



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PENGENAL AROMA  
DENGAN MENGGUNAKAN *QUARTZ CRYSTAL* 40MHz**

**SKRIPSI**

**YAN ANDRI FAISAL  
0606042960**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PENGENAL AROMA  
DENGAN MENGGUNAKAN *QUARTZ CRYSTAL* 40MHz**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**YAN ANDRI FAISAL  
0606042960**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yan Andri Faisal

NPM : 0606042960

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yan Andri Faisal

NPM : 0606042960

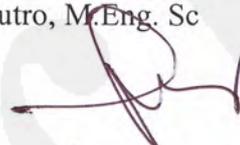
Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Rancang bangun sistem sensor pengenal aroma dengan menggunakan *quartz crystal* 40MHz.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

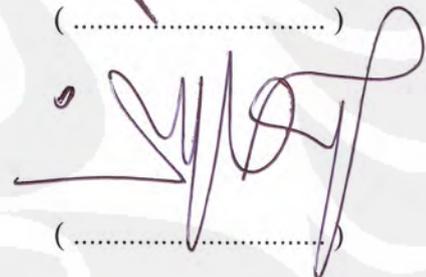
### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Benyamin Kusumoputro, M.Eng. Sc



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir, MT



(.....)

Penguji : Dr. Abdul Muis, ST, M.Eng



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Profesor Benyamin Kusumoputro selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan secara spiritual dan moral.
3. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yan Andri Faisal  
NPM : 0606042960  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PENGENAL AROMA DENGAN  
MENGUNAKAN *QUARTZ CRYSTAL* 40MHz**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2010

Yang menyatakan

(Yan Andri Faisal)

## ABSTRAK

Nama : Yan Andri Faisal  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang bangun sistem sensor pengenal aroma dengan menggunakan kristal kuarsa 40MHz.

Sistem penciuman elektronik atau biasa disebut hidung elektronik, meniru kerja jaringan indra penciuman manusia. Pada keseluruhan sistem penciuman elektronik dapat dibagi menjadi sistem sensor, sistem elektronik, dan sistem pengambil keputusan yang dapat mengenali jenis aroma tertentu.

Sistem sensor dapat dikembangkan dengan memanfaatkan efek pembebanan masa pada bidang *piezoelectric*, dengan memodifikasi suatu kristal kuarsa yang bekerja pada frekuensi tertentu.

Perancangan rangkaian resonan yang tepat akan menghasilkan resonansi yang stabil sehingga menunjang performa pembacaan sensor.

Diharapkan dengan peningkatan frekuensi kerja dari kristal kuarsa yang digunakan akan menghasilkan kemampuan pengenalan aroma yang lebih baik dari sistem yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya.

Kata Kunci : kristal kuarsa, sensor aroma

## ABSTRACT

Name : Yan Andri Faisal  
Study Program: Electrical Engineering  
Title : Design of odor detection sensor using quartz crystal 40MHz.

Electronic sensing odor or usually know as electronic nose working by imitating how human nose sensing. Complete system of an odor sensing could be divided as sensor system, electrical system, and decision making system.

Sensor system could be developed by using mass loading effect at piezoelectric material, it posibly developed by modifying quartz crystal working at it frequency.

Designing correct oscillator circuit is necessary for good reading preformance of the sensor.

Better performance of detecting odor, expected by increse quartz crystal frequency from research already done before.

Key Words: quartz crystal, odor sensor

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR SINGKATAN .....	xi
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan .....	2
1.3. Pembatasan Masalah .....	2
1.4. Metodologi Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>2. DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Sistem Penciuman Elektronik .....	5
2.2. <i>Quartz Crystal</i> .....	7
2.3. <i>Oscillator</i> .....	11
2.4. <i>Frequency Counter</i> .....	12
2.5. <i>Interfacing</i> .....	13
<b>3. PERANCANGAN SISTEM SENSOR</b> .....	<b>15</b>
3.1. Pemilihan <i>Quartz Crystal</i> .....	15
3.2. Perancangan <i>Oscillator</i> .....	17
3.3. Perancangan <i>Frequency Counter</i> .....	21
3.4. Interkoneksi Dengan Komputer .....	24
<b>4. ANALISA SISTEM DAN DATA</b> .....	<b>26</b>
4.1. Rangkaian <i>Oscillator</i> .....	26
4.2. Rangkaian <i>Frequency Counter</i> .....	28
<b>5. KESIMPULAN</b> .....	<b>32</b>
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>33</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	
LAMPIRAN 1: <i>Datasheet Umum Quartz Crystal tipe casing HC49U</i>	
LAMPIRAN 2: <i>Source Code</i> pada ATTiny2313	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem lengkap pengenalan aroma elektronik.....	1
Gambar 2.1	Diagram sistem sensor pendeteksi aroma. ....	5
Gambar 2.2	Prinsip dasar sensor <i>quartz</i> .....	6
Gambar 2.3	Berbagai tipe potongan <i>quartz crystal</i> berdasarkan sudut pemotongan pada bahan <i>quartz</i> utuh.....	7
Gambar 2.4	Pergeseran frekuensi <i>quartz crystal</i> pada tipe AT-cut berdasarkan pergeseran minor sudut pemotongan bahan.....	8
Gambar 2.5	(a) Penampang samping QC (b) Mode operasi QC .....	9
Gambar 2.6	Karakteristik reaktansi dari kristal .....	10
Gambar 2.7	(a) Simbol komponen <i>quartz crystal</i> , (b) Rangkaian <i>equivalent</i> , (c) Rangkaian <i>equivalent</i> untuk <i>overtone mode</i> .....	10
Gambar 2.8	Bentuk dasar rangkaian <i>pieze resonant oscillator</i> .....	11
Gambar 2.9	Bentuk dasar rangkaian <i>colpitts resonant oscillator</i> .....	11
Gambar 2.10	Proses pencacahan frekuensi.....	12
Gambar 2.11	Diagram alir proses pencacah frekuensi .....	12
Gambar 3.1	<i>Quartz crystal</i> 40,000MHz .....	15
Gambar 3.2	Perbandingan <i>quartz crystal</i> .....	16
Gambar 3.3	Rangkaian resonan menggunakan tipe <i>colpitts oscillator</i> .....	18
Gambar 3.4	Pengukuran pada <i>spectrum analyzer</i> tanpa LC Filter .....	19
Gambar 3.5	Pengukuran pada <i>spectrum analyzer</i> dengan LC Filter.....	20
Gambar 3.6	Pengukuran pada <i>frequency counter PM6667</i> .....	20
Gambar 3.7	Pengukuran output rangkaian <i>colpitts oscillator</i> pada <i>oscilloscope</i> .....	20
Gambar 3.8	Chip 74HC393 sebagai <i>prescaler</i> pembagi 8 .....	21
Gambar 3.9	Pengukuran output pembagi 8 pada IC 74HC39.....	22
Gambar 3.10	Skematik rangkaian <i>frequency counter</i> .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Informasi karakteristik kristal .....	17
Tabel 4.1	Perbandingan tebal bahan <i>quartz</i> terhadap frekuensi fundamental yang dihasilkan .....	26
Tabel 4.2	Perbandingan pergeseran frekuensi terhadap beban 1 mikrogram.....	27
Tabel 4.3	Hasil pengukuran rangkaian frequency counter melalui kabel RS-232.....	29
Tabel 4.4	Persentase error pembacaan rangkaian <i>frequency counter</i> ....	31

## DAFTAR SINGKATAN

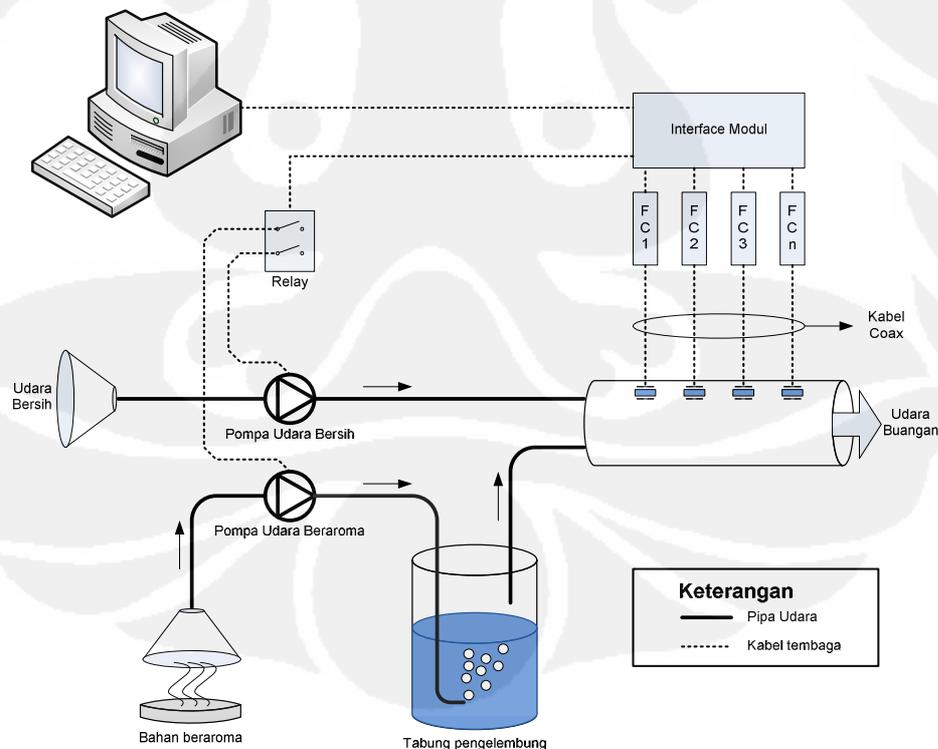
QC	Quartz Crystal
SAW	Surface Acoustic Wave
PC	Personal Computer
ANN	Artificial Neural Network
OSC	Oscillator
FC	Frequency Counter
BJT	Bipolar Junction Transistor
USART	Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter
uC	Mikrokontroler
CLK	Clock

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

Kualitas aroma pada suatu produk-produk industri seperti kosmetika, makanan dan farmasi saat ini lazimnya ditentukan oleh manusia yang memiliki kepekaan tinggi pada indra penciumannya. Akan tetapi manusia yang memiliki keahlian khusus seperti ini sangat-lah langka, lagipula manusia memiliki keterbatasan alamiah seperti faktor kesehatan sehingga dapat mempengaruhi kinerjanya. Dengan adanya sistem penciuman elektronik diharapkan ketergantungan terhadap manusia dapat dikurangi sehingga kualitas suatu produk industri dapat lebih terjaga.

Sistem pengenalan aroma elektronik, atau yang sering disebut dengan hidung elektronik yang telah dikembangkan memanfaatkan sensor-sensor khusus seperti sensor SAW dan *piezoelectric*. Pada penelitian sebelumnya [1] dibuat sebuah sistem utuh pengenalan aroma yang dapat diilustrasikan seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Sistem lengkap pengenalan aroma elektronik

Dapat ditelusuri dari gambar 1.1, pendeteksian aroma diupayakan mendekati proses pengenalan aroma oleh manusia. Bahan beraroma dihisap oleh sebuah pompa lalu disaring melalui tabung pengelembung untuk memisahkan partikel debu yang mungkin ikut terserap, kemudian dialirkan sehingga melalui beberapa sensor-sensor yang akan mendeteksi aroma yang terkandung di dalam aliran udara. Sensor yang digunakan merupakan modifikasi dari sebuah *quartz crystal* (kemudian akan disingkat QC) yang beresonansi pada frekuensi 20MHz. QC tersebut direkayasa sedemikian rupa sehingga memiliki tingkat sensitifitas yang berbeda-beda untuk jenis aroma yang berbeda-beda pula. Prinsip dasar yang digunakan untuk sensor adalah efek pembebanan masa pada bahan *piezoelectric* sesuai dengan persamaan sauerbrey yang akan di jelaskan pada bab berikutnya. Untuk pengenalan aroma dilakukan dengan teknik *Artificial Neural Network* (ANN) yang kalkulasinya dilakukan pada perangkat PC sehingga suatu aroma dapat dipetakan dalam suatu vektor ruang multidimensi. Penelitian sebelumnya menjadi rujukan penulis untuk mengembangkan kemampuan sensor yang mampu melakukan deteksi aroma. Sebagai catatan penelitian menggunakan QC 20MHz yang dijadikan rujukan, juga merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang menggunakan QC 10MHz [2].

## 1.2. TUJUAN

Memodifikasi QC menjadi sensor berkarakteristik *piezoelectric* dan meningkatkan kemampuan pendeteksian aroma pada sensor dengan cara meningkatkan frekuensi kerja sensor dari 20MHz menjadi 40MHz. Sensor dikombinasikan dengan rancang bangun rangkaian *oscillator* dan *frequency counter*, kemudian dikoneksikan ke PC sehingga perubahan pendeteksian dapat dimonitor. Diharapkan sistem sensor ini dapat meningkatkan kemampuan sistem penciuman elektronik yang telah dirancang pada riset sebelumnya.

## 1.3. PEMBATASAN MASALAH

Secara keseluruhan batasan masalah skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian bahasan yaitu:

- *Quartz crystal* sebagai sensor dan rangkaian resonan (*oscillator*)

Pada bahasan ini sensor hanya dibahas masalah bahan, karakteristik, dan spesifikasi. Berbeda dengan referensi tesis [1] yang digunakan, penulis tidak membahas tentang rekayasa *quartz crystal* dengan zat tertentu sehingga memperoleh tingkat sensitifitas perubahan frekuensi yang berbeda-beda terhadap aroma tertentu. Pembahasan rangkaian resonan, akan menjelaskan tentang alasan pemilihan jenis rangkaian resonan yang digunakan dari banyak tipe rangkaian resonan yang ada.

- Pencacah Frekuensi

Membahas teknik yang digunakan untuk mencacah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian resonan.

- Antarmuka antara alat yang dibuat, dengan komputer.

Menjelaskan tentang bagaimana data-data tiap pencacah frekuensi dapat disajikan ke komputer secara teratur.

Hal yang berkaitan namun tidak dibahas dalam Tugas Akhir ini:

- Pembuatan mekanikal proses pendeteksian aroma secara keseluruhan.
- Manipulasi *quartz crystal* dengan zat tertentu sehingga menjadi sensor yang relatif sensitif terhadap aroma tertentu.
- Sistem *Neural Network* yang memungkinkan identifikasi aroma pada vektor ruang multi dimensi.

#### **1.4. METODOLOGI PENELITIAN**

Metode yang dilakukan pada skripsi ini adalah membuat perangkat keras berupa rangkaian resonan berbasis QC yang mampu bekerja pada frekuensi 40MHz, rangkaian *frequency counter*, menguji perangkat yang dibuat dengan alat ukur dan membandingkan teori dengan hasil percobaan.

#### **1.5. SISTIMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan pada skripsi ini dibuat menjadi 5 bab yaitu:

Bab I Pendahuluan

Tentang latar belakang, tujuan dan batasan masalah yang dibahas dalam skripsi kali ini.

## Bab II Dasar Teori

Pembahasan dasar mengenai, sistem penciuman elektronik, sensor QC, *oscillator*, dan *frequency counter*.

## Bab III Perancangan

Rancangan hardware yang memungkinkan dibuatnya sistem sensor yang dibahas pada skripsi ini.

## Bab IV Analisa

Analisa dari rancangan *oscillator* dan *frequency counter*.

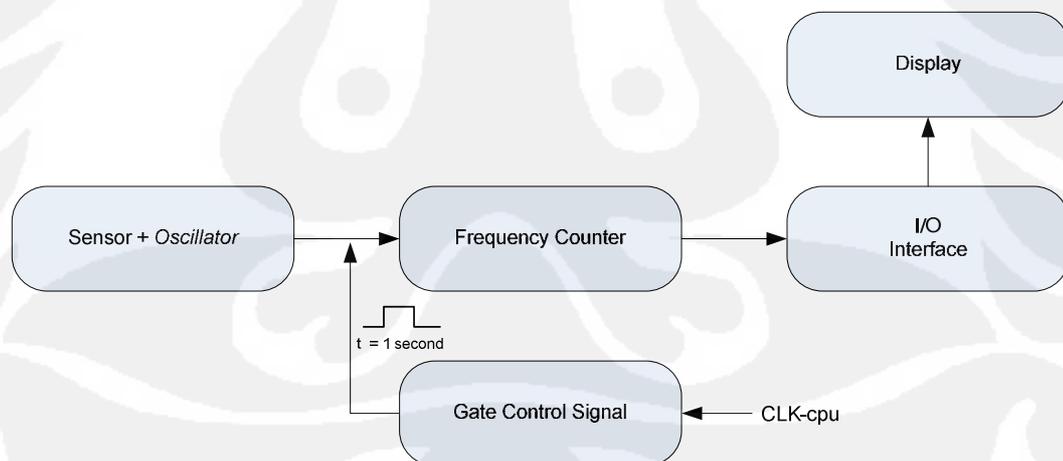
## Bab V Kesimpulan dan Saran.

## BAB 2 DASAR TEORI

Sistem penciuman elektronik dikembangkan agar dapat meniru kemampuan penginderaan yang dilakukan oleh sistem penciuman manusia. Syarat utama suatu aroma dapat dideteksi oleh hidung manusia adalah zat tersebut larut dalam udara yang dihirup oleh manusia dalam proses pernafasan. Ketika udara memasuki saluran pernafasan, udara tersebut akan melintasi bagian ujung jaringan syaraf yang sensitif yang berfungsi sebagai sensor. Sensor-sensor ini memiliki jumlah yang sangat banyak namun memiliki karakter berbeda.

### 2.1. SISTEM PENCIUMAN ELEKTRONIK

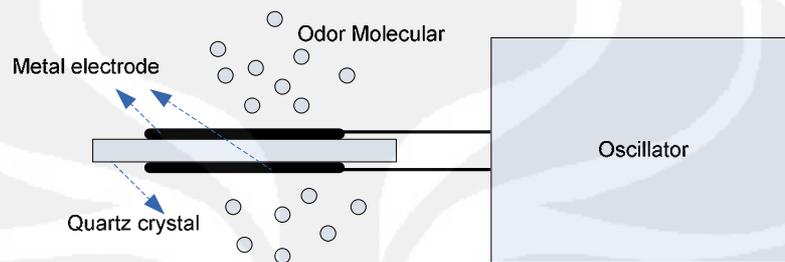
Umumnya sensor yang digunakan pada sistem penciuman elektronik adalah SAW (*Surface Acoustic Wave*), dan *piezoelectric*. Kedua jenis sensor ini mampu mendeteksi perubahan masa yang sangat kecil sehingga memperoleh suatu besaran yang dapat dianalisa.



Gambar 2.1 Diagram sistem sensor pendeteksi aroma.

Gambar 2.1 diatas menjelaskan suatu sistem sensor pendeteksi aroma, dimana suatu aroma dideteksi oleh sensor lalu pergeseran frekuensi dideteksi oleh *frequency counter* dan pada akhirnya hasilnya ditampilkan melalui sebuah display. Bagian-bagian tersebut akan dijelaskan pada sub-bab lainnya.

Pada penelitian sebelumnya [1], sensor yang digunakan untuk sistem penciuman elektronik adalah berupa QC 20Mhz yang direkayasa dengan melapisi membran tipis sehingga sensitif terhadap aroma tertentu. Prinsip kerja dasar pada sensor ini adalah terjadinya pergeseran frekuensi resonansi saat terabsorbsinya molekul-molekul gas beraroma pada permukaan *quartz crystal*, seperti diilustrasikan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Prinsip dasar sensor *quartz*

Fenomena ini terjadi karena adanya efek pembebanan masa (*mass loading effect*). Perubahan frekuensi yang terjadi sebanding dengan masa total molekul gas yang terabsorpsi sesuai dengan persamaan sauerbrey [3]:

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

Dimana:

$f_o$  adalah frekuensi resonansi *quartz crystal*(Hz)

$\Delta m$  adalah perubahan masa (g)

$A$  adalah luas area Kristal antara dua elektroda ( $\text{cm}^2$ )

$\rho_q$  adalah masa jenis *quartz* = 2,648  $\text{g/cm}^3$

$\mu_q$  adalah modulus geser *quartz* (*shear modulus*) = 2,947E+11  $\text{g/cm.s}^3$

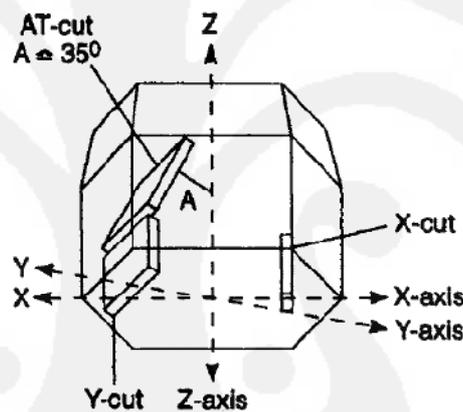
Karena pada penelitian kali ini digunakan QC dengan tipe *AT-cut*, maka persamaan 2.1 dapat ditulis menjadi:

$$\Delta f = -2,264 \times 10^{-6} \times f_o^2 \times \frac{\Delta m}{A} \quad \dots (2.2)$$

Apabila molekul-molekul gas beraroma pada permukaan kristal mengalami deabsorpsi, maka frekuensi normal QC akan kembali seperti semula. Sensor *quartz* mempunyai sensitifitas yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan jenis sensor kimia lain, akan tetapi sensor ini memiliki batasan yaitu hanya efektif bekerja pada suhu berkisar  $25^{\circ}\text{C}$ .

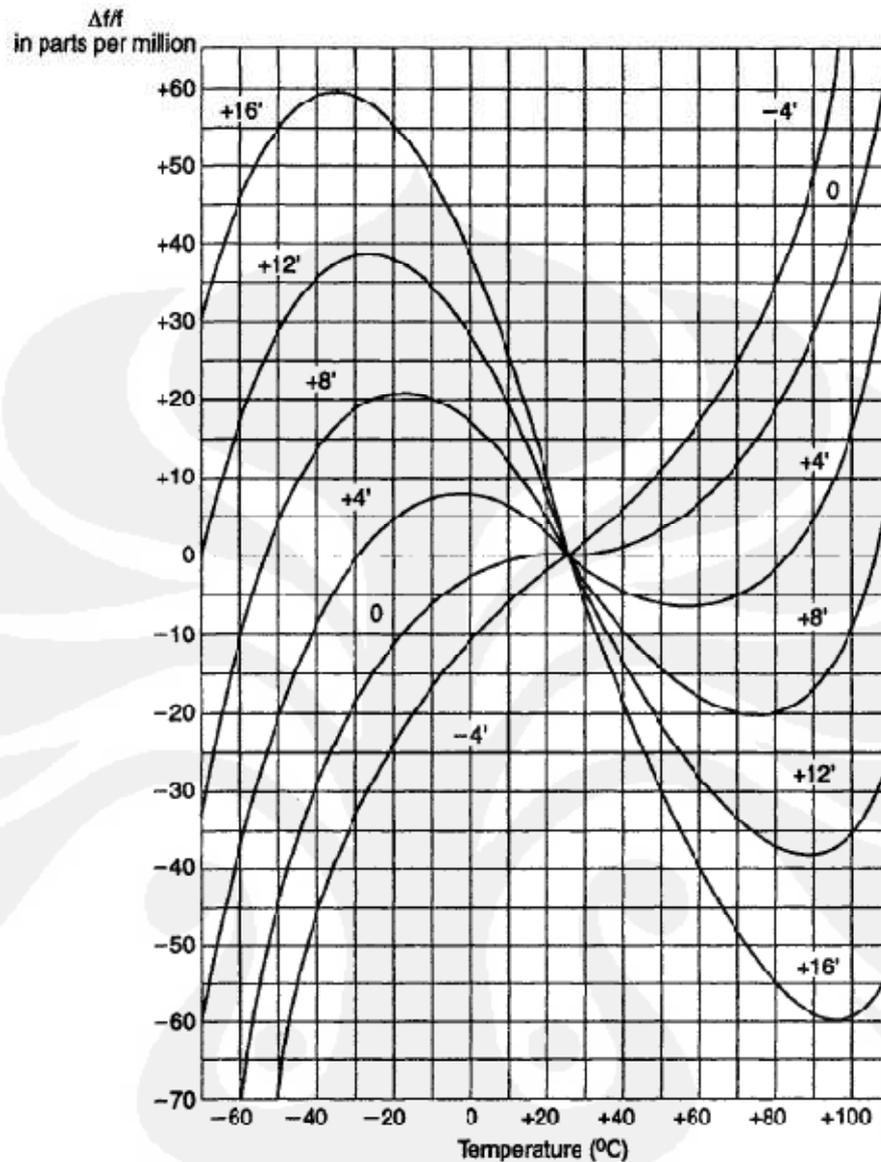
## 2.2. QUARTZ CRYSTAL

*Quartz crystal* terbentuk dari molekul silikon dan oksigen (*silicon dioxide*), komponen ini menghasilkan potensial elektrik ketika adanya tekanan pada permukaan kristal, begitu juga ketika potensial elektrik diberikan pada permukaan kristal maka resonansi terjadi akibat deformasi material.



Gambar 2.3 Berbagai tipe potongan *quartz crystal* berdasarkan sudut pemotongan pada bahan *quartz* utuh.

Untuk menghasilkan QC yang mampu beresonansi pada frekuensi yang diinginkan bahan kuarsa harus dipotong sedemikian rupa dan dihaluskan dengan tingkat presisi sangat tinggi, beberapa jenis potongan QC dapat digolongkan menjadi tipe potongan X, Y, AT, BT, GT, dan SC-cut, masing-masing tipe potongan memiliki perbedaan karakteristik. Tipe potongan AT-cut merupakan tipe yang paling populer akibat kestabilan resonansinya pada suhu ruang [4]. Akurasi atau toleransi frekuensi dari sebuah QC ditentukan dengan satuan ppm diukur pada suhu konstan  $25^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.4 Pergeseran frekuensi *quartz crystal* pada tipe AT-cut berdasarkan pergeseran minor sudut pemotongan bahan.

Grafik pada gambar 2.4 menunjukkan pergeseran sudut potong dengan skala yang sangat kecil pada tipe AT-cut menyebabkan perubahan karakteristik *quartz crystal* tipe tersebut terhadap suhu tertentu, hal ini memungkinkan produsen memproduksi *quartz crystal* yang mampu bekerja optimal pada suhu yang diinginkan [5]. Meskipun demikian, *quartz crystal* dengan karakteristik tertentu sangat sulit didapatkan, hal ini disebabkan karena aplikasi dari *quartz crystal* pada umumnya adalah sebagai pencatu *clock* pada mikroprosesor atau mikrokontroler yang bekerja pada suhu ruang.

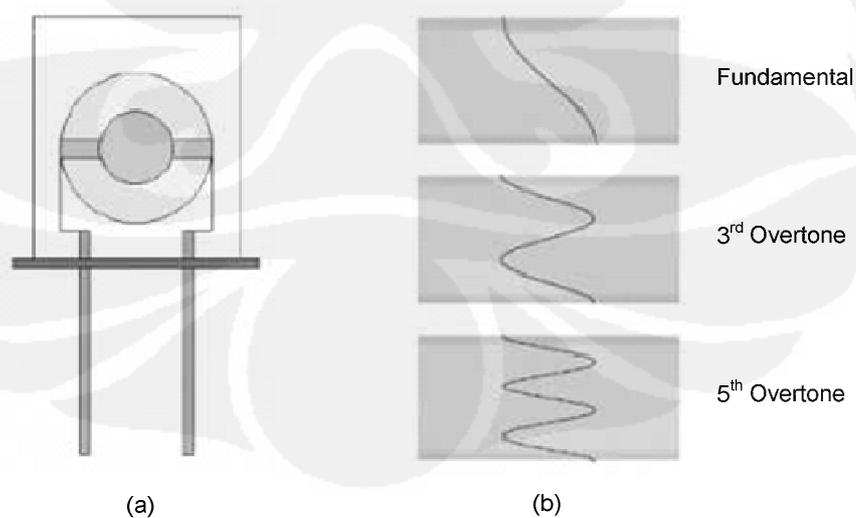
Tebal bahan *quartz* diantara dua elektroda pada komponen ini mempengaruhi frekuensi kerja dasar (*fundamental resonant frequency*) QC tersebut [5]. Untuk tipe *AT-cut* frekuensi dasar resonan ditentukan oleh formula:

$$f_o \cong \frac{167,64 \times 10^3}{t} \quad \dots (2.3)$$

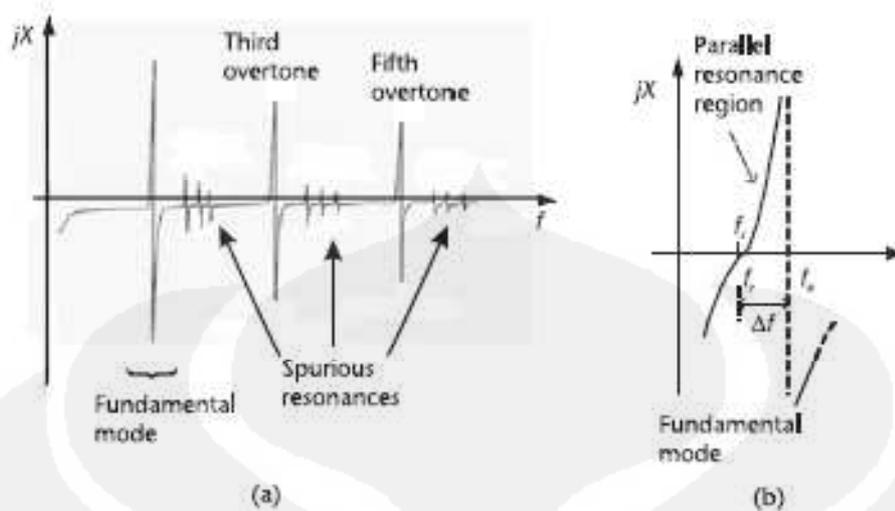
Dimana  $t$  dinyatakan dalam cm. Sebagai contoh untuk mendapatkan frekuensi resonansi dasar 1MHz, diperlukan  $t = 0.16764$  cm. Seiring dengan peningkatan frekuensi dasar maka bahan yang digunakan akan semakin tipis.

Umumnya saat ini QC yang beresonansi pada *fundamental mode* diproduksi pada rentang KHz hingga 30MHz. Untuk rentang frekuensi 30-50MHz sangat sulit untuk memproduksi QC yang mampu bekerja pada *fundamental mode*, hanya beberapa produsen yang memproduksi QC rentang frekuensi tersebut. Pada umumnya QC yang di label bekerja pada frekuensi lebih dari 30MHz merupakan QC yang bekerja pada *overtone mode*.

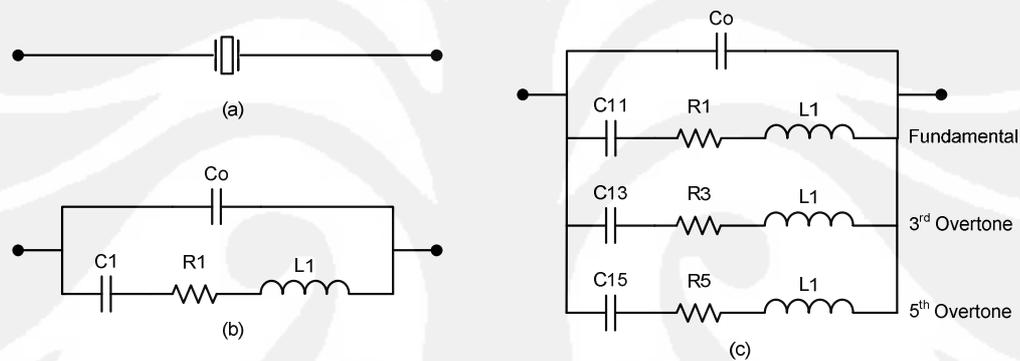
Perbedaan mendasar dari tipe *fundamental* dan *overtone* terletak pada kalibrasi akhir yang dilakukan oleh produsen. *Overtone mode* dikalibrasi berdasarkan frekuensi yang diinginkan pada *overtone*-nya bukan pada *fundamental frequency*-nya.



Gambar 2.5 (a) Penampang samping QC (b) Mode operasi QC



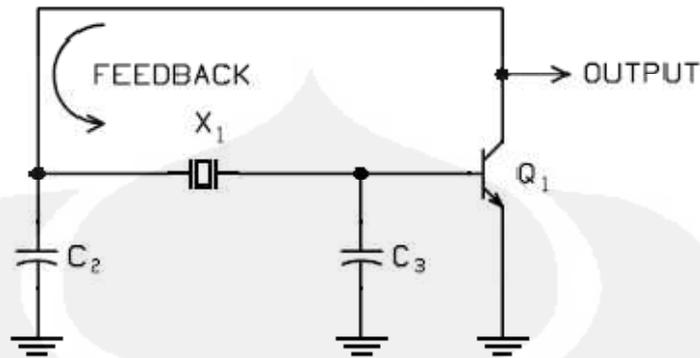
Gambar 2.6 Karakteristik Reaktansi dari kristal.



Gambar 2.7 (a) Simbol komponen *quartz crystal*, (b) Rangkaian *equivalent*, (c) Rangkaian *equivalent* untuk *overtone mode*

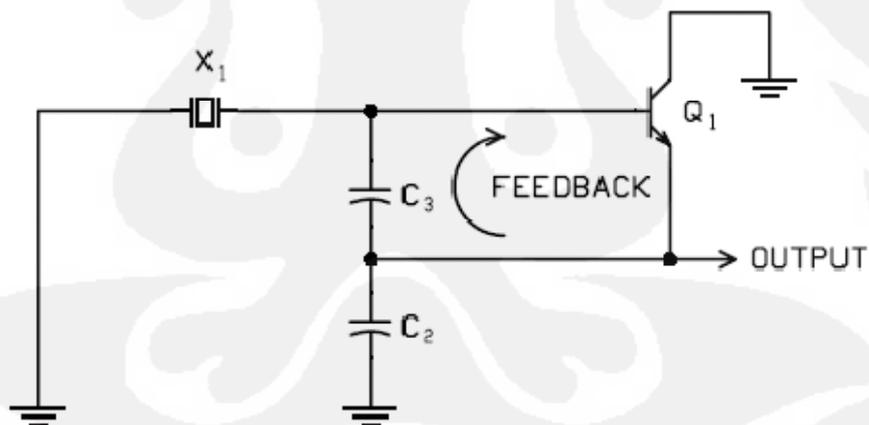
Karakteristik reaktansi dari kristal diilustrasikan pada gambar 2.6(a) diatas. Gambar 2.6(b) merupakan pembesaran dari karakteristik reaktansi kristal pada *fundamental mode*. Pada gambar 2.7 diilustrasikan rangkaian model dari QC dan bagian (b) menggambarkan rangkaian *equivalent* dari QC yang bekerja pada *fundamental mode*, dimana L1 mewakili induktansi resonan dari kristal, C1 mewakili elastisitas pada kristal, sedangkan R1 mewakili rugi-rugi akibat friksi dan panas yang dihasilkan dari deformasi kristal ketika beresonansi. Rangkaian LCR secara seri ini pada kristal disebut *motional arm*, sedangkan C0 yang merupakan representasi dari kapasitansi *shunt* dari kedua elektroda pada kristal disebut *static arm* [4].

### 2.3. OSCILLATOR



Gambar 2.8 Bentuk dasar rangkaian *pierce resonant oscillator*

*Pierce oscillator* merupakan rangkaian resonan yang sangat populer digunakan untuk pencatutan clock pada mikroprosesor atau mikrokontroler (gambar 2.8). QC dicatu secara paralel sehingga QC haruslah bersifat induktif ketika rangkaian ini beroperasi. Rangkaian ini efektif bekerja pada kisaran 1 – 20MHz [4].



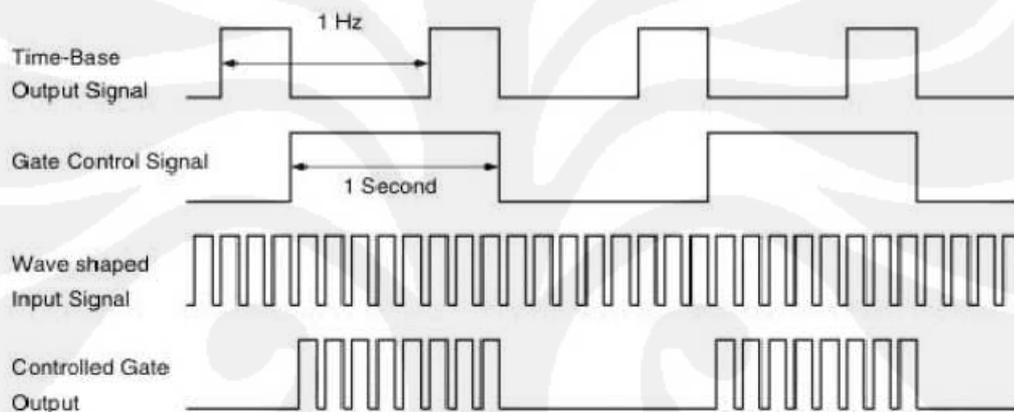
Gambar 2.9 Bentuk dasar rangkaian *colpitts resonant oscillator*

*Colpitts oscillator* merupakan rangkaian paralel resonan (gambar 2.9). pada gambar diatas merupakan rangkaian dasar untuk *quartz crystal* yang bekerja pada *fundamental mode*. Kombinasi serial pada C2 dan C3, membutuhkan nilai yang sesuai dengan *load capacitance* ( $C_L$ ) yang ditentukan pada spesifikasi

kristal. Kelebihan utama dari rangkaian ini adalah pencatutan pada kristal hanya membutuhkan satu pin saja, sedangkan pin lainnya disambungkan ke *ground*.

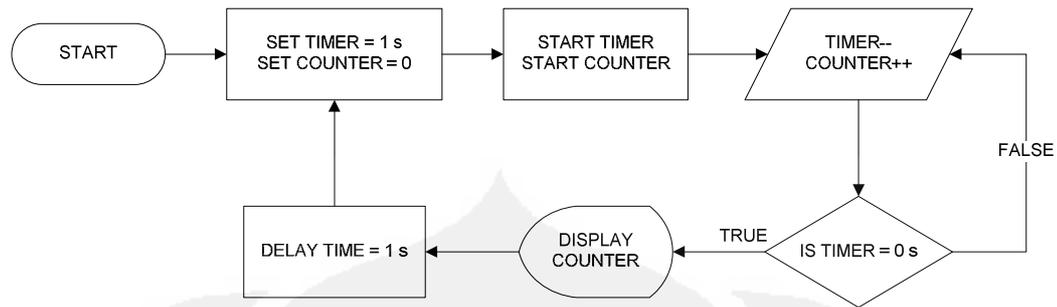
#### 2.4. FREQUENCY COUNTER

*Frequency counter* merupakan pencacah gelombang yang berulang pada periode waktu tertentu, diukur pada per-satuan waktu (detik). Untuk menentukan banyaknya gelombang dalam satu detik, maka gelombang input yang akan diukur dan *gate control signal* dibandingkan dengan gerbang logika AND, sehingga menghasilkan *controlled gate output* seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.10 Proses pencacahan frekuensi.

Pencacahan frekuensi dapat memanfaatkan fasilitas *timer/counter* yang terdapat pada hampir semua tipe mikrokontroler. Pada mikrokontroler ATtiny2313 terdapat 2 buah fungsi *timer/counter* yang dapat dimanfaatkan sebagai *frequency counter* yaitu T0 dan T1. Kedua *timer/counter* dimanfaatkan menjadi *gate control signal* dengan  $T=1$  detik pada T0, dan *Input signal* frekuensi yang akan diukur pada T1. Secara sederhana proses pencacahan frekuensi diilustrasikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.11 Diagram alir proses pencacah frekuensi

Mikrokontroler ATtiny2313 memiliki ukuran fisik yang relatif kecil dan mampu dicatu dengan frekuensi maksimum 20MHz. Pengukuran frekuensi menggunakan perangkat digital seperti mikrokontroler ini memiliki kekurangan yaitu maksimum frekuensi yang dapat diukur secara langsung direkomendasikan tidak melebihi  $f_{CPU\_IO}/2,5$  [6], ini berarti maksimum frekuensi yang dapat diukur adalah 8,000MHz. Karena keterbatasan ini, maka frekuensi yang berkisar 40MHz yang akan diukur diturunkan menjadi berkisar 5MHz dengan memanfaatkan IC 74HC393 yang berfungsi sebagai *ripple counter*. Hal ini akan dibahas lebih dalam pada bab berikutnya.

## 2.5. INTERFACING

Pada umumnya mikrokontroler memiliki kemampuan komunikasi serial terintegrasi melalui *port* USART. Untuk dapat berkomunikasi dengan PC melalui *port* serial, *port* USART mikrokontroler memerlukan *converter* level tegangan. Hal ini disebabkan sinyal USART merupakan sinyal TTL dimana  $5V = high$  dan  $0v = low$ , sedangkan port serial RS-232 pada komputer menggunakan sinyal antara  $-12v$  hingga  $+12v$  dimana  $-12v$  adalah *high* dan  $+12v$  adalah *low*.

Mikrokontroler mampu berkomunikasi dengan *port* serial komputer yang memiliki standar RS-232 melalui perantara IC MAX232. IC ini dibutuhkan untuk mengubah level tegangan komunikasi USART menjadi level tegangan komunikasi RS-232.

Setelah IC MAX232 dipasang sebagai perantara *port* USART dengan RS-232, mikrokontroler dan PC yang terhubung harus disesuaikan dengan nilai *baud-rate* yang sama. Hal ini penting karena komunikasi serial mengharuskan

identifikasi kecepatan transfer yang sama pada perangkat pengirim data dan penerima data.

Data yang telah diperoleh dari *frequency counter* kemudian akan disajikan ke komputer melalui kabel RS-232. Pada aplikasi praktis ditambahkan *converter* RS-232 to USB yang saat ini dapat diperoleh dengan mudah di pasar. Tambahan ini diperlukan apabila pada komputer yang akan menjadi *display* hasil dari *frequency counter* tidak memiliki *serial port* terintegrasi pada I/O-nya.



## BAB 3 PERANCANGAN SISTEM SENSOR

### 3.1. PEMILIHAN *QUARTZ CRYSTAL*

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, sensor yang digunakan merupakan QC 40MHz yang dibuka sehingga memungkinkan kristal yang berada di dalamnya berhubungan dengan udara luar. Proses membuka selubung metal pada QC dilakukan dengan bantuan *mini grinding tool*, diperlukan ketelitian tinggi agar tidak merusak kristal tipis didalam selubung metal yang sangat rapuh. Penggunaan frekuensi 40MHz pada kristal dilakukan dengan alasan mencoba meningkatkan kemampuan deteksi aroma dari sensor.



Gambar 3.1 *Quartz crystal* 40,000MHz

Selain memiliki karakteristik *piezoelectric*, *quartz crystal* dipilih sebagai sensor karena harga yang murah dan mudah didapatkan. Tipe yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *crystal AT-cut* yang menggunakan *casing*

komponen HC39U. Tipe kristal ini merupakan jenis yang umum digunakan sebagai pencatu frekuensi pada mikroprosesor atau mikrokontroler.

Pada umumnya QC yang dijual dipasaran tidak dapat diketahui mode operasinya, ataupun spesifikasi detail yang dibutuhkan. Penulis memilih QC yang mencantumkan nama produsen pada casing luar yaitu MEC, KDS, TIC sehingga spesifikasi dan mode operasi dapat diketahui dari situs produsen tersebut.

Meskipun telah mencoba berbagai QC dengan frekuensi 40MHz, komponen yang diperoleh adalah QC yang bekerja pada mode  $3^{rd}$  overtone. Hal ini diketahui dengan mudah saat memasang QC pada rangkaian *oscillator* tanpa rangkaian filter, maka akan terdeteksi 1/3 dari frekuensi yang dicantumkan pada *casing* QC tersebut.

Cara lain untuk mengetahui mode operasi Kristal tersebut dapat dilakukan ketika selubung metal QC 40MHz dibuka. Pada gambar 2.4 dapat terlihat luas elektroda QC 40MHz tidak jauh berbeda dengan QC10MHz, sedangkan QC 20MHz memiliki luas elektroda lebih kecil dibandingkan yang lain. Hal ini dapat diasumsikan bahwa frekuensi dasar QC40MHz sebenarnya tidak terlalu jauh dari QC 10MHz.



Gambar 3.2 Perbandingan *quartz crystal*, dari kiri ke kanan 40MHz, 20MHz, dan 10MHz

Melalui pencarian di situs produsen QC yang digunakan, tidak diperoleh *datasheet* yang sama dengan frekuensi kerja QC yang digunakan. Oleh karena itu penulis menggunakan *datasheet* QC yang frekuensi resonan yang mendekati dengan asumsi QC tersebut memiliki karakteristik yang sama. Beberapa informasi dari *datasheet* tersebut disajikan pada tabel 3.1 dibawah ini, data secara lengkap disajikan pada lampiran 1 buku ini.

Tabel 3.1 Informasi karakteristik kristal

Nominal Frequency	40.176 MHz
Holder Type	HC39U
Frequency Tolerance	$\pm 20$ ppm at 25 °C
Equivalent Resistance	40 Ohm max
Loading Capacitance	20 pF
Aging	$\pm 5$ ppm/year
Oscillation Mode	3 <sup>rd</sup> Overtone

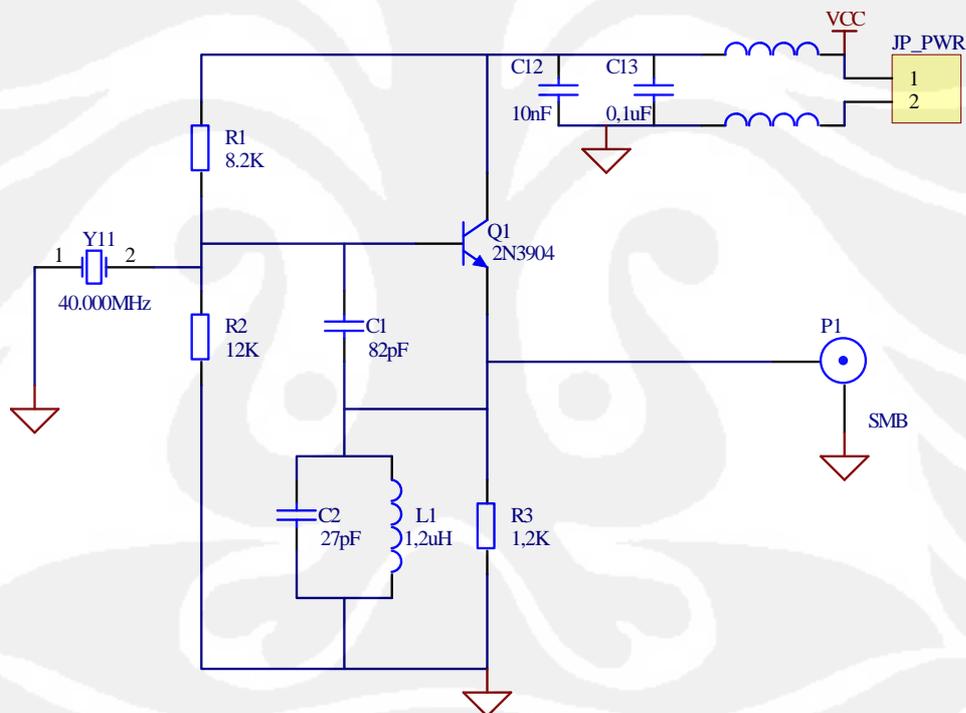
### 3.2. PERANCANGAN OSCILLATOR

Sebuah QC dapat beresonansi apabila terdapat tegangan antara dua elektrodanya, hal ini menghasilkan tegangan yang berosilasi dalam skala yang sangat kecil. Diperlukan rangkaian *oscillator* yang mampu menguatkan resonansi yang dipicu oleh QC.

Rangkaian *oscillator* yang dipilih dalam rancangan ini adalah tipe *colpitts oscillator* yang menggunakan BJT. Pada *testboard* awal, penulis mencoba menggunakan rancangan *pierce oscillator* seperti yang dimanfaatkan pada penelitian sebelumnya. *Pierce oscillator* yang digunakan memanfaatkan IC CMOS 74HC04 yang merupakan jenis *buffered inverter*. Penggunaan frekuensi 40MHz pada tipe *pierce oscillator* mengakibatkan terjadi resonansi *output* pada frekuensi  $\pm 40$ MHz dengan  $V_{pp}$  500mV dalam keadaan resonansi yang tidak stabil. *Pierce oscillator* membutuhkan pencatutan tegangan pada kedua elektroda QC untuk menghasilkan suatu sinyal resonan, hal ini cukup menyulitkan karena

QC yang dimanfaatkan sebagai sensor akan diletakan dengan jarak tertentu dari rangkaian resonannya.

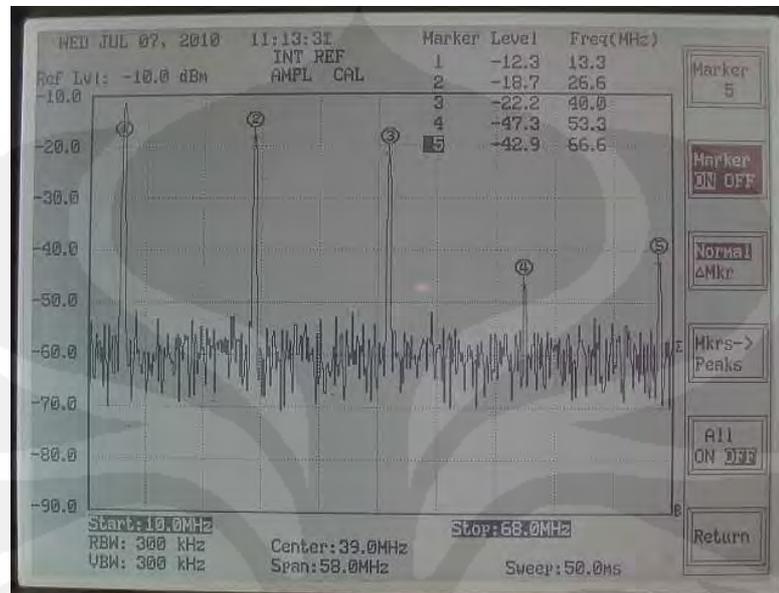
Karena berbagai hambatan, penulis mencoba menggunakan *oscillator* model lain, dan pilihan jatuh pada tipe *colpitts oscillator*. Alasan dipilihnya tipe *oscillator* ini terutama karena rancangan yang sederhana, membutuhkan komponen relatif sedikit, dan yang terutama pencatuan QC hanya menggunakan salah satu pin dari QC sedangkan pin lain terkoneksi pada *ground*. Hal ini memungkinkan sensor QC disambungkan dengan rangkaian resonan dengan jarak tertentu namun tetap tahan terhadap interferensi dari luar apabila interkoneksi antara sensor ke rangkaian resonan menggunakan dibungkus dalam selubung metal sehingga menghasilkan efek sangkar faraday.



Gambar 3.3 Sensor QC dan rangkaian resonan menggunakan tipe *colpitts oscillator*

Karena menggunakan QC *3rd overtone*, rangkaian *oscillator* secara natural akan menghasilkan output frekuensi *fundamental* dan frekuensi *overtone* lainnya seperti dapat dilihat pada gambar 3.4. Untuk mendapatkan frekuensi yang

diinginkan, diperlukan LC filter untuk mengkompensasi frekuensi *fundamental* agar QC dapat bekerja pada frekuensi yang semestinya.



Gambar 3.4 Pengukuran pada *spectrum analyzer* tanpa LC Filter

Berdasarkan buku referensi [4], untuk mendapatkan resonan *overtone* ketiga, dapat ditambahkan LC *tank circuit* dimana nilai LC harus ditentukan berada di sekitar *overtone* kedua dari frekuensi fundamental yang dihasilkan oleh kristal.

$$L = 1,2 \mu H$$

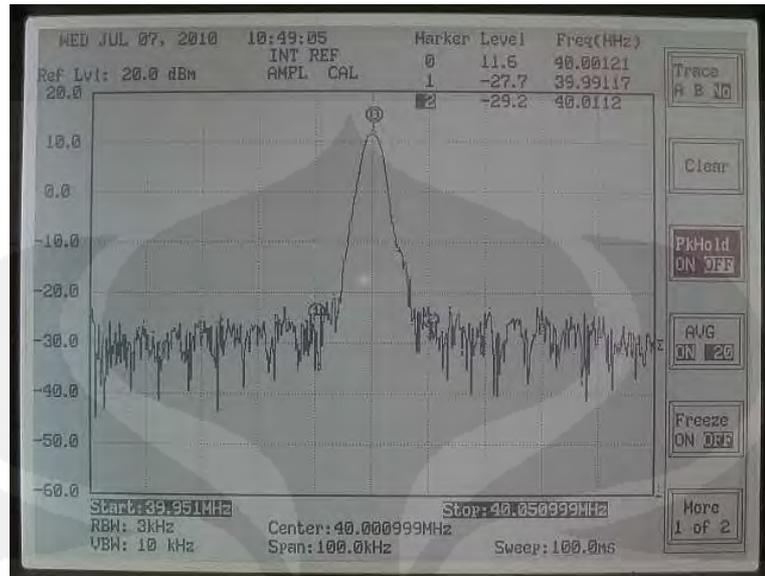
$$C = 27 pF$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1,2 \times 10^{-6})(27 \times 10^{-12})}}$$

$$f = 27.960.673,39 \text{ Hz} \quad \dots(3.1)$$

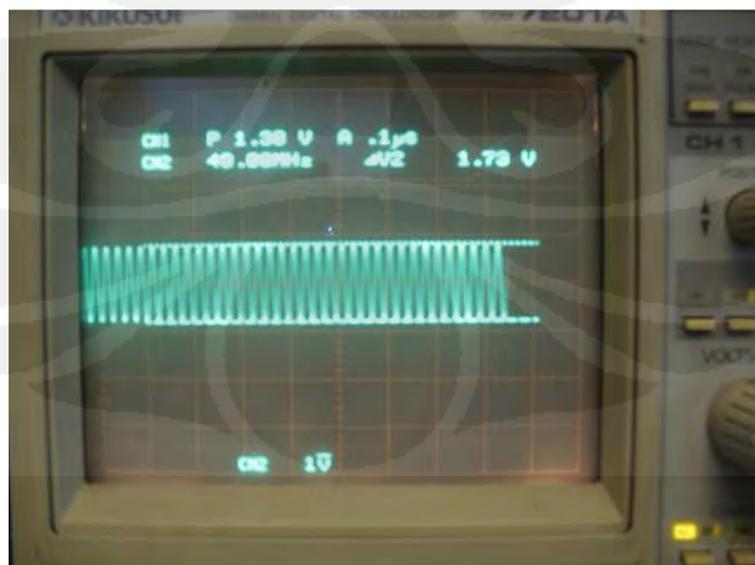
LC filter yang digunakan, dipilih nilai L dan C untuk mengkompensasi frekuensi dibawah 27,96 MHz. Rangkaian akan bersifat induktif untuk frekuensi dibawah 27,96 MHz dan bersifat kapasitif untuk frekuensi diatasnya.



Gambar 3.5 Pengukuran pada *spectrum analyzer* dengan LC Filter



Gambar 3.6 Pengukuran pada *frequency counter PM6667*

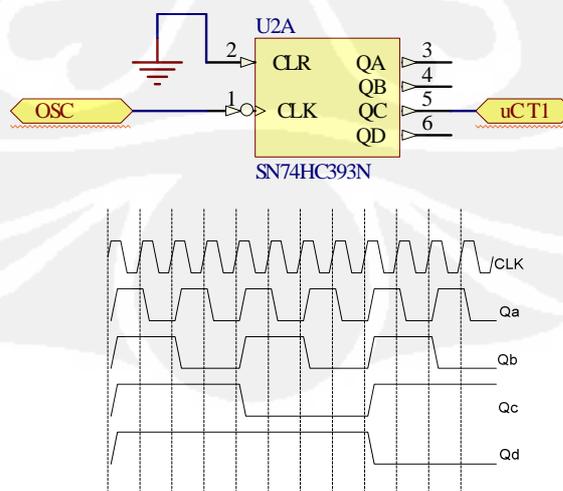


Gambar 3.7 Pengukuran output rangkaian *colpitts oscillator* pada *oscilloscope*

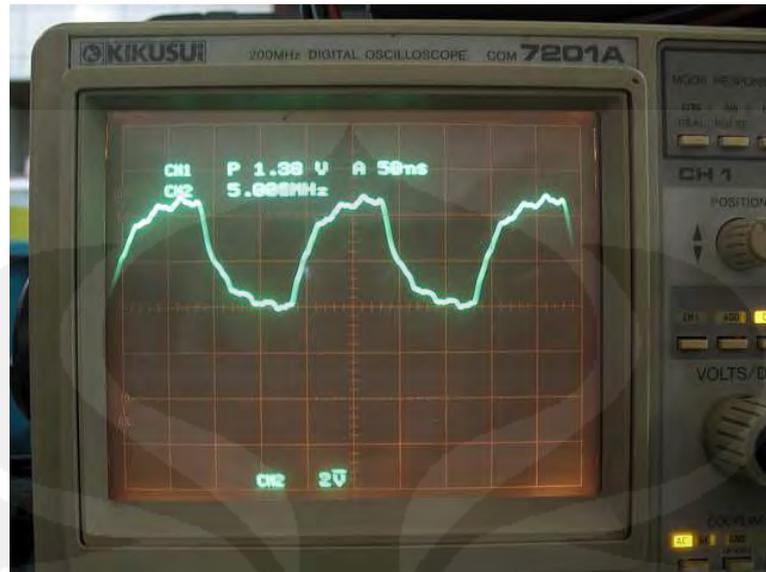
### 3.3. PERANCANGAN *FREQUENCY COUNTER*

*Frequency counter* dengan menggunakan mikrokontroler membuat rangkaian menjadi lebih sederhana. Hal ini dimungkinkan karena mikrokontroler yang digunakan memiliki *timer/counter* terintegrasi. ATtiny2313 dari keluarga AVR produk Atmel digunakan karena memiliki bentuk fisik yang relatif kecil namun dapat dicatu dengan frekuensi hingga 20MHz.

Ketelitian kemampuan pengukuran harus ditunjang dengan ketelitian pengukuran perubahan pada rangkaian *frequency counter*. Pengukuran frekuensi dirancang dengan memanfaatkan *counter* dari microcontroler ATtiny2313 yang dicatu frekuensi 20MHz. Berdasarkan *datasheet* [6], kemampuan *counter* pada mikrokontroler ini dapat menghitung secara langsung frekuensi hingga 2,5 bagian dari frekuensi *clock* pencatu dasar, ini berarti maksimum kemampuan *counter* adalah 8MHz. Karena pengukuran akan dilakukan pada kisaran 40MHz, perlu ditambahkan *prescaler* menggunakan IC 74HC393 (berfungsi sebagai *ripple counter*). IC ini dimanfaatkan sebagai *prescaler* pembagi 8 pada pin  $Q_C$  (gambar 4.5), sehingga frekuensi sebesar 40MHz akan terbaca sebesar 5MHz dan dapat diukur secara langsung oleh mikrokontroler. Dalam proses penyajian data, mikrokontroler diprogram untuk mengembalikan nilai data yang diukur dengan mengalikan hasil counter dengan 8. Konsekuensi dari teknik ini akan mengurangi tingkat presisi dari pembacaan hal ini dapat dilihat dari perbandingan data pada tabel 4.2.



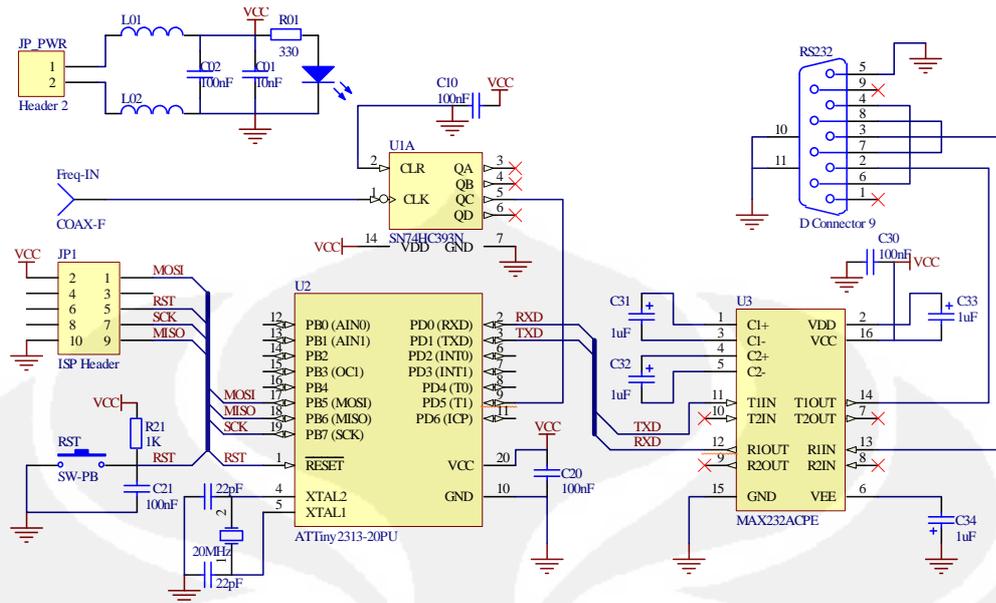
Gambar 3.8 Chip 74HC393 sebagai *prescaler* pembagi 8.



Gambar 3.9 Pengukuran output pembagi 8 pada IC 74HC393

Pada perancangan awal, penulis mendisain rangkaian dengan menyatukan referensi ground untuk semua rangkaian yang digunakan yaitu: rangkaian *oscillator*, rangkaian *prescaler*, rangkaian mikrokontroler, dan PC. Hal ini menyebabkan mikrokontroler tidak dapat bekerja meskipun output tetap keluar dan terdeteksi pada pin *prescaler* 8 IC 74HC393 seperti dapat dilihat pada gambar 3.9. Penyebab tidak dapat bekerjanya rangkaian mikrokontroler disebabkan oleh terjadinya resonansi harmonik pada tegangan supply dengan  $V_{pp}$  berkisar pada 500mVolt. Untuk mengatasi masalah ini penulis memanfaatkan komponen *ferit bead* dan kombinasi *bypass capacitor* untuk memisahkan *supply* antara rangkaian *analog* dan *digital*.

Mikrokontroler ATTiny2313 dimanfaatkan sebagai pencacah frekuensi yang dihasilkan dari rangkaian *oscillator*. Mikrokontroler dicatu pada frekuensi kerja maksimum menggunakan QC 20MHz. Karena keterbatasan kemampuan pencacahan secara langsung, frekuensi yang akan diukur diturunkan menggunakan IC 74HC393 yang berfungsi sebagai *ripple counter*. Selain menurunkan frekuensi yang akan diukur IC ini juga berfungsi menyesuaikan level tegangan dari rangkaian *oscillator* menjadi tegangan CMOS pada level 5 volt.



Gambar 3.10 Skematik rangkaian *frequency counter*

Agar mikrokontroler dapat berfungsi sebagai *frequency counter*, ATtiny2313 diprogram terlebih dahulu melalui *ISP programmer*. *Register timer/counter* untuk T0 diprogram sebagai internal timer yang akan mencacah gelombang sehingga dapat diperoleh rentang waktu 1 detik.

```
//inisialisasi TIMER0
TCCR0A = 0x00;
TCCR0B = 0x05;          //SET CS00:2 sebagai internal counter/timer (prescaler 1024)
TIMSK |= (1 << TOIE0); //TIMER0 ovf interrupt Enable
TCNT0 = 181;
```

Untuk mengaktifkan *timer internal*, *Timer Counter Control Register* (TCCR) pada T0 harus di diberikan nilai 0x0005, dan karena T0 merupakan 8 bit *timer/counter*, pencacahan *clock* pasti menghasilkan *overflow*. Steting pada *Timer Interrupt Mask Register* (TIMSK) merupakan register yang perlu di tentukan nilainya sehingga *overflow* yang terjadi pada *timer/counter* dapat di deteksi.

Karena CLK mikrokontroler dicatu 20MHz. maka nilai satu detik akan dicapai apabila TCNT0 telah mengalami *overflow* sebanyak 76 kali dan TCNT0 bernilai 75. Dengan penghitungan manual hal ini akan menghasilkan waktu

0,999987 detik. Pada inisialisasi, nilai TCNT0 diberikan sebesar 181 karena nilai ini diperoleh dari 256 dikurang 75.

```
//inisialisasi TIMER1
TCCR1A = 0x00;
TCCR1B = 0x07;//SET Timer1 sebagai external counter pada pin 9
TIMSK |= (1<<TOIE1); //TIMER1 ovf interrupt Enable
TCNT1L = 0x00;
TCNT1H = 0x00;
```

T1 pada ATTiny2313 digunakan sebagai *external timer/counter*, tiap *clock* yang terdeteksi pada pin ini akan dihitung oleh register TCNT1. T1 ini merupakan 16-bit *timer/counter*, ini berarti *overflow* akan terjadi setelah TCNT1 bernilai 0xFFFF. Hasil akhir pencacahan frekuensi dapat diperoleh dengan perkalian nilai *overflow* dengan 0xFFFF+1 ditambah dengan nilai akhir dari TCNT1.

Proses pencacahan frekuensi eksternal pada pin T1 hanya akan berlangsung selama  $T_0=0,999987$  detik, kemudian di reset kembali menjadi 0 dan mulai mencacah lagi terus menerus.

### 3.4. INTERKONEKSI DENGAN KOMPUTER

Agar data yang diperoleh dapat disajikan, rangkaian *frequency counter* perlu dihubungkan ke perangkat komputer. Mikrokontroler ATTiny2313 memiliki sistem komunikasi serial terintegrasi USART. Perbedaan level tegangan sistem komunikasi serial pada mikrokontroler dengan port serial RS-232 pada Komputer, dapat diatasi dengan menambahkan IC MAX232 yang berfungsi sebagai *level converter* komunikasi serial antara USART dan RS-232.

Baik mikrokontroler dan komputer harus dikonfigurasi secara tepat karena sistem komunikasi serial mengharuskan identifikasi kecepatan transfer (*baud-rate*) dan identifikasi start-bit dan stop-bits.

```
//inisialisasi USART
UBRR = 64; //Untuk baudrate serial 19200
UCSRB = (1 << RXEN) | (1 << TXEN); //TX RX enable
UCSRC = (1 << UCSZ1) | (1 << UCSZ0); //SET start-bit & stop-bit
```

Pada sisi mikrokontroler, register UBRR harus ditentukan secara manual dengan menghitung nilai UBRR berdasarkan formula:

$$UBRR = \frac{f_{osc}}{16 \times BAUD} - 1 \quad \dots(3.2)$$

Bila nilai baud-rate yang diinginkan adalah 19200bps maka:

$$UBRR = \frac{20.000.000}{16 \times 19.200} - 1$$

$$UBRR = 64,1 \quad \dots(3.3)$$

Inisialisasi pada register *USART Control Status Register* (UCSR) juga perlu dilakukan untuk mengaktifkan komunikasi serial USART pada mikrokontroler dan juga seting start-bit dan stop-bit yang digunakan.

## BAB 4 ANALISA SISTEM DAN DATA

### 4.1. SENSOR DAN RANGKAIAN *OSCILLATOR*

Idealnya sensor ini dibuat dengan menggunakan QC yang bekerja pada *fundamental mode*. Apabila persamaan 2.3 digunakan untuk mencari ketebalan bahan QC tipe *AT-cut* dengan frekuensi *fundamental* 40MHz, maka:

$$t \cong \frac{167,64 \times 10^3}{40.000.000}$$
$$t \cong 0,004191 \text{ cm} \qquad \dots (4.1)$$

Ketebalan bahan yang dibutuhkan untuk membuat QC mampu beresonansi di frekuensi *fundamental* 40MHz adalah 0,004191 cm atau 41,91  $\mu\text{m}$ . Untuk dapat memproduksi bahan QC dengan ketebalan ini sangat sulit dilakukan karena bahan quartz menjadi sangat rapuh.

Tabel 4.1 Perbandingan tebal bahan *quartz* terhadap frekuensi fundamental yang dihasilkan

Frekuensi <i>fundamental</i> QC (MHz)	t ( $\mu\text{m}$ )
40	41,91
30	55,88
20	83,82
13,333	125,733
10	167,64

Dijelaskan pada banyak referensi, karena semakin tipisnya bahan seiring dengan peningkatan frekuensi *fundamental*, menyebabkan sulitnya memproduksi QC berfrekuensi *fundamental* diatas 30MHz, terutama untuk bentuk *casing* HC49U. Hal inilah yang menyebabkan penulis menggunakan QC *3<sup>rd</sup> overtone mode* dengan menambahkan filter LC pada rangkaian resonan.

Setiap QC pasti memiliki *overtone* ganjil dari frekuensi dasar yang digunakan. Dengan kata lain sebuah QC 10MHz, juga akan beresonansi pada

30MHz ( $3^{rd}$  overtone), 50MHz ( $5^{th}$  overtone), dan seterusnya. QC yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe  $3^{rd}$  overtone mode, dimana frekuensi yang dicantumkan pada QC 40MHz merupakan overtone ketiga dari bahan dasar QC 13,333MHz.

Pilihan casing HC49U ini disebabkan dari bentuk fisik tipe ini relatif besar dan memungkinkan manipulasi komponen dengan lebih mudah, ini sesuai dengan tujuan penelitian yang memodifikasi komponen QC menjadi sensor.

Suatu QC mempunyai spesifikasi toleransi yang ditentukan dalam ppm, berdasarkan *datasheet* nilai defiasi dari toleransi QC berkisar  $\pm 20$  ppm pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ .

$$\text{Toleransi QC} \cong 40\text{MHz} * 20 \text{ ppm}$$

$$\text{Toleransi QC} \cong 40\text{MHz} \times \frac{20}{1.000.000}$$

$$\text{Toleransi QC} \cong \pm 800\text{Hz} \quad \dots (4.2)$$

Satuan ppm yang digunakan merupakan seper satu juta bagian, hal ini dapat diartikan QC 40MHz memiliki toleransi berkisar  $\pm 800$  Hz pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Jadi nilai sesungguhnya dari resonansi QC yang digunakan akan berkisar antara 39.999.200Hz hingga 4.000.800Hz.

Apabila kita menggunakan persamaan sauerbrey seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.1 dan 2.2, kita dapat menghitung perubahan frekuensi akibat adanya pembebanan pada permukaan bidang QC. Tabel 4.2 membandingkan perubahan frekuensi yang dihasilkan untuk tiap mikrogram beban yang menempel pada permukaan kristal dengan asumsi QC tersebut memiliki lebar elektroda yang sama  $0,3\text{cm}^2$ .

Tabel 4.2 Perbandingan pergeseran frekuensi terhadap beban 1 mikrogram

Frekuensi QC (MHz)	$\Delta f$ (Hz)
40	12074
30	6792
20	3018
10	754

Dari hasil analisis data dapat dilihat bahwa dengan resonansi kerja yang semakin tinggi akan meningkatkan selisih frekuensi yang dihasilkan untuk beban yang terabsorpsi pada permukaan kristal.

$$QC\ 40MHz \rightarrow \Delta m \cong \frac{1 \times 10^{-6} gr}{12074} = 8,28 \times 10^{-11} gr \quad \dots (4.3)$$

$$QC\ 20MHz \rightarrow \Delta m \cong \frac{1 \times 10^{-6} gr}{3018} = 3,312 \times 10^{-10} gr \quad \dots (4.4)$$

Sebagai perbandingan, QC 40MHz mampu mendeteksi perubahan masa setiap kelipatan 0,0828 nanogram untuk perubahan 1Hz, sedangkan QC 20MHz sekitar 0,3312 nanogram untuk perubahan 1Hz. Sehingga dapat dinyatakan bahwa semakin besar frekuensi kerja yang digunakan pada sensor, maka semakin baik ketelitian perubahan masa yang mampu dideteksi oleh sensor tersebut.

#### **4.2. RANGKAIAN *FREQUENCY COUNTER***

Tabel 4.3 merupakan pengukuran frekuensi 8 buah QC yang berbeda dan bekerja pada frekuensi 40MHz. Meskipun QC memiliki spesifikasi teknis yang sama, namun tetap ada perbedaan yang disebabkan oleh akurasi frekuensi yang berkisar 20 ppm. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui defiasi yang dihasilkan dari output rangkaian frequency counter yang digunakan.

Pada perangkat komputer digunakan *software realterm* sebagai terminal yang menerima data dari port RS-232. *COM port*, *baud-rate*, *start-bit* dan *stop-bit* harus dikonfigurasi agar software ini dapat berkomunikasi dengan rangkaian *frequency counter*.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran rangkaian *frequency counter* melalui kabel RS-232

No	Data Terukur pada PM 6667		Data Terukur pada serial port RS-232 dari rangkaian frequency counter					Defiasi		
	A	B	OVERFLOW	TCNT1H(hex)	TCNT1L(hex)	TCNT1(dec)	RR(Hz)	AA(Hz)	Delta fA	Delta fB
1	40.0005	5.00018	76	4900	0003	18899	4,999,635	39,997,080	545	3,420
2	40.0007	5.00019	76	4900	00E0	18913	4,999,649	39,997,192	541	3,508
3	39.9999	5.00009	76	4900	007B	18813	4,999,549	39,996,392	541	3,508
4	40.0007	5.00020	76	4900	00E8	18923	4,999,659	39,997,272	541	3,428
5	40.0002	5.00011	76	4900	008C	18822	4,999,568	39,996,544	542	3,656
6	40.0005	5.00015	76	4900	00AA	18863	4,999,599	39,996,792	551	3,708
7	40.0000	5.00007	76	4900	006D	18797	4,999,533	39,996,264	537	3,736
8	40.0005	5.00016	76	4900	003C	18876	4,999,612	39,996,896	548	3,604

Keterangan:

- \*TCNT1 dihitung pada overflow ke-76, sehingga data TCNT1 dijumlahkan dengan 4,980,736
- \*Kolom A merupakan data terbaca dari output rangkaian oscillator pada alat ukur
- \*Kolom B merupakan data terbaca dari rangkaian prescaler 8 IC 74HC393 pada alat ukur
- \*Kolom AA merupakan data terbaca pada serial port setelah dikalikan 3
- \*Kolom BB merupakan data terbaca pada serial port, hasil konversi kolom B
- \*Delta fA merupakan defiasi yang terjadi antara kolom B dengan BB
- \*Delta fB merupakan defiasi yang terjadi antara kolom A dengan AA

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran mengalami perbedaan frekuensi bila dibandingkan dari hasil pengukuran dengan menggunakan perangkat *frequency counter PHILIPS PM6667*. Hal ini dapat terjadi karena berbagai akibat:

- PM6667 mengukur frekuensi dengan ketelitian 4 angka dibelakang koma sehingga kehilangan ketelitian paling tidak 99 Hz.
- Proses pembagian frekuensi menggunakan *prescaler* 8 dengan IC 74HC393 memungkinkan terjadinya penurunan ketelitian pengukuran.
- Kabel penghubung yang digunakan antara rangkaian *oscillator* dengan rangkaian *frequency counter* pada saat pengambilan data menggunakan kabel tembaga biasa sehingga memungkinkan terjadi interferensi dari lingkungan.
- *Timer* pencacahan tidak tepat pada 1,00 detik melainkan 0.999987 detik. Hal ini menurunkan presisi pembacaan karena perioda yang diukur paling tidak menghasilkan kisaran  $t = 25$  nanodetik.
- Normalisasi frekuensi yang dibaca pada mikrokontroler dengan mengkalikan nilai *counter* yang terbaca dengan 8 menghilangkan ketelitian pembacaan paling tidak 8 Hz
- *Error* yang terjadi pada transfer data melalui serial port.

*Frequency counter* dengan teknik ini sebenarnya memiliki ketelitian pembacaan 1Hz, namun karena digunakan *prescaler* 8 dalam proses counter membuat kemampuan alat ini turun sehingga ketelitian pembacaan menjadi 8Hz. Berdasarkan hasil dari persamaan 4.3, maka sensor yang digunakan akan memiliki tingkat ketelitian hingga:

$$\text{Ketelitian sensor} \rightarrow \Delta m \cong 8,28 \times 10^{-11} \text{ gr/Hz} \times 8\text{Hz} \quad \dots (4.5)$$

$$\text{Ketelitian sensor} \rightarrow \Delta m \cong 6,625 \times 10^{-10} \text{ gr} \quad \dots (4.6)$$

Jadi dapat dikatakan alat ini mampu mendeteksi perubahan aroma untuk tiap kelipatan 8Hz, atau dapat juga dikatakan bahwa alat ini mampu mendeteksi partikel aroma untuk tiap kelipatan  $6,625 \times 10^{-10} \text{ gr}$  masa yang terabsorpsi pada permukaan kristal.

Berdasarkan tabel 4.3 maka dapat dihitung persentase error pembacaan yang dihasilkan menggunakan formula:

$$\%Error = \frac{|Data_A - Data_{AA}|}{Data_{AA}} \times 100 \quad \dots (4.7)$$

Tabel 4.4 menyajikan data hasil pengukuran seperti pada tabel 4.3 dimana kolom A merupakan representasi dari pengukuran menggunakan alat FC PM6667 buatan PHILIPS, AA merupakan representasi dari pengukuran menggunakan rangkaian FC berbasis mikokontroler, dan  $\Delta f$  merupakan selisih antara pengukuran A dan AA.

Error ini merupakan kesalahan pembacaan rangkaian *frequency counter* yang dibuat pada penelitian ini terhadap pembacaan dari alat PM6667 yang dianggap sebagai acuan mutlak.

.Tabel 4.4 Persentase error pembacaan rangkaian *frequency counter*

x	A	AA	$\Delta f(A - AA)$	%Error
1	40000500	39997080	3420	0.00855062
2	40000700	39997184	3516	0.00879062
3	39999900	39996376	3524	0.0088108
4	40000700	39997248	3452	0.00863059
5	40000200	39996512	3688	0.0092208
6	40000500	39996752	3748	0.00937076
7	40000000	39996264	3736	0.00934087
8	40000500	39996896	3604	0.0090107
$\Sigma x/n$	40000375	39996789	<b>3586</b>	<b>0.00896572</b>

Dari tabel 4.4 diperoleh rerata **%Error = 0.00896572%**

Apabila satuan ini dijadikan dalam satuan ppm maka:

$$Error(ppm) = \%Error \times 1000000$$

$$Error(ppm) = 0.00896572 \% \times 1000000$$

$$Error(ppm) = 89,6 \text{ ppm} \quad \dots (4.8)$$

Sehingga dapat dikatakan bahwa alat ini memiliki toleransi kesalahan sebesar 89,6ppm pada suhu kerja 25°C.

## BAB 5 KESIMPULAN

1. Peningkatan selisih frekuensi yang dihasilkan akibat efek pembebanan masa sebanding dengan peningkatan resonansi kerja dari *quartz crystal*.
2. Pemilihan kapasitor pada rangkaian oscillator harus sesuai dengan karakteristik  $C_L$  pada *quartz crystal* yang digunakan.
3. Rancangan *frequency counter* dengan menggunakan mikrokontroler dengan  $CPU_{CLK}$  20MHz, secara teori mampu membaca frekuensi dengan tingkat ketelitian hingga  $\pm 0.2$ ppm namun memiliki toleransi kesalahan berkisar  $\pm 89,6$ ppm.
4. Penggunaan *protoboard* pada *prototyping* rangkaian *oscillator* dengan frekuensi 40MHz menghasilkan pengukuran frekuensi yang kurang stabil.

### Saran:

1. *Prototyping* menggunakan protoboard akan mengalami banyak interferensi, sebaiknya *prototyping* dilakukan pada *breadboard*, dan akan maksimal bila menggunakan PCB dengan layout ground-plane yang baik.
2. Pencatuan frekuensi  $CPU_{CLK}$  pada mikrokontroler pada rangkaian *frequency counter* sebaiknya diukur untuk memastikan akurasi dari pembacaan pengukuran frekuensi dari rangkaian oscillator.
3. Untuk mengurangi interferensi sinyal dari luar rangkaian *oscillator*, akan lebih baik bila rangkaian dibungkus dengan teknik sangkar faraday.

## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Wisnu Jatmiko, “Pengembangan Sistem Penciuman Elektronik Menggunakan 16 Sensor: Karakterisasi Sistem dan Aplikasinya”, Tesis Magister, UI 2000.
- [2]. M. Rivai, “Model Hidung Elektronik: Sistem dan Aplikasi Untuk Pengenalan Aroma”, Tesis Magister, UI 1997.
- [3]. Wikipedia.org “Sauerbrey equation”, diakses pada 2 februari 2010, <[http://en.wikipedia.org/wiki/Sauerbrey\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Sauerbrey_equation)>.
- [4]. Guillermo Gonzalez “Foundations of Oscillator Circuit Design” Artech House Inc, 2007.
- [5]. Irving M. Gottlieb P. E. “Practical Oscillator Handbook” Irving M. Gottlieb 1997.
- [6]. Atmel “Doc2543 – ATTiny2313 Preliminary” Atmel Corporation 2010.

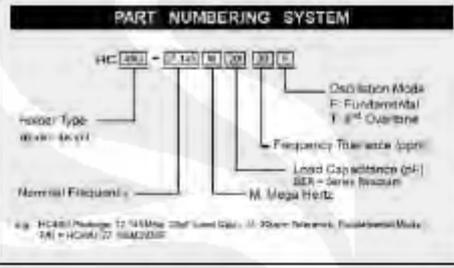
## LAMPIRAN 1

- Datasheet Umum Quartz Crystal tipe casing HC49U



### HC49U METAL PACKAGE CRYSTAL RESONATOR

#### PART NUMBERING SYSTEM



Model Type: HC49U  
 Nominal Frequency: 10.000 MHz  
 Division Mode: F (Fundamental)  
 Frequency Tolerance: ±30 ppm  
 Load Capacitance: 16 pF  
 M: Mega Hertz

Eg. HC49U Package 10.000MHz 30ppm Load 16pF 30pF Series Resonator, Fundamentals Mode, 16pF Load Capacitance

**Application**  
 Microprocessor Clock, Network Card, A/V Card, Cable Modem, Consumer Electronic products, Security System, Audio Equipment.

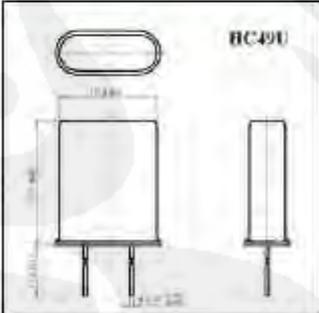
**Features**  
 The HC49U is Metal Package with resistance Weld Sealed, Lead-free compliance, high reliable, tight tolerance and stability.

#### Generic Specification

Nominal Frequency Range	1.000MHz – 10.000MHz	20.000MHz – 105.000MHz
Vibration Mode	Fundamental	Third Overtone
Temperature Stability at 25°C	+/- 30ppm, +/- 30ppm, +/- 50ppm, +/- 100ppm	
Frequency Tolerance at 25°C	+/- 30ppm, +/- 30ppm, +/- 30ppm, +/- 50ppm	
Load Capacitance	Series: 10pF, 12pF, 16pF, 18pF, 20pF, 30pF	
Operating Temperature Range	-10°C – +60°C, -20°C – +70°C, -40°C – +85°C	
Storage Temperature Range	-40°C – +85°C	
Drive Level	10uW (100uW max.)	
Aging Rate: at 25°C	+/- 5 PPM per year Max	



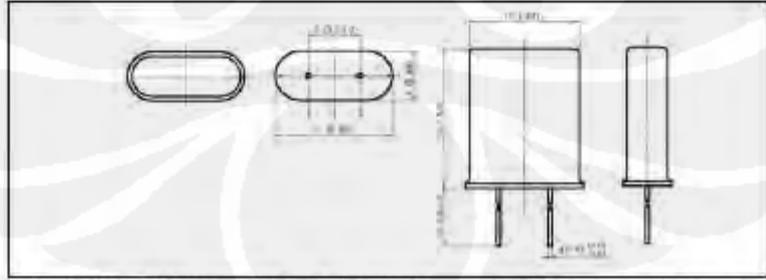
#### External Dimension (Unit: mm)



#### Frequency Range and ESR

Nominal Frequency Range	Equivalent Series Resistance	
	AT cut Fundamental	AT cut Third Overtone
1.800MHz – 1.999MHz	500 Ohm Max	
2.000MHz – 2.999MHz	450 Ohm Max	
3.000MHz – 3.999MHz	350 Ohm Max	
4.000MHz – 4.999MHz	250 Ohm Max	
5.000MHz – 5.999MHz	150 Ohm Max	
6.000MHz – 6.999MHz	90 Ohm Max	
7.000MHz – 7.999MHz	60 Ohm Max	
8.000MHz – 8.999MHz	35 Ohm Max	
9.000MHz – 9.999MHz	25 Ohm Max	
10.000MHz – 10.999MHz		50 Ohm Max
11.000MHz – 11.999MHz		40 Ohm Max

#### Outline Diagram



TEL: (852)-23259228    FAX: (852)-23231281    E-mail: [laurence@mobicon.com](mailto:laurence@mobicon.com)

- Datasheet Quartz Crsytal yang digunakan sebagai refrensi

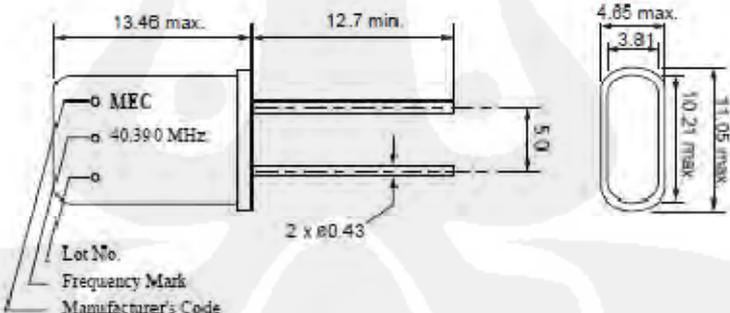
# MEC

SPECIFICATION OF CRYSTAL UNIT

<b>PART NO. :</b>	<b>HC49U-40.39M2020T</b>
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>	

1. Nominal Frequency	40.39 MHz
2. Holder Type	HC49U
3. Frequency Tolerance	$\pm 20$ ppm at 25°C
4. Equivalent Resistance	40 Ohm max.
5. Insulation Resistance	500M Ohm @100V <sub>DC</sub>
6. Temperature Tolerance	$\pm 30$ ppm at -20 ~ +70°C
7. Operating Temperature Range	-10 ~ +60°C
8. Storage Temperature Range	-20 ~ +70°C
9. Loading Capacitance	20 pF
10. Drive Level	100uW max.
11. Aging	$\pm 5$ ppm/ year max.
12. Oscillation Mode	Third Overtone

**DIMENSIONS (mm)**



The technical drawing shows a side view and a top view of the crystal unit. The side view indicates a total length of 13.48 mm (maximum) and a diameter of 5.0 mm. The top view shows a width of 4.85 mm (maximum) and a height of 11.05 mm (maximum). Markings on the side include 'MEC', '40.390 MHz', 'Lot No.', 'Frequency Mark', and 'Manufacturer's Code'. The drawing also shows two mounting holes with a diameter of 0.43 mm.



Prepared By: Leo Wong  
DOC. No: HC49U-40.39MHz20pF20ppmT

Page 1 of 1

## LAMPIRAN 2

### Source Code pada ATTiny2313

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
volatile unsigned int t0_ovf, t1_ovf;

ISR(TIMER0_OVF_vect)
{
    t0_ovf++;
    if(t0_ovf==77)
    {
        UDR = TCNT1L;
        UDR = TCNT1H;
        UDR = t1_ovf;

        t0_ovf=0;
        TCNT0=181;

        t1_ovf=0;
        TCNT1H=0;
        TCNT1L=0;
    }
}

ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    t1_ovf++;
}

void main()
{
    //inisialisasi TIMER0
    TCCR0A = 0x00;
    TCCR0B = 0x05;//SET CS00:2 sebagai internal counter/timer
    TIMSK|=(1<<TOIE0); //TIMER0 ovf interupt Enable
    TCNT0=181;

    //inisialisasi TIMER1
    TCCR1A = 0x00;
    TCCR1B = 0x07;//SET Timer1 sebagai external counter
    TIMSK |= (1<<TOIE1); //TIMER1 ovf interupt Enable
    TCNT1L = 0x00;
    TCNT1H = 0x00;

    //inisialisasi USART
    UBRRL = 64; //Untuk Baudrate serial 19200
    UCSRB = (1 << RXEN) | (1 << TXEN); //TX RX enable
    UCSRC = (1 << UCSZ1) | (1 << UCSZ0);

    t0_ovf=0;
    t1_ovf=0;
    sei();
    while(1);
}
```

