran tanpa memerlukan sinyal masukan eksternal. Sinyal keluarannya dapat berupa gelombang sinusoida, persegi, pulsa, segitiga dan gergaji. Rangkaian osilator sederhana biasanya terdiri dari 3 bagian yaitu rangkaian penguat (*amplifier*), rangkaian umpan balik (*feedback*) dan rangkaian *tank circuit*. Rangkaian amplifier merupakan penguat sinyal input dan sinyal *output* dari rangkaian umpan balik terdiri dari induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian

feedback adalah proses dimana sebagian sinyal *output* dari sebuah rangkaian penentu frekuensi dikembalikan ke *input* penguat (Waynandar et al., 2019).

Prinsip kerja osilator didasarkan pada sinyal penguat operasonail (*op-amp*) dan umpan balik posif. Umpan balik umumnya terdiri dari komponen resistif dan kapastif (Waynandar et al., 2019). Proses isolasi rangkaian osilator dimulai dari adanya nois pada penguat, kemudian noise akan diperkuat dan diumpan balik ke input penguat. Jika fase sinyal umpan balik sefase dengan sinyal keluaran, maka akan terjadi penguatan terus – menerus yang menghasilkan sinyal osilasi yang stabil (Hidayatullah, n.d.)

Penggunaan rangkaian osilator pada sensor QCM berfungsi untuk menghasilkan frekuensi osilasi dari kristal di dalamnya. Rangkaaian osilator juga digunakan untuk membangkitkan sinyal frekuensi. Umumnya, rangkaian osilator yang sering digunakan QCM adalah osilator pierce, karena memiliki osilasi yang stabil (Aini, 2020).



Gambar 2.4 Rangkaian osilator: (a) Diagram skematik, (b) Papan sirkuit PCB (Misbah et al., 2023)

Misbah (2023) membuat rangkaian alat pendeteksi diabetes menggunakan sensor QCM. Penelitian tersebut menggunakan rangkaian osilator pierce untuk menghasilkan sinyal getaran pada sensor QCM, rangkaian osilator yang dibuat terdapat pada Gambar 2.4. Terdapat beberapa komponen elektronika yang

digunakan pada penelitian tersebut yaitu resistor, kapasitor, interver. Resistor merupakan komponen elektronika pasif yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam satu rangkaian. Kapasitor merupakan komponen elektronika pasif yang mempunyai kemampuan untuk menyimpan elektron – elektron selama waktu tertentu. IC atau *Integrated Circuit* merupakan komponen elektronika aktif tersusun dari gabungan ratusan bahkan jutaan transistor, dioda, resistor dan kapasitor yang diintegrasikan menjadi satu rangkaian elektronika dalam kemasan kecil (I. Kurniawan et al., 2023). Penelitian yang dilakukan Hakim (2020) menggunakan 2 kapsitor, 1 resistor, dan 1 inverter. Jenis inverter yang digunakan adalah 74ALS04N. 74ALSO4N merupakan IC yang dirancang untuk digunakan dalam aplikasi osilator. IC biasanya sebagai penguat, *switching*, pengontrol hingga media penyimpanan.

2.3 Frequency Counter

Frequency counter atau penghitung frekuensi merupakan rangkaian logika sekuensial yang digunakan untuk menghitung jumlah pulsa yang diberikan pada bagian masukan (Cordila, 2019). Terdapat dua komponen yaitu *timer* dan *counter* yang menjadi masukan pada mikrokontroler. Prinsip kerja pencacah frekuensi yaitu nilai *counter* ditrasfer pada *display* setelah periode frekuensi ditentukan, kemudian *counter* direset ke nol. Nilai frekuensi *clock* osilator yang digunakan harus lebih besar dari jumlah frekuensi suatu kejadian yang diukur supaya hasil dari pengukuran frekuensi yang didapat bernilai stabil. Ketelitian pengukuran frekuensi berbanding lurus dengan banyaknya jumlah siklus yang diukur (Santika, 2018).

Frequency counter dapat menghitung frekuensi masukan hingga ketelitian tertentu. Pencacah analog biasanya dapat menghitung dengan ketelitian hingga dua

digit, sedangkan untuk pencacah digital dapat menghitung ketelitian dua sampai tiga digit. Perhitungan frekuensi dapat dibedakan menjadi dua metode. Pertama dengan mencacah frekuensi masukan, dalam durasi waktu tertentu, banyaknya periode isyarat masukan dicacah, kemudian hasil cacahan tersebut dibagi dengan durasi waktu tertentu sehingga menghasilkan nilai frekuensi masukan. Kedua metode pengukuran periode isyarat masukan, pengukuran ini dilakukan atas dua titik bersesuaian yang berurutan. Untuk isyarat *clock*, pengukuran periode isyarat *clock* dapat dilakukan dengan mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi turun yang berurutan atau mengukur jeda waktu terjadinya dua sisi naik yang berurutan (Aini, 2020).

Sistem pengukuran frekuensi dapat menggunakan Mikrokontroler, karena di dalam mikrokontroler terdapat komponen penyusun utama salah satunya adalah prosesor. Prosesor berfungsi sebagai pemroses atau pengontrol pencacah untuk melakukan operasi aritmatika (F. Kurniawan & Basukesti, 2008). Terdapat beberapa metode perhitungan frekuensi menggunakan mikrokontroller yaitu metode periode waktu, metode penghitung pulsa dan prescaler. Frekuensi yang terbaca dengan menggunakan metode periode waktu terdapat pada persamaan 2.3

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Metode perhitungan pulsa menggunakan persamaan 2.4

$$f = \frac{N}{t} \quad (2.4)$$

Metode prescaler menggunakan persamaan 2.5

$$f_{Input} = f_{Counter} \times P \quad (2.5)$$

Keterangan : f : Frekuensi *output* (Hz)

T : Periode sinyal (s)

N	: Jumlah pulsa yang dihitung dalam pengukuran
t	: Waktu pengukuran (s)
f_{Input}	: Frekuensi input (Hz)
$f_{Counter}$	: Frekuensi yang dihitung mikrokontroller (Hz)
P	: Prescaler.

2.4 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan pengendali mikro dengan sumber terbuka berbasis Atmega328. Arduino terdiri dari beberapa komponen yaitu 14 pin digital *input/output* (6 diantaranya dapat digunakan untuk output PWM) yang berfungsi sebagai pembagi tegangan kurang dari 0,8 Volt akan terbaca LOW dan tegangan lebih dari 2 Volt akan terbaca HIGH, 6 input analog berfungsi sebagai pembaca nilai tegangan 0 – 5 Volt, sebuah osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol *reset* (Elisabeth Pratidhina, Heru Kuswanto, 2021). Pengoperasian Arduino menggunakan komputer/PC dan *software* Arduino (IDE) yang mendukung bahasa pemrograman C dan C++ atau menggunakan *software Scratch for Arduino* atau *Common-Coding* yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis blok /gambar.

Arduino Uno dilengkapi 3 timer yaitu timer 0, timer 1 dan timer 2. Timer 0 bekerja pada presisi 8-bit berfungsi untuk mengatur waktu dalam fungsi delay dan millis. Namun, timer 0 memiliki waktu rentan waktu yang terbatas. Timer 1 memiliki presisi 6-bit memungkinkan pengatur waktu dalam rentang yang lebih luas dari pada timer 0. Timer 2 memiliki presisi 8-bit, biasanya digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM. Umumnya timer digunakan untuk mengatur dan

2.5 Komunikasi Data

Komunikasi data antar perangkat pada Arduino Uno merupakan kemampuan Arduino Uno untuk berinteraksi dengan perangkat lain seperti sensor, LCD, mikrokontroler dan lain sebagainya. Arduino Uno memiliki beberapa metode komunikasi antar data yaitu komunikasi serial, *Inter-Integrated Circuit* (I2C), *serial peripheral interface* (SPI), *wireless communication* (komunikasi nirkabel), *ethernet communication* (komunikasi ethernet) dan CAN (*Controller Area Network*).

Metode I2C merupakan metode komunikasi yang memungkinkan beberapa perangkat dapat terhubung pada satu jaringan dengan menggunakan dua jalur komunikasi yaitu pin SCL (*Serial Clock*) digunakan untuk mengatur waktu transfer data, dan SDA (*Serial Data*) digunakan untuk mengirim dan menerima data antar perangkat. Proses komunikasi I2C dimulai ketika mikrokontroler menginisiasi sinyal START, kemudian diikuti oleh alamat perangkat tujuan bersamaan dengan bit untuk operasi pembacaan atau penulisan. Perangkat dengan alamat yang sesuai akan merespons dan proses transfer data akan dimulai. Ketika pengiriman data selesai, sinyal stop yang diberikan akan mengakhiri transfer data.

Metode pengiriman data I2C memiliki beberapa kelebihan diantaranya, pertama metode I2C menawarkan komunikasi yang lebih sederhana dan lebih efisien karena menggunakan 2 kabel tanpa memperhatikan jumlah perangkat pada bus. Kedua, I2C mendukung konfigurasi *multi-master* dan *multi-slave*, yang memungkinkan beberapa perangkat master berkomunikasi dengan beberapa perangkat slave pada bus yang sama. Ketiga, I2C menggabungkan skema pengalamatan bawaan, yang memungkinkan komunikasi langsung antar perangkat tanpa memerlukan kabel tambahan. Keempat, I2C menawarkan berbagai metode

kecepatan. Kelima, I2C menggunakan sinyal *clock* dari perangkat untuk menyingkronkan transfer data, dan memastikan transmisi yang andal dan akurat, serta memudahkan deteksi dan koreksi kesalahan

2.6 Penelitian Relevan

Adapun penelitian – penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Rodriguez-Pardo et al., (2018) dalam penelitiannya *Design and characterization of an active bridge oscillator as a QCM sensor for the measurement of liquid properties and mass films in damping media (Sensors and Actuators A)* membuat osilator jembatan aktif dengan frekuensi 9 MHz yang digunakan untuk pengukuran cairan, menyimpulkan bahwasannya rangkaian osilator yang dibuat dapat bekerja dalam kondisi redaman tinggi, akan tetapi resolusi osilator miller lebih baik dari pada osilator jembatan aktif yang dibuat.
2. Rouhillah & Amri, (2018) dalam penelitiannya *Sensitivitas Sensor Gas Berbasis Quartz Crystal Microbalance Terhadap Senyawa Organik* yaitu membuat rangkaian osilator sensor QCM yang dilapisi polimer. Sistem yang dibuat mampu mengidentifikasi gas alkohol, propanol, aseton dan benzena
3. Beißner et al., (2017) dalam penelitiannya *Low-cost, in-liquid measuring system using a novel compact oscillation circuit and quartz-crystal microbalances (QCMs) as a versatile biosensor platform* (Journal of Sensor and Sensor Systems), membuat sebuah sistem untuk pengukuran zat cair yang menempel pada permukaan sensor QCM. Penelitian ini menggunakan

osilator pierce dan colpitts dan sistem yang dibuat membentuk loop kontrol untuk mengatur tegangan

4. Aydemir & Ebeoglu, (2018) dalam penelitiannya *A QCM Array – Based Electronic Tongue With the Optimized Oscillator Circuit Using FPGA* yaitu membuat sistem pendeteksi bahan kimia beracun pada cairan. Rangkaian osilator yang dirancang untuk meminimalkan kebisingan dan interferensi timbal balik dari rangkaian osilator lainnya. Sistem yang dibuat akan mengumpulkan data dari sensor QCM, kemudian data akan diolah di komputer menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk menentukan komposisi bahan kimia beracun dalam cairan.
5. Hudha et al., (2017) dalam penelitiannya Pengembangan sistem *embedded* berbasis ARM cortex M7 untuk pengukuran frekuensi sensor QCM (*Quartz Crystal Microbalance*) portabel membuat sistem pengukuran dengan menggunakan mikrokontroler 32-bit berbasis ARM-Cortex-M7 yang akan mengintegrasikan perangkat pencacah frekuensi berbasis CPLD XC2C512. Kesimpulan dari penelitian tersebut yaitu sistem pengukuran yang dibuat dapat menampilkan grafik hasil pengukuran secara *real time* dan dapat menyimpan hasil pengukurannya pada microSD.
6. Julian et al., (2020), dalam penelitiannya *Intelligent Mobile Electronic Nose System Comprising a Hybrid Polymer-Functionalized Quartz Crystal Microbalance Sensor Array*, penelitian tersebut membuat rangkaian sistem hidung elektronik. Pembaca frekuensi yang digunakan yaitu Arduino DUE, sistem yang dibuat memiliki memiliki akurasi 98% sampai 99%.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu *Research and Development* atau R&D merupakan langkah – langkah penelitian yang menghasilkan produk baru atau pengembangan produk yang telah ada . Produk yang akan dikembangkan penelitian ini yaitu pembuatan rangkaian osilator biaya rendah untuk sensor QCM. Model pengembangan yang digunakan yaitu model ADDIE terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap *Analysis* (Analisis), tahap *Disign* (Desain/Perancangan), *Development* (Pengembangan), tahap *Implementation* (Implementasi), dan tahap *Evaluation* (Evaluasi).

Tahap analisis merupakan tahap dilakukan analisis masalah rangkaian osilator untuk sensor QCM pada penelitian sebelumnya, kemudian dilakukan pembatasan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian dan juga dilakukan analisis alat dan bahan yang digunakan pada penelitian. Tahap desain atau perancangan merupakan tahap dilakukannya perancangan rangkaian alat. Tahap *Development* atau tahap pengembangan merupakan tahap merealisasikan desain alat yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Tahap pengembangan terbagi menjadi 4 tahap yaitu tahap pertama perakitan perangkat keras yaitu perakitan penyambungan rangkaian osilator, dan Arduino Uno, kemudian dilakukan penyambungan antar komponen. Tahap kedua pemrograman software Arduino IDE, PLX DAQ, Microsoft Excel. Tahap ketiga penyambungan perangkat keras dengan software Arduino IDE, PLX DAQ, dan Microsoft Excel. Tahap keempat tahap pengujian alat apakah bisa membaca frekuensi dari *frequency*

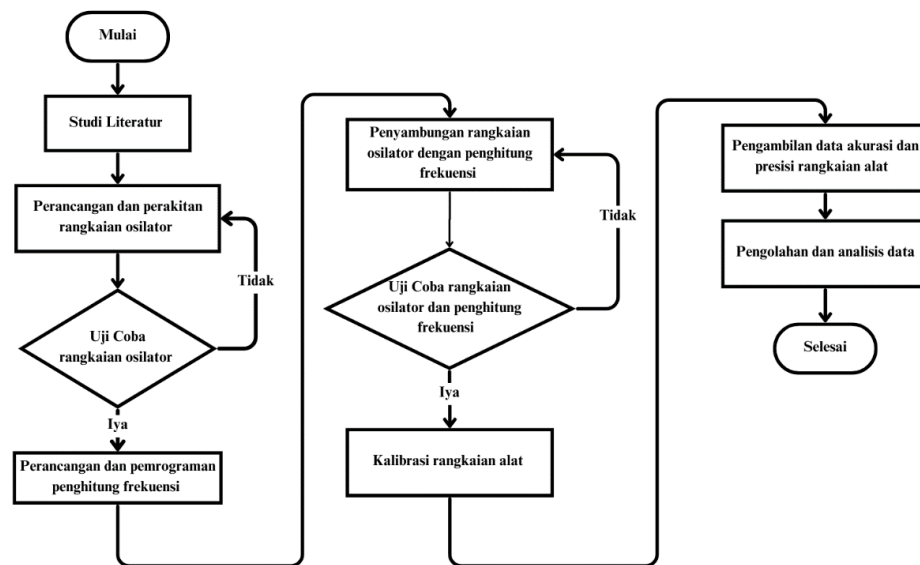
3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.2 Alat dan Bahan

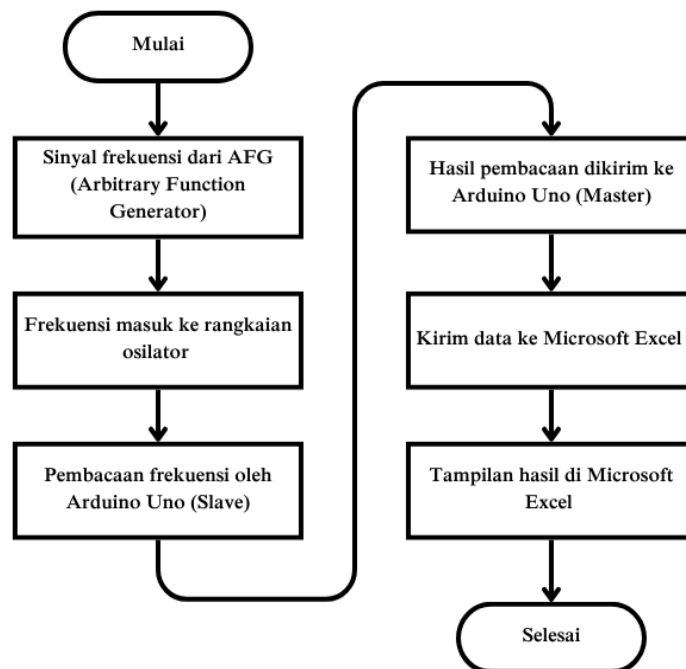
No	Nama	Qty	Satuan	Spesifikasi
<i>Alat</i>				
1	Arduino Uno	5	buah	Atmega328 (R3)
2	Solder	1	buah	-
3	Kabel USB	1	buah	-
4	Osiloskop	1	buah	-
5	<i>Frequency generator</i>	2	buah	-
6	Kabel probe	4	buah	
7	Bor	1	buah	
<i>Bahan</i>				
1	Kawat timah solder	1	buah	
2	Kabel jumper			
3	PCB matriks	3	buah	7x5 cm
4	Box rakitan	1	buah	
5	Resistor	4	buah	1 M Ohm
6	Kapasitor	8	buah	22 pF
7	Pin Harder	8	buah	
8	IC 74LS14N	4	buah	
9	Songket IC	4	buah	
10	Sekrup	40	buah	
11	Lem	1	buah	

3.4 Diagram Alir Penelitian



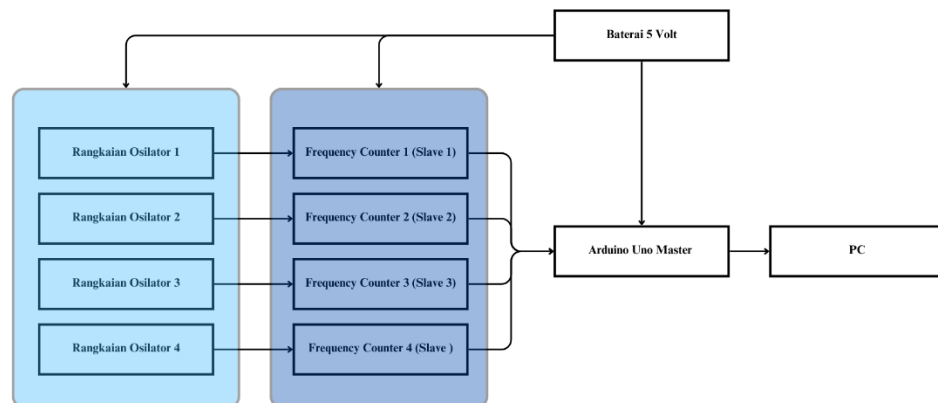
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.5 Diagram Alir Rangkaian



Gambar 3.2 Diagram alir rangkaian alat

3.6 Diagram Blok Rangkaian Alat



Gambar 3.3 Diagram alir rangkaian alat

1. Baterai / *power supply* berfungsi sebagai penyuplai daya untuk keseluruhan rangkaian. Rangkaian osilator dan Arduino Uno menggunakan tegangan 5 Volt.
2. Rangkaian Osilator berfungsi sebagai rangkaian untuk memperkuan sinyal frekuensi dari *frequency generator*
3. Arduino Uno berfungsi sebagai pengontrol keseluruhan rangkaian alat dan sebagai pembaca frekuensi rangkaian osilator. Terdapat 5 buah Arduino Uno yang digunakan, 4 buah Arduino Uno (slave) berfungsi sebagai pembaca frekuensi atau *frequency counter* dari rangkaian osilator. Satu buah Arduino Uno (master) berfungsi sebagai pengontrol komunikasi antar Arduino Uno, kemudian data yang diperoleh akan dikirim ke PC
4. PC berfungsi sebagai tempat pemrograman dan untuk menampilkan data hasil perhitungan frekuensi Arduino Uno

3.7 Rangkaian Skematik Osilator

Penggunaan rangkaian osilator untuk QCM berfungsi sebagai penguat sinyal frekuensi QCM. Rangkaian osilator yang dibuat dapat digunakan untuk frekuensi maksimal 10 MHz. Penelitian ini menggunakan rangkaian osilator pierce, yang

Metode pengiriman data antar Arduino Uno menggunakan metode I2C. Gambar 3 menunjukkan rangkaian skematik *frequency counter* dan pengiriman data slave ke master. Pin yang digunakan untuk pengiriman data yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL).

3.9 Kalibrasi Rangkaian Alat dan Pengambilan Data Akurasi dan Presisi

Kalibrasi merupakan tahap pengecekan dan pengaturan akurasi rangkaian alat, bertujuan untuk memastikan rangkaian alat sesuai dengan spesifikasinya. Metode kalibrasi yang digunakan yaitu metode komparatif atau *comparative calibration*. Metode ini melibatkan perbandingan antara hasil alat ukur standar dengan alat ukur yang akan dikalibrasi. Alat ukur standar yang digunakan adalah digital osiloskop. Penentuan kalibrasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran frekuensi digital osiloskop dengan hasil pengukuran frekuensi menggunakan rangkaian sistem. Kemudian, hasil pembagian tersebut akan dimasukkan pada pemrograman Arduino IDE. Perhitungan kalibrasi komparatif terdapat pada persamaan 3.1.

Pengambilan data frekuensi dilakukan 2 tahap. Tahap pertama pengambilan data frekuensi menggunakan alat ukur berstandar. Alat ukur standar yang digunakan digital osiloskop. Pengambilan data frekuensi menggunakan osiloskop dilakukan dengan cara menyambungkan rangkaian osilator dengan digital osiloskop. Sedangkan, tahap kedua pengambilan data frekuensi menggunakan rangkaian osilator yang disambungkan ke *frequency counter* Arduino Uno yang sebelumnya telah dikalibrasi. Frekuensi input yang digunakan yaitu AFG, variasi data yang diambil sebanyak 10 variasi frekuensi *input* dengan pengulangan masing – masing frekuensi 5 kali.

Tabel 3. 3 Pengambilan data frekuensi

No	Frekuensi Osiloskop (Hz)	Frekuensi Rangkaian (Hz)			
		Frequency Counter 1	Frequency Counter 2	Frequency Counter 3	Frequency Counter 4
1					
2					
3					
4					
5					

3.10 Analisis dan Pengolahan Data

Data frekuensi yang diperoleh dari osiloskop dan rangkaian sistem pengukur frekuensi akan ditentukan standar deviasi, akurasi dan presisi dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Akurasi rangkaian sistem pembaca frekuensi ditentukan dengan membandingkan nilai rata – rata hasil pengukuran dengan hasil pengukuran frekuensi menggunakan osiloskop, kemudian akan dihitung presentase kesalahan mutlaknya. Presisi rangkaian sistem pengukur frekuensi akan dinilai berdasarkan nilai standar deviasi dari hasil pengukuran berulang.

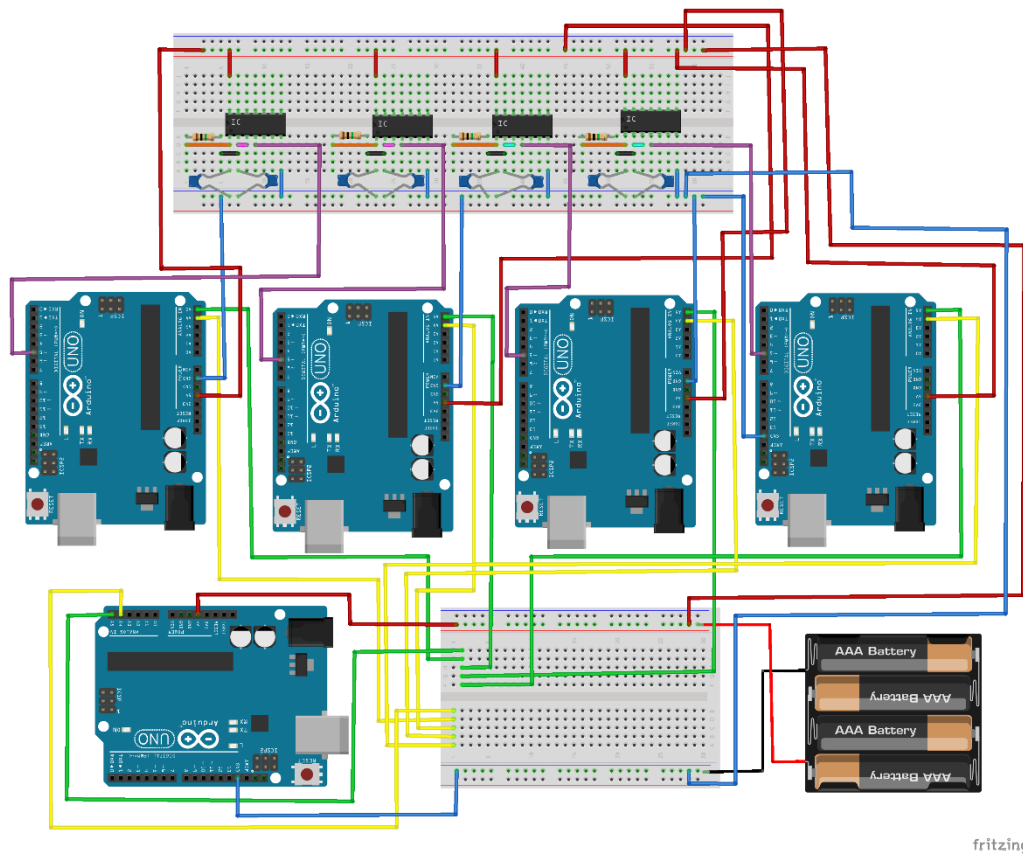
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian alat yang dibuat pada penelitian ini yaitu rangkaian alat untuk membaca frekuensi QCM. Rangkaian alat tersusun dari empat buah rangkaian osilator, empat buah *frequency counter*, satu buah Arduino Uno untuk mengirim dan meminta data dari *frequency counter* dan PC. Metode pengiriman data yang digunakan yaitu metode I2C. Pengujian dan analisis rangkaian sistem pembaca frekuensi dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan presisi rangkaian sistem. Tujuan dilakukan pengujian yaitu untuk memastikan bahwa rangkaian sistem pembaca frekuensi memenuhi standar yang telah ditetapkan. Pengujian dan analisis rangkaian sistem pembaca frekuensi akan dijelaskan pada bab ini.

4.1 Pembuatan Alat

Desain dan pengembangan rangkaian osilator untuk membaca frekuensi QCM terdiri dari dua tahap perancangan. Pertama, perancangan perangkat keras yang terdiri dari perancangan dan perakitan rangkaian osilator, penyambungan rangkaian osilator dengan Arduino Uno, serta pengujian keseluruhan rangkaian alat. Perancangan perangkat lunak terdiri dari pemrograman Arduino Uno sebagai *frequency counter*, pemrograman komunikasi I2C, dan pemrograman penampilan data di Microsoft Excel



Gambar 4.1 Diagram kerja rangkaian alat

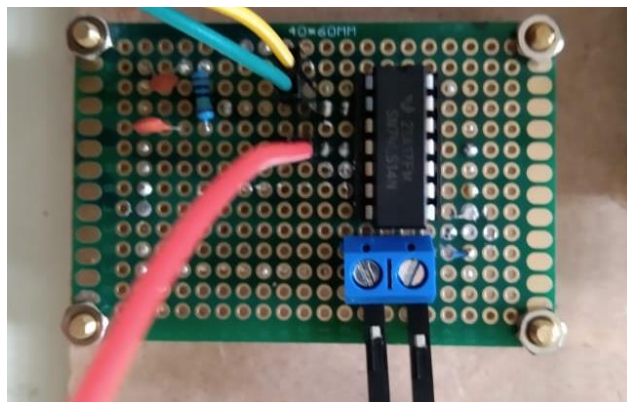
Gambar 4.1 merupakan rangkaian keseluruhan sistem pembaca frekuensi yang terdiri dari baterai 5 Volt sebagai penyuplai keseluruhan rangkaian, 4 buah rangkaian osilator sebagai penguat sinyal frekuensi, empat buah Arduino Uno sebagai *frequency counter* dan satu buah Arduino Uno sebagai pengontrol pengiriman data hasil pembacaan frekuensi. Masing – masing rangkaian osilator dihubungkan ke Arduino Uno sebagai *frequency counter*, kemudian frekuensi yang terbaca akan dikirim ke Arduino Uno master. Arduino Uno master pada rangkaian tersebut berfungsi sebagai pengontrol komunikasi I2C dan sebagai pengontrol pengiriman data ke Microsoft Excel.

Perancangan perangkat lunak menggunakan beberapa *software* diantaranya Arduino IDE dan PLX-DAQ. Arduino IDE digunakan untuk memprogram *frequency counter* dan pemrograman komunikasi antar Arduino Uno. Sedangkan

PLX-DAQ merupakan *software* yang digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan Arduino ke *software* Microsoft Excel.

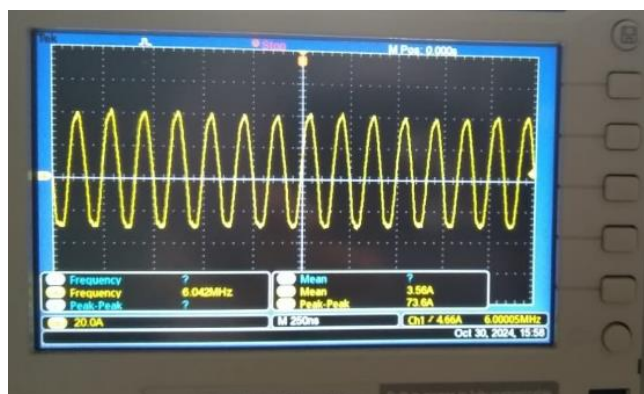
4.2 Pembuatan Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator berfungsi sebagai penguat sinyal frekuensi. Penelitian ini menggunakan rangkaian osilator pierce tersusun dari satu buah resistor kapasitas 1 M Ω , dua buah kapasitor kapasitas 22 pF, dan sebuah interver IC 74LS14N. Gambar 4. menunjukkan rangkaian osilator yang telah dibuat.



Gambar 4. 2 Rangkaian Osilator

Pengujian rangkaian osilator dilakukan sebelum pengambilan data akurasi dan presisi, dengan tujuan untuk melihat sinyal keluaran rangkaian osilator. Pengujian rangkaian osilator dilakukan dengan cara menyambungkan pin 1 dan pin 2 *interver* ke *frequency generator*, kemudian pin 4 *interver* disambungkan pada osiloskop. Dari hasil pengujian didapatkan output sinyal frekuensi terdapat pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Hasil pengujian rangkaian osilator

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian rangkaian osilator berhasil membaca frekuensi input 6 MHz. Berdasarkan pengamatan, rangkaian osilator cukup stabil dalam mempertahankan frekuensi, akan tetapi apabila frekuensi *input* dibawah 1 MHz stabilitas rangkaian osilator menurun.

4.3 Pembuatan Rangkaian Frequency Counter

Perangkat yang digunakan untuk menghitung frekuensi yaitu Arduino Uno dengan kecepatan *clock* 16 MHz. Setiap satu detik, Arduino Uno akan menghitung jumlah pulsa yang masuk. Proses perhitungan dilakukan dengan menggunakan library FreqCount, dimana library ini bekerja menggunakan metode perhitungan jumlah pulsa untuk menghitung frekuensi input. Library FreqCount memanfaatkan timer 1 yang memiliki resolusi timer 16 bit, yang mampu menghitung hingga 65,535 pulsa dalam satu periode waktu. Timer ini digunakan untuk mencatat transisi sinyal, baik dari level rendah ke tinggi maupun sebaliknya, selama interval waktu 1 sekon. Pin *input* yang digunakan untuk menerima sinyal frekuensi yaitu pin digital 5.

Prinsip kerja pengukuran frekuensi yaitu ketika sinyal frekuensi diberikan pada pin digital 5, Timer 1 akan dikonfigurasi untuk menghitung jumlah perubahan keadaan pada pin digital 5. Setiap 1 sekon, Timer 1 akan direset dan mulai menghitung ketika terdapat perubahan sinyal frekuensi. Setelah 1 sekon berlalu, jumlah perubahan keadaan yang tercatat pada Timer 1 akan dibaca oleh Arduino Uno. Jumlah perubahan keadaan kemudian diinterpretasikan sebagai sinyal frekuensi. Hasil dari perhitungan nantinya akan dikirim ke Arduino Uno Master yang berfungsi sebagai pengatur pengiriman data hasil pembacaan frekuensi.

Pengujian Arduino Uno sebagai *frequency counter* bertujuan untuk mengetahui frekuensi maksimum yang dapat diukur, menguji stabilitas pengukuran serta memastikan bahwa nilai frekuensi yang ditampilkan sesuai dengan nilai frekuensi sebenarnya. Pengujian *frequency counter* dilakukan setelah kalibrasi. Berikut merupakan hasil pengujian *frequency counter*. Dari hasil pengujian Arduino Uno sebagai *frequency counter* dapat mengukur frekuensi maksimal 7 MHz. Akan tetapi, agar mendapatkan hasil yang akurat dan stabil berada pada rentang 1 MHz – 6,5 MHz.

4.4 Pengujian Akurasi dan Presisi Rangkaian Sistem

Pengujian akurasi dan presisi dilakukan untuk mengevaluasi kedekatan hasil pengukuran rangkaian sistem yang dibuat dengan hasil pengukuran alat berstandar. Penelitian ini menggunakan osiloskop sebagai alat berstandart dan frekuensi *input* dari *function generator*. Rentang waktu pengambilan data frekuensi untuk setiap variasi frekuensi 5 menit dan pengulangan masing – masing variasi sebanyak 5 kali. Rata – rata hasil pengukuran frekuensi terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data frekuensi

No	Frekuensi Osiloskop (Hz)	Frekuensi Rangkaian (Hz)			
		Frequency Counter 1	Frequency Counter 2	Frequency Counter 3	Frequency Counter 4
1	1005510	1025250	1018263	1027870	1018262
2	1500630	1527387	1527396	1537650	1527395
3	2200020	2240168	2258242	2238849	2240180
4	3550030	3614817	3615727	3614855	3614836
5	4400030	4477862	4477636	4480384	4582184
6	5000040	5085589	5090345	5091331	5091309
7	5500050	5600420	5529154	5596951	5600035
8	5800050	5905897	5839180	5899240	5903743
9	6000040	6109550	6108267	6109582	6109582
10	6500050	6618679	6597681	6588842	6618717

Penentuan akurasi sistem rangkaian dilakukan dengan menghitung presentase kesalahan pengukuran. Penentuan presentase kesalahan pengukuran terdapat pada persamaan 4.1

$$\%error = \left| \frac{\text{Data referensi} - \text{data pengukuran}}{\text{data referensi}} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

Dimana data referensi merupakan hasil pengukuran frekuensi menggunakan osiloskop dan data pengukuran merupakan data hasil pengukuran menggunakan sistem rangkaian yang telah dibuat.

Presisi menunjukkan seberapa konsisten hasil pengukuran yang dilakukan dengan instrumen yang sama sesuai satu sama lain. Konsistensi ini diukur menggunakan simpangan baku atau koefisien variasi. Semakin kecil penyebaran hasil pengukuran terhadap nilai rata-ratanya, semakin tinggi presisi metode tersebut. Presisi pengukuran dapat dihitung menggunakan persamaan 4.2 (Resmiati & Putra, 2021)

$$Presisi = 100\% - \%KV \quad (4.2)$$

Dimana KV dihitung dengan menggunakan persamaan 4.3

$$\%KV = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad (4.3)$$

Standar deviasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

Keterangan $\bar{X}$ = Rata – rata pengukuran

n = Banyaknya data pengukuran

X_i = Pengukuran ke-

SD = Standar deviasi

KV = Koefisien variasi

Hasil perhitungan standar deviasi, akurasi dan presisi rangkaian sistem terdapat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan standar deviasi, akurasi dan presisi

No	Frekuensi Osiloskop (Hz)	Standar Deviasi	KV	Presisi	Akurasi
1	1005510	17,252313	0,001681%	99,99832%	98%
2	1500630	7,913298	0,000515%	99,99949%	98%
3	2200020	15,639722	0,000696%	99,99930%	98%
4	3550030	15,802351	0,000250%	99,99975%	98%
5	4400030	10,994544	0,000245%	99,99975%	98%
6	5000040	20,477230	0,000403%	99,99960%	98%
7	5500050	29,563588	0,000530%	99,99947%	99%
8	5800050	25,807246	0,000439%	99,99956%	99%
9	6000040	8,066982	0,000132%	99,99987%	99%
10	6500050	10,516671	0,000404%	99,99984%	98%
Rata - rata		16,203394	0,000530%	99,99949%	98%

4.5 Pembahasan

Akurasi adalah ukuran seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Nilai akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa alat ukur mempunyai kinerja yang baik. Tabel 4.2 menunjukkan nilai akurasi rata – rata rangkaian alat pengukur frekuensi, pada rentang frekuensi input 1 MHz sampai 5 MHz nilai akurasinya 98%. Rentang frekuensi input 5,5 MHz sampai 6 MHz nilai akurasinya 99%, dan untuk frekuensi 6,5 MHz akurasi 98%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa rangkaian sistem pengukur frekuensi memiliki akurasi rata – rata 98%. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) alat ukur dapat dikatakan memiliki akurasi dan presisi tinggi, apabila memiliki nilai persentase akurasi $\geq 95\%$. Sedangkan menurut Standar Internasional (SI) alat ukur memiliki akurasi tinggi persentasenya $\geq 97\%$ (Resmiati & Putra, 2021).

Presisi merupakan ukuran untuk menentukan seberapa konsisten hasil pengukuran. Semakin tinggi nilai presisi alat ukur, maka hasil pengukuran semakin konsisten. Presisi sendiri dihitung berdasarkan nilai *Coefficient of Variation* (CV)

dan standar deviasi. Standar deviasi merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur seberapa jauh penyebaran data dari nilai rata – ratanya. Nilai standar deviasi yang rendah mengidentifikasi bahwa data cenderung terpusat rapat di sekitar nilai rata – rata pengukuran, sedangkan nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan bahwa data hasil pengukuran menyebar lebih luas. Sehingga, dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai standar deviasi, maka semakin semakin dekat titik data dengan rata – rata. Begitupun dengan sebaliknya, semakin besar nilai standar deviasi, maka semakin jauh titik – titik data menyebar dari rata – rata pengukuran. Berdasarkan Tabel 4.2 rata – rata nilai standar deviasi pengukuran frekuensi menggunakan sistem rangkaian pembaca frekuensi yaitu 16,203394. Tabel 4.2 juga menunjukkan bahwa nilai standar deviasi setiap variasi frekuensi mempunyai perbedaan yang begitu signifikan, terutama pada frekuensi input 5 MHz dengan nilai standar deviasi tertinggi yaitu 29,563588.

Coefficient of Variation atau KV merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk menilai tingkat sebaran data relatif terhadap rata – rata. Nilai KV dapat dihitung dari simpangan baku atau nilai standar deviasi dibagi nilai rata – rata dikalikan 100%. Semakin kecil nilai KV, semakin seragam data pengukuran tersebut. Alat ukur memiliki tingkat presisi tinggi, umumnya memiliki nilai KV yang rendah. Sebagai acuan umum, alat ukur dengan nilai $KV \leq 2\%$ dianggap memiliki presisi yang baik (Mada, 2020). Tabel 4.2 menunjukkan nilai KV rangkaian sistem pengukur frekuensi sebesar 0,000537% dengan presisi rata – rata yaitu 99,99949%. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian sistem pembaca frekuensi memiliki presisi tinggi dan konsisiten dalam menghasilkan pengukuran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Arduino Uno dapat digunakan sebagai *frequency counter* dengan batas maksimal perhitungan 7 MHz. Akan tetapi, kinerja yang optimal dan stabil rentang frekuensi 1 – 6 MHz. Studi yang dilakukan Hakim (2020), menggunakan STM32F103C8T6 sebagai penghitung sinyal frekuensi QCM. STM32F103C8T6 memiliki kecepatan timer hingga 72 MHz untuk APBN2 timer atau 36 MHz untuk APB1 timer, memungkinkan perhitungan sinyal frekuensi yang lebih tinggi secara akurat. Penelitian Julian et al., (2020), merancang sistem hidung elektronik menggunakan empat buah sensor QCM dan menggunakan Arduino DUE sebagai pembaca frekuensi. Arduino DUE memiliki kecepatan clock 84 MHz dan memiliki *timer counter* independen yang bekerja secara paralel sehingga memungkinkan beberapa *timer counter* berjalan secara bersamaan tanpa saling mengganggu. Dan Arduino DUE mendukung *input capture* atau kemampuan untuk merekam nilai timer saat terjadi perubahan pada sinyal *input*, fitur ini membuat pengukuran frekuensi menjadi lebih akurat pada frekuensi yang lebih tinggi. Dari hasil penelitian tersebut, Rangkaian sistem yang dirancang memiliki akurasi 98% sampai 99%.

4.6 Integrasi Penelitian dengan Al-Qur'an

QCM merupakan sensor yang memanfaatkan getaran kristal kuarsa untuk mengukur massa suatu zat yang menempel pada permukaannya. Perubahan massa pada QCM akan mengakibatkan perubahan frekuensi getarannya. Dalam Al-Qur'an surah Al – Kahf ayat 54 yang berbunyi :

وَلَقَدْ صَرَّفْنَا فِي هَٰذَا الْقُرْآنِ لِلنَّاسِ مِن كُلِّ مَثَلٍ وَكَانَ الْإِنسَانُ أَكْثَرَ شَيْءٍ جَدَلًا

Artinya: “*Sungguh, Kami telah menjelaskan segala perumpamaan dengan berbagai macam cara dan berulang-ulang kepada manusia dalam Al-Qur'an ini. Akan tetapi, manusia adalah (makhluk) yang paling banyak membantah*” (QS. Al – Kahf[18]: 54)

Ayat tersebut menyatakan bahwa, Allah telah memberikan berbagai perumpamaan kepada manusia, termasuk perumpamaan tentang alam semesta yang senantiasa bergerak dan bergetar. Hal ini menunjukkan bahwa Allah menciptakan manusia dengan sistem yang sangat kompleks dan dinamis, di mana segala sesuatu selalu mengalami perubahan. Dalam konteks penelitian ini, konsep getaran yang terdapat pada Al – Qur'an dapat dikaitkan dengan prinsip kerja sensor QCM. Keduanya menunjukkan bahwa fenomena getaran merupakan bagian integral dari alam semesta, baik skala mikro (seperti getaran atom dalam kristal kuarsa) maupun dalam skala makro (seperti pergerakan planet – planet). Meskipun manusia sulit memahami kompleksitas alam semesta, Al – Qur'an memberikan petunjuk bahwa segala sesuatu di alam semesta ini memiliki keteraturan dan keselarasan.

Pengembangan teknologi QCM terutama pengembangan rangkaian osilator dan *frequency counter* berbasis mikrokontroller untuk menghasilkan rangkaian sistem yang dapat membaca frekuensi yang lebih stabil dan akurat dengan biaya produksi yang terjangkau. Sehingga dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang seperti biosensor, pemantauan lingkungan, pengendalian kualitas air dan sebagainya. Dalam Al – Qur'an perkembangan teknologi terutama pengembangan sensor QCM tidak dijelaskan secara spesifik, akan tetapi dengan pemahaman dan penafsiran yang lebih jauh, terdapat berbagai ayat yang dapat dikaitkan dengan prinsip – prinsip teknologi dan inovasi.

Perintah Allah yang tertulis didalam Al – Qur'an, memerintahkan manusia untuk mengamati, mempelajari dan meneliti segala sesuatu yang ada di langit dan di bumi. Perintah tersebut tertuang pada QS. Yunus ayat 101 yang berbunyi:

قُلْ أَنْظَرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ

Artinya: “Katakanlah (Nabi Muhammad), “Perhatikanlah apa saja yang ada di langit dan di bumi! ”Tidaklah berguna tanda-tanda (kebesaran Allah) dan peringatan-peringatan itu (untuk menghindarkan azab Allah) dari kaum yang tidak beriman” (QS. Yunus[10]: 101)

Dalam tafsir *Tahlili* menjelaskan bahwa ayat tersebut memerintahkan manusia untuk merenungkan alam semesta sebagai manifestasi dari kekuasaan dan kebesaran Allah. Dengan merenungkan alam, manusia diharapkan dapat menemukan bukti – bukti nyata akan keberadaan Allah dan semakin mendekatkan diri kepada – Nya.

Tafsir *Tahlili* juga menjelaskan bahwa, Allah mendorong manusia untuk terus mengkaji pengetahuan alam semesta. Dalam konteks pengembangan rangkaian osilator dan *frequency counter*, dapat dilihat bagaimana perintah Allah untuk mempelajari dan meneliti alam yang diwujudkan dalam tindakan nyata. Melalui riset dan pengembangan teknologi dan berusaha untuk mengamati fenomena alam yang kompleks. Dengan melakukan pengembangan rangkaian osilator dan *frequency counter* diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi penelitian selanjutnya. sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesejahteraan manusia melalui berbagai aplikasi praktis.

Hadis yang diriwayatkan oleh Imam Bukhari menegaskan bahwa salah satu amalan yang pahalanya tidak terputus adalah ilmu yang bermanfaat.

إِذَا مَاتَ الْإِنْسَانُ انْقَطَعَ عَنْهُ عَمَلُهُ إِلَّا مِنْ ثَلَاثَةٍ: إِلَّا مِنْ صَدَقَةٍ جَارِيَةٍ أَوْ عِلْمٍ يُنْتَفَعُ بِهِ أَوْ وَلَدٍ صَالِحٍ يَدْعُو لَهُ

رواه مسلم والترمذي وأبو داود والنسائي وابن حبان عن أبي هرير –

Artinya: “Ketika seorang manusia meninggal dunia, maka amalannya terputus kecuali tiga hal, yaitu: sedekah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak shaleh yang mau mendoakannya” (HR. Muslim no 1631)

Dengan demikian, pengembangan rangkaian osilator dan frequency counter tidak hanya sekedar aktivitas ilmiah, akan tetapi juga merupakan bentuk ibadah yang pahalanya dapat terus mengalir. Melalui penerapan prinsip – prinsip fisika dalam merancang dan membangun rangkaian osilator dan *frequency counter*, turut serta dalam menyebarkan ilmu yang bermanfaat bagi manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian rancang bangun rangkaian osilator sederhana 10 MHz untuk mengukur frekuensi sensor QCM berbasis Arduino Uno, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembuatan rangkaian osilator dan *frequency counter* menggunakan Arduino Uno dapat membaca frekuensi pada rentang 1 MHz sampai 6,5 MHz
2. Rangkaian sistem *frequency counter* yang dibangun memiliki kinerja cukup baik dengan akurasi rata – rata 98% dan presisi rata – rata 99,99949%.

5.2 Saran

Penelitian rancang bangun rangkaian osilator dan *frequency counter* berbasis Arduino Uno disarankan untuk menggunakan mikrokontroller STM32F103C8T6, Tenssy, Arduino DUE sebagai pembaca frekuensi. Mikrokontroler tersebut menawarkan kinerja yang lebih baik dibandingkan Arduino Uno dalam hal kecepatan pemrosesan, presisi pengukuran dan kemampuan pemrosesan data.

DAFTAR PUSTAKA

- 10 MHz Quartz Sensors Box - 10 Pieces. (n.d.). Open QCM. Retrieved December 24, 2023, from <https://store.openqcm.com/10-MHZ-QUARTZ-SENSORS-BOX-10-PIECES/>
- Aini, K. (2020). *Karakterisasi sensor quartz crystal microbalance (qcm) dengan pelapisan membran trioctylmethylammonium chloride (toma) pada elektroda emas terhadap respon* Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Aliza Aini Ralib, M., Bhattacharjee, S., Ralib, A. A., Vyakaranam, A., Svpk, S. D., Shameem, S. S. S., Sulo, R., & Zainuddin, A. A. (2021). Study of Multichannel QCM Prospects in VOC Detection. *Journal of Physics: Conference Series*, 1900(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1900/1/012020>
- Aydemir, F., & Ebeoglu, M. A. (2018). A QCM Sensor Array-Based Electronic Tongue with the Optimized Oscillator Circuit Using FPGA. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(2), 431–438. <https://doi.org/10.1109/TIM.2017.2779318>
- Barzinjy, A. A., & Baiz, S. A. (2022). Quartz Crystal Microbalance a Powerful Technique for Nanogram Mass Sensing. *Eurasian Journal of Science and Engineering*, 8(2). <https://doi.org/10.23918/eajse.v8i2p1>
- Beißner, S., Thies, J. W., Bechthold, C., Kuhn, P., Thürmann, B., Dübel, S., & Dietzel, A. (2017). Low-cost, in-liquid measuring system using a novel compact oscillation circuit and quartz-crystal microbalances (QCMs) as a versatile biosensor platform. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 6(2), 341–350. <https://doi.org/10.5194/jsss-6-341-2017>
- Cordila, R. (2019). Penerapan Rangkaian Pencacah Digital. *Academia.Edu*, November, 7.
- Elisabeth Pratidhina, Heru Kuswanto, D. R. (2021). Penggunaan Arduino Uno dan Common-Coding pada Percobaan Fisika Materi Kelistrikan. In *Cipta Media Nusantara (CMN)*; Surabaya.
- Fatkurohman, M., & Syam, R. S. El. (2023). Relasi Sains Dan Agama : Materi Besaran Dan Satuan Dalam Meningkatkan Keimanan Peserta Didik. *Jurnal Riset Rumpun Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(1), 213–224. <https://doi.org/10.55606/jurrimipa.v2i1.782>
- Hakim, F. (2020). *Sensor Kelembapan Menggunakan QCM Dilapisi Reduced Graphene Oxide (rGO)*.
- Hidayatullah, S. S. (n.d.). *Cara Kerja Osilator dan Fungsi Osilator*. Belajar Online. Retrieved January 2, 2024, from <https://www.belajaronline.net/2020/11/cara-kerja-osilator-dan-fungsi-osilator.html?m=1>

- Hudha, L. S., Santoso, D. R., & Sakti, S. P. (2017). Pengembangan Sistem Embedded Berbasis ARM Cortex M7 untuk Pengukuran Frekuensi Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance) Portabel. *Teknologi Elektro*, 16(3), 133–138.
- Ikhsani, R. N. (2019). Optimalisasi Desain Kontruksi Sel Dan Sistem Injeksi Cairan Pada Sensor QCM (Quartz Crystal Microbalance). In *Program Studi S2 Fisika* (Vol. 3, Issue 1). Universitas Brawijaya.
- Julian, T., Hidayat, S. N., Rianjanu, A., Dharmawan, A. B., Wasisto, H. S., & Triyana, K. (2020). Intelligent Mobile Electronic Nose System Comprising a Hybrid Polymer-Functionalized Quartz Crystal Microbalance Sensor Array. *ACS Omega*, 5(45), 29492–29503. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04433>
- Kurniawan, F., & Basukesti, A. (2008). Analisis Ketepatan Penghitung Frekuensi dengan Metode Pencacahan Berbasis. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 11(2), 134–142.
- Kurniawan, I., Aulia, S., & Hartaman, A. (2023). Rancang Bangun Sistem Pembelajaran Pengenalan Komponen Elektronika Berbasis Pengolahan Citra. *E-Proceeding of Applied Science*, 9(1), 273–273.
- Mada, U. G. (2020). *Validasi Metode Analisa Amonia pada Air Tanah Menggunakan Metode Spektrofotometri* ISSN 2655 4887 (Print), ISSN 2655 1624 (Online) ISSN 2655 4887 (Print), ISSN 2655 1624 (Online). 2(2), 40–44.
- Misbah, Rivai, M., & Kurniawan, F. (2023). Diabetes Detection Using Carbon Nanomaterial Coated QCM Gas Sensors and a Convolutional Neural Network through Urine Sample. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 16(5), 417–427. <https://doi.org/10.22266/ijies2023.1031.36>
- Montagut, Y., García, J. V., Jiménez, Y., March, C., Montoya, Á., & Arnau, A. (2011). A new QCM sensor characterization technique based on the phase/mass sensitivity concept. *Proceedings of the IEEE International Frequency Control Symposium and Exposition*. <https://doi.org/10.1109/FCS.2011.5977856>
- No Title. (n.d.). Retrieved October 3, 2024, from <https://kobee.com.au/products/arduino-uno-r3?variant=40799776506007>
- open QCM has Arduino inside at heart. (n.d.). Retrieved March 11, 2024, from <https://openqcm.com/openqcm-has-arduino-inside-at-heart.html>
- Prastyo, E. A. (2018). *Arduino Uno R3*. Arduino Indonesia. <https://www.arduinoindonesia.id/2018/08/arduino-uno-r3.html>
- Qatrunnada, J. N. (2023). *Surah Ar Rum Ayat 41: Arab, Latin, dan Artinya*. Detik Hikmah. <https://www.detik.com/hikmah/khazanah/d-6897240/surah-ar-rum-ayat-41-arab-latin-dan-artinya>

- Quartz Crystal Microbalance (QCM)*. (n.d.). Nano Science Instruments. Retrieved December 25, 2023, from <https://www.nanoscience.com/techniques/quartz-crystal-microbalance/>
- Resmiati, & Putra, M. (2021). Akurasi Dan Presisi Alat Ukur Tinggi Badan Digital. *Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Andalas*, 6(3), 616–621.
- Rivai, M. (2009). Implementasi Sensor Quartz Crystal Microbalance pada Sistem Kromatografi Gas. *Industrial Electronic Seminar*.
- Rodriguez-Pardo, L., Cao-Paz, A. M., & Fariña, J. (2018). Design and characterization of an active bridge oscillator as a QCM sensor for the measurement of liquid properties and mass films in damping media. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 276(2010), 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.04.012>
- Rouhillah, & Amri, B. (2018). Sensitivitas Sensor Gas Berbasis Quartz Crystal Microbalance Terhadap Senyawa Organik. *Jurnal J-Innovation*, 7(2).
- Santika, A. S. (2018). *Karakterisasi Sensor QCM Dengan Pelapisan Bahan Aktif Membran Lipid Oleic Acid Pada Respon Elektroda Perak Terhadap HCl*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Sauerbrey, G. (1959). Sauerbrey equation. *Zeitschrift Für Physik*, 155, 206–222.
- Ummah, A. R. (2018). *Karakterisasi Sensor Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan Pelapisan Membran Lipid Oleyl Alkohol Terhadap Respon HCl dan NaCl*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Wahyuni, F., Sakti, S. P., Juswono, U. P., Irawati, F., & Chabi, N. (2012). Desain Konstruksi Sel untuk Immunosensor Berbasis Quartz Crystal Microbalance (QCM). *Jurnal Lingkungan Dan Kesehatan*, 1(4), 305–311.
- Waynandar, S., Sulaiman, & Fithri, N. (2019). Rancang Bangun Modul Pembelajaran Osilator Menggunakan Mikrokontroler. *Bina Darma Conference Engineering Sains*, 174–185.
- Wicaksono, B., Wicaksono, B. A., Rivai, M., & Tasripan, T. (2014). Rancang Bangun Sistem Pencacah Frekuensi Untuk Sensor Gas Quartz Crystal Microbalance. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), F79–F83.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Pengukuran Frekuensi

No	Frekuensi osiloskop (Hz)	Frekuensi Rangkaian (Hz)			
		Frequency Counter 1	Frequency Counter 2	Frequency Counter 3	Frequency Counter 4
1	1005510	1025272	1018263	1027911	1018262
		1025244	1018263	1027827	1018262
		1025235	1018263	1027859	1018261
		1025292	1018263	1027902	1018262
		1025208	1018263	1027850	1018263
	Rata - rata	1025250,2	1018263	1027869,8	1018262
2	1500630	1527388	1527396	1537649	1527394
		1527386	1527396	1537674	1527393
		1527387	1527396	1537600	1527397
		1527387	1527396	1537657	1527396
		1527387	1527396	1537668	1527395
	Rata - rata	1527387	1527396	1537649,6	1527395
3	2200020	2240168	2258216	2238829	2240180
		2240168	2258287	2238897	2240181
		2240169	2258227	2238813	2240179
		2240166	2258243	2238839	2240180
		2240168	2258239	2238869	2240181
	Rata - rata	2240167,8	2258242,4	2238849,4	2240180,2
4	3550030	3614819	3615783	3614855	3614837
		3614817	3615707	3614854	3614835
		3614817	3615705	3614855	3614837
		3614814	3615711	3614855	3614837
		3614816	3615730	3614856	3614836
	Rata - rata	3614816,6	3615727,2	3614855	3614836,4
5	4400030	4477869	4477685	4480385	4582183
		4477861	4477604	4480384	4582186
		4477862	4477620	4480384	4582186
		4477859	4477609	4480385	4582181
		4477858	4477663	4480381	4582185
	Rata - rata	4477861,8	4477636,2	4480383,8	4582184,2
6	5000040	5085526	5090357	5091309	5091310
		5085628	5090334	5091330	5091306
		5085533	5090343	5091327	5091312
		5085641	5090349	5091347	5091305
		5085618	5090342	5091344	5091310
	Rata - rata	5085589,2	5090345	5091331,4	5091308,6
7	5500050	5600420	5529196	5596997	5600049

		5600422	5529112	5596932	5600068
		5600420	5529154	5596929	5600038
		5600419	5529112	5596991	5600042
		5600420	5529196	5596905	5599977
	Rata - rata	5600420	5529154	5596950,8	5600034,8
8	5800050	5905898	5839178	5899287	5903732
		5905897	5839240	5899250	5903755
		5905897	5839184	5899223	5903741
		5905898	5839105	5899224	5903777
		5905897	5839192	5899215	5903711
	Rata - rata	5905897,40	5839179,8	5899239,8	5903743,2
9	6000040	6109551	6108220	6109578	6109583
		6109546	6108281	6109582	6109582
		6109549	6108276	6109583	6109582
		6109555	6108276	6109583	6109582
		6109550	6108281	6109583	6109583
	Rata - rata	6109550,2	6108266,8	6109581,8	6109582,4
10	6500050	6618680	6597683	6604837	6618719
		6618680	6597694	6604862	6618716
		6618678	6597682	6604883	6618714
		6618678	6597671	6604806	6618717
		6618679	6597673	6604866	6618718
	Rata - rata	6618679	6597680,6	6604850,8	6618716,8

Lampiran 2

Data Standar Deviasi, Koefisien Variasi, Akurasi dan Presisi

No	Frekuensi Osiloskop (Hz)	Frequency Counter ke-	Standar Deviasi	KV	Presisi	Akurasi
1	1005510	1	32,683329	0,003188%	99,996812%	98%
		2	0,000000	0,000000%	100,000000%	99%
		3	35,618815	0,003465%	99,996535%	98%
		4	0,707107	0,000069%	99,999931%	99%
		Rata - rata	17,252313	0,001681%	99,998319%	98%
2	1500630	1	0,707107	0,000046%	99,999954%	98%
		2	0,000000	0,000000%	100,000000%	98%
		3	29,364945	0,001910%	99,998090%	98%
		4	1,581139	0,000104%	99,999896%	98%
		Rata - rata	7,913298	0,000515%	99,999485%	98%
3	2200020	1	1,095445	0,000049%	99,999951%	98%
		2	27,088743	0,001200%	99,998800%	97%
		3	33,538038	0,001498%	99,998502%	98%
		4	0,836660	0,000037%	99,999963%	98%
		Rata - rata	15,639722	0,000696%	99,999304%	98%
4	3550030	1	1,816590	0,000050%	99,999950%	98%
		2	32,729192	0,000905%	99,999095%	98%
		3	0,707107	0,000020%	99,999980%	98%
		4	0,894427	0,000025%	99,999975%	98%
		Rata - rata	15,802351	0,000250%	99,999750%	98%
5	4400030	1	4,324350	0,000097%	99,999903%	98%
		2	35,842712	0,000800%	99,999200%	98%
		3	1,643168	0,000037%	99,999963%	98%
		4	2,167948	0,000047%	99,999953%	96%
		Rata - rata	10,994544	0,000245%	99,999755%	98%
6	5000040	1	55,160674	0,001085%	99,998915%	98%
		2	8,573214	0,000168%	99,999832%	98%
		3	15,208550	0,000299%	99,999701%	98%
		4	2,966479	0,000058%	99,999942%	98%
		Rata - rata	20,477230	0,000403%	99,999597%	98%
7	5500050	1	1,095445	0,000020%	99,999980%	98%
		2	42,000000	0,000760%	99,999240%	99%
		3	40,855844	0,000730%	99,999270%	98%
		4	34,303061	0,000613%	99,999387%	98%
		Rata - rata	29,563588	0,000530%	99,999470%	99%
8	5800050	1	0,547723	0,000009%	99,999991%	98%
		2	48,447910	0,000830%	99,999170%	99%

		3	29,490676	0,000500%	99,999500%	99%
		4	24,742676	0,000419%	99,999581%	99%
		Rata - rata	25,807246	0,000439%	99,999561%	99%
9	6000040	1	3,271085	0,000054%	99,999946%	98%
		2	26,281172	0,000430%	99,999570%	98%
		3	2,167948	0,000035%	99,999965%	98%
		4	0,547723	0,000009%	99,999991%	98%
		Rata - rata	8,066982	0,000132%	99,999868%	99%
10	6500050	1	1,000000	0,000015%	99,999985%	98%
		2	9,181503	0,000139%	99,999861%	98%
		3	114,757135	0,001742%	99,999546%	99%
		4	1,923538	0,000029%	99,999971%	98%
		Rata - rata	31,715544	0,000481%	99,999841%	98%

Lampiran 3

Pemrograman

A. Frequency Counter 1

```
#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

#define SLAVE_ADDR 9

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5, INPUT);
  FreqCount.begin(1000);
  Wire.begin(SLAVE_ADDR);
  Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
  if (FreqCount.available()) {
    f = FreqCount.read();
  } else {
    f = 0;
  }
  Serial.print("F = ");
  if (f >= 1000000) {
    Serial.print(f / 1000000.0, 6);
    Serial.println(" MHz");
  } else if (f > 0) {
    Serial.print(f / 1000.0, 3);
    Serial.println(" kHz");
  } else {
    Serial.println("0 Hz");
  }

  delay(1000);
}

void requestEvent() {
  Wire.write((byte)(f & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
  Serial.print("Frequency sent: ");
  Serial.println(f);
}
```

```

}
B. Frequency Counter 2

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

#define SLAVE_ADDR 10

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5, INPUT);
  FreqCount.begin(1000);
  Wire.begin(SLAVE_ADDR);
  Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {

  if (FreqCount.available()) {
    f = FreqCount.read();
  } else {
    f = 0;
  }
  Serial.print("F = ");
  if (f >= 1000000) {
    Serial.print(f / 1000000.0, 6);
    Serial.println(" MHz");
  } else if (f > 0) {
    Serial.print(f / 1000.0, 3);
    Serial.println(" kHz");
  } else {
    Serial.println("0 Hz");
  }

  delay(1000);
}

void requestEvent() {
  Wire.write((byte)(f & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
  Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
  Serial.print("Frequency sent: ");
  Serial.println(f);
}
C. Frequency Counter 3

```

```

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

#define SLAVE_ADDR 11

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
    } else {
        f = 0;
    }
    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

D. Frequency Counter 4

```

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

```

```

#define SLAVE_ADDR 12
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
    } else {
        f = 0;
    }
    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

E. Frequency Counter 1 Sesudah Kalibrasi

```

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

#define SLAVE_ADDR 9
#define KOREKSI_FAKTOR 1.018277113 // Faktor koreksi 5,5 MHz

```

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;
void loop() {

    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
        f = f * KOREKSI_FAKTOR;
    } else {
        f = 0;
    }
    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

F. Frequency Counter 2 Sesudah Kalibrasi

```

G. #include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

```

```

#define SLAVE_ADDR 10
#define KOREKSI_FAKTOR 1.018277113
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
        f = f * KOREKSI_FAKTOR;
    } else {
        f = 0;
    }
    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

// Function to handle I2C requests
void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

H. Frequency Counter 3 Sesudah Kalibrasi

```

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

```



```

#define SLAVE_ADDR 11
#define KOREKSI_FAKTOR 1.018277113

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
        f = f * KOREKSI_FAKTOR;
    } else {
        f = 0;
    }

    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

I. Frequency Counter 4 Sesudah Kalibrasi

```

#include <Wire.h>
#include <FreqCount.h>

```

```

#define SLAVE_ADDR 12
#define KOREKSI_FAKTOR 1.018277113

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(5, INPUT);
    FreqCount.begin(1000);
    Wire.begin(SLAVE_ADDR);
    Wire.onRequest(requestEvent);
}

unsigned long f = 0;

void loop() {
    if (FreqCount.available()) {
        f = FreqCount.read();
        f = f * KOREKSI_FAKTOR;
    } else {
        f = 0;
    }
    Serial.print("F = ");
    if (f >= 1000000) {
        Serial.print(f / 1000000.0, 6);
        Serial.println(" MHz");
    } else if (f > 0) {
        Serial.print(f / 1000.0, 3);
        Serial.println(" kHz");
    } else {
        Serial.println("0 Hz");
    }

    delay(1000);
}

void requestEvent() {
    Wire.write((byte)(f & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 8) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 16) & 0xFF));
    Wire.write((byte)((f >> 24) & 0xFF));
    Serial.print("Frequency sent: ");
    Serial.println(f);
}

```

J. Pengontrol Pengiriman Data

```

#include <Wire.h>

#define SLAVE_ADDR_1 9

```

```

#define SLAVE_ADDR_2 10
#define SLAVE_ADDR_3 11
#define SLAVE_ADDR_4 12
#define MAX_READ_SIZE 4

void setup() {
    Wire.begin();
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("I2C Master Demonstration");

    Serial.println("CLEARDATA"); // Membersihkan data sebelumnya
    Serial.println("LABEL, TIME (HH:MM:SS), Slave 1 (Hz), Slave 2 (Hz), Slave 3 (Hz), Slave 4 (Hz)");
}

void loop() {
    delay(1000);

    unsigned long currentTime = millis();
    String formattedTime = formatTime(currentTime);

    unsigned long freq1 = readFromSlave(SLAVE_ADDR_1);
    unsigned long freq2 = readFromSlave(SLAVE_ADDR_2);
    unsigned long freq3 = readFromSlave(SLAVE_ADDR_3);
    unsigned long freq4 = readFromSlave(SLAVE_ADDR_4);

    Serial.print("DATA, ");
    Serial.print(formattedTime);
    Serial.print(", ");
    printFrequency(freq1);
    Serial.print(", ");
    printFrequency(freq2);
    Serial.print(", ");
    printFrequency(freq3);
    Serial.print(", ");
    printFrequency(freq4);
    Serial.println();
}

unsigned long readFromSlave(int slaveAddr) {
    Wire.requestFrom(slaveAddr, MAX_READ_SIZE);

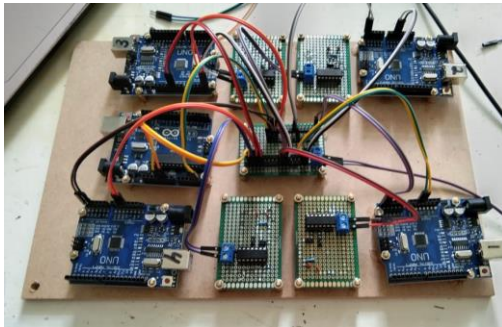
    unsigned long frequency = 0;
    for (int i = 0; i < MAX_READ_SIZE && Wire.available(); i++) {
        frequency |= ((unsigned long)Wire.read() << (i * 8));
    }
}

```

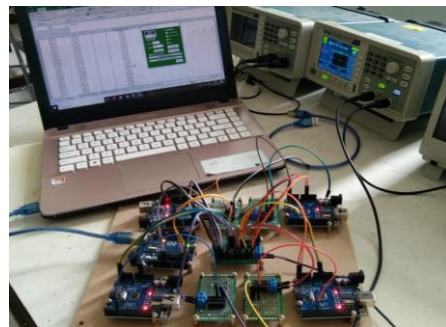
```
    }  
    return frequency;  
}  
  
void printFrequency(unsigned long frequency) {  
    Serial.print(frequency);  
}  
  
String formatTime(unsigned long millis) {  
    unsigned long seconds = millis / 1000;  
    unsigned long minutes = seconds / 60;  
    unsigned long hours = minutes / 60;  
  
    seconds = seconds % 60;  
    minutes = minutes % 60;  
    hours = hours % 24;  
  
    char buffer[9];  
    sprintf(buffer, "%02lu:%02lu:%02lu", hours, minutes, seconds);  
    return String(buffer);  
}
```

Lampiran 4

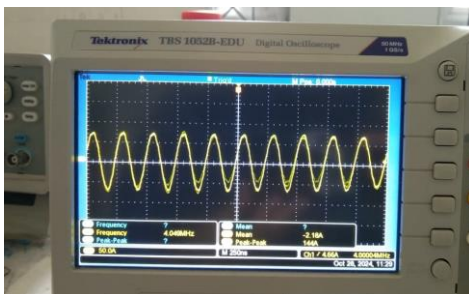
Dokumentasi Penelitian



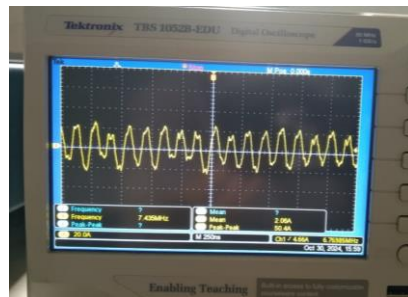
Rangkaian keseluruhan



Pengambilan data



Pengujian rangkaian osilator





KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110023
Nama : SANDY NUR WIDYANINGSIH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : MUTHMAINNAH,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : RUSLI,M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : RANCANG BANGUN RANGKAIAN OSILATOR SEDERHANA 10 MHz UNTUK MENGUKUR FREKUENSI SENSOR QCM BERBASIS ARDUINO UNO R3

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	01 November 2023	MUTHMAINNAH,M.Si	Konsultasi judul	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	22 November 2023	MUTHMAINNAH,M.Si	Konsultasi BAB I & III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	09 Januari 2024	MUTHMAINNAH,M.Si	Konsultasi BAB I, II, III	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	07 Juni 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi integrasi BAB I & II	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	08 November 2024	MUTHMAINNAH,M.Si	Konsultasi data hasil penelitian	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	15 November 2024	MUTHMAINNAH,M.Si	Konsultasi BAB IV	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
7	15 November 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi integrasi BAB IV	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

RUSLI,M.Si

Malang, 20 Desember 2024
Dosen Pembimbing 1

MUTHMAINNAH,M.Si

Kajur/Kaprodi,