



UNIVERSITAS INDONESIA

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK RANGKAIAN OSILATOR  
TIPE COLPITTS, PIERCE, DAN CLAPP UNTUK PENGKONDISI  
SINYAL SENSOR INDUKTIF DAN KAPASITIF

SKRIPSI

DEDY SWISTIDA

0305020284

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI

DEPOK

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK RANGKAIAN OSILATOR  
TIPE COLPITTS, PIERCE, DAN CLAPP UNTUK PENGKONDISI  
SINYAL SENSOR INDUKTIF DAN KAPASITIF

SKRIPSI

Skripsi ini Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana  
Strata Satu Fisika

DEDY SWISTIDA

0305020284

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

PEMINATAN FISIKA INSTRUMENTASI

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 : Dedy Swistida

NPM : 0305020284

Tanda tangan :

Tanggal : 24 Juni 2010

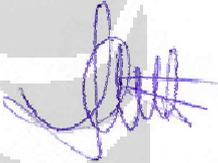
## HALAMAN PENGESAHAN

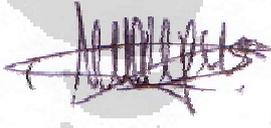
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Dedy Swistida  
NPM : 0305020284  
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika  
Judul Skripsi : Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe  
Colpitts, Pierce, dan Clapp untuk Pengkondisi Sinyal  
Sensor Induktif dan Kapasitif

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno (  )

Penguji I : Tony Mulia, Ph.D. (  )

Penguji II : Dr. rer.nat Martarizal (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang karena dengan izin-Nya, berkah-Nya, pertolongan-Nya dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik, Insya Allah.

Atas dasar kesadaran penulis tentang keterbatasan pengetahuan, pengalaman, dan kemampuan yang dimiliki, sehingga penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangannya. Banyak kesulitan serta hambatan baik secara mental maupun fisik penulis hadapi dalam menyelesaikan skripsi ini. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini sebaik mungkin. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Yang telah memberi karunia, rahmah dan hidayah yang tak tergantikan kepada penulis.
2. Orang tua penulis, yakni ibu dan bapak, yang dengan susah payah berjuang untuk anak tercintanya, dan telah bersabar dalam memberikan dukungan materil dan non materil.
3. Dr. Santoso selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan, semangat serta segala fasilitas yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Tony Mulia Ph.D. selaku penguji I dan Dr. rer.nat Martarizal selaku penguji II yang telah mengatur jalannya program studi ini sehingga penulis dapat belajar dan menimba ilmu pengetahuan.
5. Terimakasih untuk taqwa, fandi, imam, moku, tiwi, dan teman-teman instrumen 05 lainnya yang telah memberikan bantuannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Terimakasih untuk almarhum Fanny Azizi, makasih banget udah dikasih tau jalan ke salemba, ga akan pernah gw lupain kebaean lo biar pahalanya ngalir terus ke lo, amin.

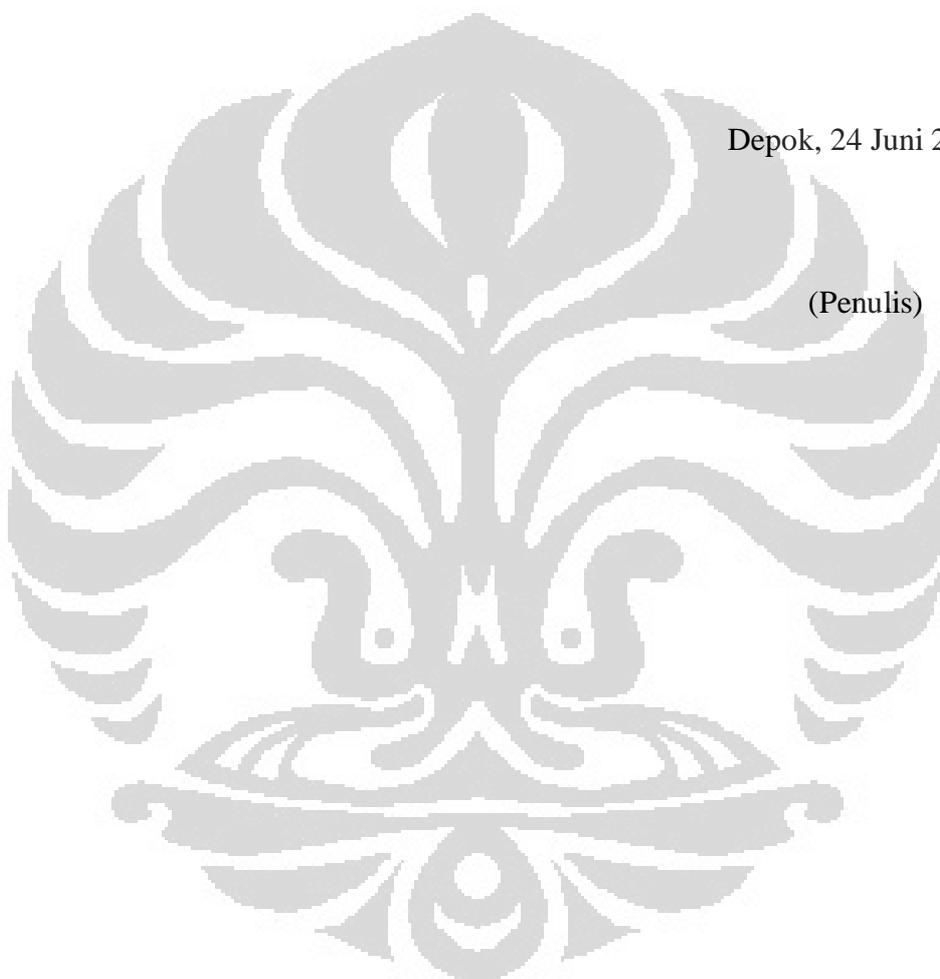
7. Terimakasih untuk semua teman-teman fisika 2005 yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas segala bantuan dan dukungannya
8. Terimakasih kepada seluruh staf departemen fisika yang telah melayani segala hal mengenai registrasi penulis untuk maju sidang.

Sebagai penutup, penulis menyadari bahwa hasil yang telah penulis dapatkan masih jauh dari sempurna,

Wassalamualaikum warahmatullahiwabarakatuh.

Depok, 24 Juni 2010

(Penulis)



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

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

Nama : Dedy Swistida

NPM : 0305020284

Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

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

Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp  
untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 24 Juni 2010

Yang menyatakan

( Dedy Swistida )

## ABSTRAK

Nama : Dedy Swistida  
Program Studi : Fisika  
Judul : Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif.

Kemajuan teknologi mengenai *device* elektronika akhir – akhir ini semakin maju. Terutama dalam hal pengindraan terhadap suatu objek yang tak terjangkau letaknya. Selain itu, tingkat keakuratan yang tinggi dari suatu *device* elektronika sangat dibutuhkan. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah sensor dari rangkaian elektronik yang dinamakan osilator. Rangkaian osilator adalah suatu rangkaian elektronik yang dapat menghasilkan osilasi tanpa diberikan sinyal secara eksternal. Sinyal tersebut timbul karena adanya *noise* pada setiap komponen yang digunakan. Osilasi tersebut timbul juga karena adanya rangkaian resonator yang menyebabkan sinyal tersebut beresonansi dan amplifier yang menguatkan sinyal tersebut sehingga tidak teredam. Osilator yang digunakan adalah jenis LC dimana rangkaian penyusun resonatornya yaitu induktor dan kapasitor. Dengan mengubah nilai induktansi dan kapasitansi pada resonatornya, maka frekuensi osilasinya akan berubah. Perubahan frekuensi terhadap perubahan nilai komponen induktor dan kapasitor tersebut akan dijadikan sebagai karakteristik sensor induktif dan kapasitif dalam hal sensitivitas. Selain itu juga akan didapatkan karakteristik yang lain yaitu *range* dan linieritas dari perubahan tersebut. Osilator yang akan digunakan yaitu tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp dimana setiap tipe memiliki konfigurasi amplifier dan resonator yang berbeda. Karakteristik dari setiap tipe osilator akan dibandingkan sehingga akan didapat karakteristik sensor yang baik dalam penggunaannya. Dari hasil penelitian, didapat karakteristik sensor induktif yang baik pada tipe Colpitts dengan nilai sensitivitas yaitu  $-0.0306 \text{ MHz}/\mu\text{H}$  pada *range* perubahan induktansi (12 – 28.6)  $\mu\text{H}$  dan perubahan frekuensi sekitar (1.612 – 1.101) MHz. Untuk sensor kapasitif memiliki karakteristik yang baik pada tipe Clapp dengan sensitivitas yaitu  $-0.12 \text{ MHz}/\text{nF}$  pada *range* perubahan kapasitansi (0.7 – 2) nF dan perubahan frekuensi (1.275 – 1.111) MHz.

Kata kunci: frekuensi, induktif, kapasitif, sensor, sensitivitas, *range*, linieritas

## ABSTRACT

Name : Dedy Swistida  
Study Program: Physics  
Topic : Comparison of Oscillator Circuit Characteristic of Colpitts, Pierce, and Clapp for Signal Conditioning of Inductive and Capacitive Sensor

Development of electronic technology is modern recently. Especially, in object sensing which is far for us. And else, high accuracy is very important for it. In this research, writer will design an electronic sensor is called oscillator. Oscillator circuit is an electronic circuit produce oscillation without signal from external. Signal exist in this circuit because the noise signal from the components of the circuit. Signal will resonance because the resonator and will amplify by the amplifier. Writer will use kind of LC oscillator. When the inductive and capacitive components are changed, oscillation frequency will change. Change of frequency and component value will be taken for sensor characteristic. Type of oscillators will be used are Colpitts, Pierce, and Clapp. Each of type is different in amplifier and resonator configuration. Each of characteristic is compared which is one better. Colpitts has a nice characteristic in inductive sensor with sensitivity value is  $-0.0306 \text{ MHz}/\mu\text{H}$  at inductive range  $(12 - 28.6) \mu\text{H}$  and frequency range is  $(1.612 - 1.101) \text{ MHz}$ . for capacitive sensor, Clapp has the one with sensitivity value is  $-0.12 \text{ MHz}/\text{nF}$  at capacitive range is  $(0.7 - 2) \text{ nF}$  and frequency range is  $(1.275 - 1.111) \text{ MHz}$ .

Keywords: frequency, inductive, capacitive, sensor, sensitivity, range, linearity

## DAFTAR ISI

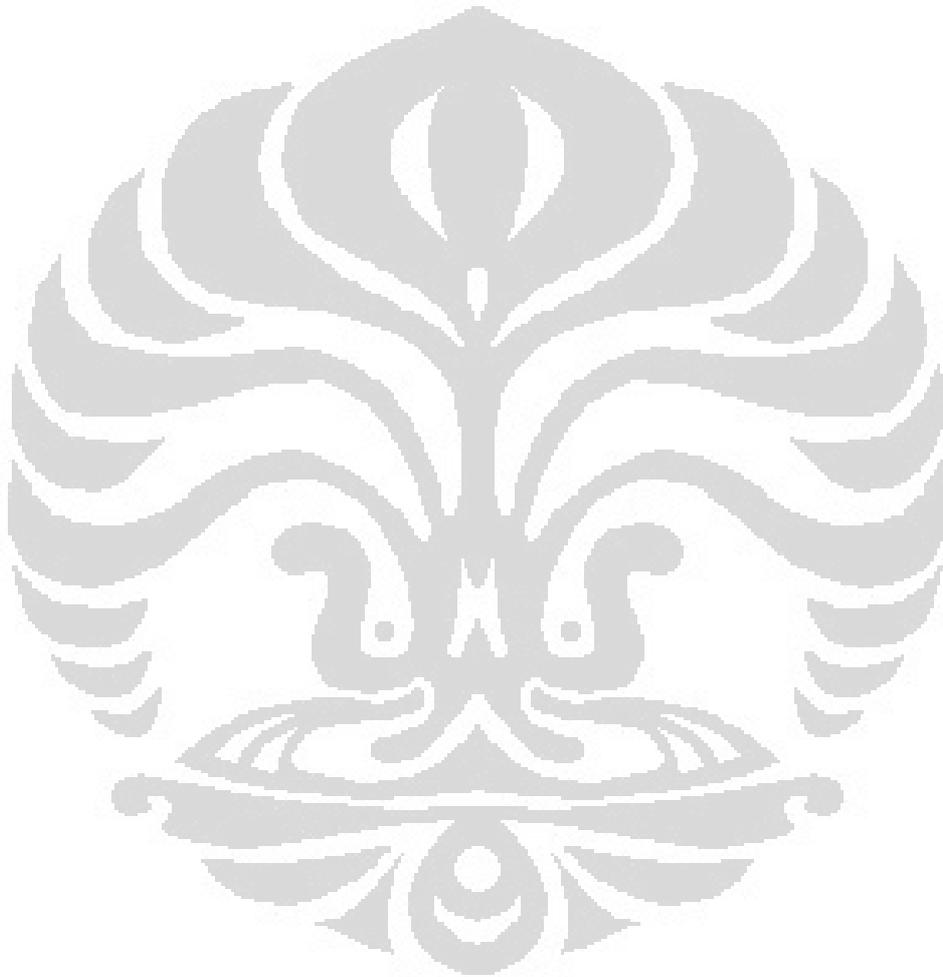
	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Batasan Masalah .....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Metodologi Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Osilasi pada Rangkaian Listrik .....	6
2.1.1 Kondisi Osilasi .....	6
2.2 Elemen Resonator dan Penguat .....	8
2.2.1 Induktor dan Kapasitor .....	9
2.2.2 Transistor BJT Tipe 2N3904 .....	12
2.3 Rangkaian Osilator LC .....	13
2.3.1 Struktur Umum Osilator LC .....	13
2.3.2 Macam-macam Tipe Osilator LC .....	14
2.3.2.1 Osilator Tipe Colpitts .....	15
2.3.2.2 Osilator Tipe Pierce .....	18
2.3.2.3 Osilator Tipe Clapp .....	20
2.4 Rangkaian Osilator-Sensor .....	22
2.4.1 Sensor Induktif .....	23
2.4.2 Sensor Kapasitif .....	24
<b>BAB 3 PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN OSILATOR-SENSOR..</b>	<b>26</b>
3.1 Perancangan Rangkaian Osilator LC .....	26
3.1.1 Tipe Colpitts .....	26
3.1.2 Tipe Pierce .....	28
3.1.3 Tipe Clapp .....	30
3.2 Eksperimen Osilator LC sebagai Sensor Induktif dan Kapasitif ....	32
3.2.1 Tipe Colpitts .....	33
3.2.2 Tipe Pierce .....	35
3.2.3 Tipe Clapp .....	37
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>40</b>
4.1 Karakteristik Rangkaian Osilator LC .....	40
4.1.1 Osilator Tipe Colpitts .....	40

4.1.2 Osilator Tipe Pierce .....	42
4.1.3 Osilator Tipe Clapp .....	43
4.2 Karakteristik Osilator-Sensor Induktif dan Kapasitif .....	45
4.2.1 Osilator-Sensor Tipe Colpitts.....	46
4.2.2 Osilator-Sensor Tipe Pierce .....	49
4.2.3 Osilator-Sensor Tipe Clapp.....	51
4.2.4 Perbandingan Karakteristik Sensor .....	52
4.2.4.1 Osilator-Sensor Induktif.....	52
4.2.4.2 Osilator-Sensor Kapasitif .....	53
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>58</b>



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Karakteristik Osilator sebagai Sensor Induktif .....	53
Tabel 4.2 Karakteristik Osilator sebagai Sensor Kapasitif .....	54



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rangkaian Dasar Umpan Balik .....	6
Gambar 2.2 Simbol Induktor.....	9
Gambar 2.3 Induktor Dihubung Seri .....	10
Gambar 2.4 Induktor Dihubung Paralel.....	10
Gambar 2.5 Simbol Kapasitor .....	11
Gambar 2.6 a.) Kapasitor Dihubung Seri.....	11
Gambar 2.6 b.) Kapasitor Dihubung Paralel.....	12
Gambar 2.7 Bentuk dari Transistor BJT tipe 2N3904 .....	13
Gambar 2.8 Skematik Dasar Osilator LC .....	13
Gambar 2.9 Penempatan <i>Ground</i> yang Berbeda pada Rangkaian Osilator .....	14
Gambar 2.10 Rangkaian Osilator Tipe Colpitts .....	15
Gambar 2.11 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i> .....	15
Gambar 2.11 b.) Resonator Tipe Colpitts .....	15
Gambar 2.12 Rangkaian Osilator Tipe Pierce.....	18
Gambar 2.13 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Emitter</i> .....	18
Gambar 2.13 b.) Resonator Tipe Pierce.....	18
Gambar 2.14 Rangkaian Osilator Tipe Clapp .....	20
Gambar 2.15 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Base</i> .....	21
Gambar 2.15 b.) Resonator Tipe Clapp .....	21
Gambar 2.16 Osilator-Sensor Induktif Tipe Clapp .....	23
Gambar 2.17 Osilator-Sensor Kapasitif Tipe Clapp.....	24
Gambar 3.1 Osilator Tipe Colpitts dengan Transistor BJT 2N3904 .....	26
Gambar 3.2 Osilator Tipe Pierce dengan Transistor BJT 2N3904 .....	28
Gambar 3.3 Osilator Tipe Clapp dengan Transistor BJT 2N3904 .....	30
Gambar 3.4 Alat – alat yang Digunakan pada Eksperimen .....	32
Gambar 3.5 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Colpitts .....	33
Gambar 3.6 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i> .....	34
Gambar 3.7 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Colpitts.....	34
Gambar 3.8 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Pierce.....	35
Gambar 3.9 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe <i>Common-Emitter</i> .....	36

Gambar 3.10 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Pierce .....	37
Gambar 3.11 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Clapp .....	38
Gambar 3.12 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe <i>Common-Base</i> .....	38
Gambar 3.13 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Clapp .....	39
Gambar 4.1 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i> dan b.) Resonator tipe Colpitts .....	40
Gambar 4.2 Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i> dan b.) Resonator tipe Colpitts .....	41
Gambar 4.3 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Emitter</i> dan b.) Resonator tipe Pierce..	42
Gambar 4.4 Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe <i>Common-Emitter</i> dan b.) Resonator tipe Pierce .....	42
Gambar 4.5 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Base</i> dan b.) Resonator tipe Clapp .....	44
Gambar 4.6 Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe <i>Common-Base</i> dan b.) Resonator tipe Clapp .....	44
Gambar 4.7 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts .....	46
Gambar 4.8 Grafik Variasi Induktor L yang Mendekati Linier pada Tipe Colpitts .....	47
Gambar 4.9 Grafik Variasi Kapasitor yang Mendekati Linier pada Tipe Colpitts	48
Gambar 4.10 Grafik Variasi Induktor L yang Mendekati Linier pada Tipe Pierce .....	49
Gambar 4.11 Grafik Variasi Kapasitor $C_2$ yang Mendekati Linier pada Tipe Pierce .....	50
Gambar 4.12 Grafik Variasi Induktor yang Mendekati Linier pada Tipe Clapp ..	51
Gambar 4.11 Grafik Variasi Kapasitor $C_2$ yang Mendekati Linier pada Tipe Clapp .....	52

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan *device* elektronika akhir – akhir ini semakin maju, khususnya dalam hal penginderaan dan pengidentifikasian suatu objek yang tak terjamah oleh kita sebagai manusia. Rekayasa *device* elektronik yang dibuat untuk menggantikan indra kita sudah semakin canggih bentuk dan kegunaannya. Para perancang *device* elektronika ini membuatnya dengan ukuran seminimal mungkin dan memiliki banyak fungsi di dalamnya. Tetapi kembali lagi pada permasalahan mendasar yaitu biaya yang dikeluarkan untuk membuatnya dan harga yang cukup mahal bagi para konsumen *device* elektronika tersebut. Salah satu jenis *device* elektronika yang dimaksud yaitu rangkaian osilator. Rangkaian osilator ini tidak hanya digunakan untuk mendeteksi sesuatu yang berosilasi, tetapi dapat juga digunakan untuk mengukur besaran – besaran fisika lainnya seperti temperature, kelembapan, perpindahan, dan masih banyak lagi besaran fisika yang lain. Secara mendasar, rangkaian osilator memiliki banyak jenis yaitu osilator kristal, osilator RC, dan osilator LC. Setiap jenis rangkaian osilator memiliki fungsi dan elemen penyusun yang berbeda – beda.

Rangkaian osilator adalah suatu rangkaian elektronik yang dapat menghasilkan osilasi dari besaran listrik. Keluaran osilasi tersebut biasanya direpresentasikan dalam besaran frekuensi. Rangkaian osilator banyak dipakai orang sebagai pewaktu atau *Timer*. Selain itu, rangkaian osilator juga dapat digunakan sebagai instrumentasi penelitian. Rangkaian osilator ini dapat menghasilkan sinyal keluaran tanpa diberikan sinyal masukan secara eksternal, sehingga dapat dikatakan sebagai Generator Sinyal.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ada banyak jenis rangkaian osilator diantaranya yaitu osilator LC, osilator RC, dan osilator kristal. Osilator LC adalah rangkaian osilator dimana resonatornya menggunakan komponen kapasitor dan induktor. Lalu, osilator RC adalah rangkaian osilator dimana resonatornya menggunakan komponen hambatan dan kapasitor. Dan yang terakhir adalah osilator kristal, yaitu rangkaian osilator dimana resonatornya menggunakan

kristal. Masing - masing resonator yang memiliki komponen penyusun berbeda dikarenakan memiliki tujuan tertentu, khususnya mengenai kemampuan frekuensi osilasi yang berbeda. Untuk osilator dengan resonator RC memiliki kemampuan frekuensi osilasi sekitar 5 Hz hingga 1 MHz. Lalu, untuk osilator dengan resonator LC memiliki kemampuan frekuensi osilasi yang cukup tinggi yaitu sekitar 1 MHz hingga 500 MHz. Dan untuk osilator dengan resonator kristal ditujukan untuk menghasilkan osilasi yang stabil dan akurat. Biasanya osilator kristal ini digunakan sebagai pewaktu atau biasa disebut sebagai *Timer*. Setiap rangkaian osilator memiliki komponen aktif untuk rangkaian amplifier yang berbeda, tergantung frekuensi osilasi yang ingin digunakan. Untuk resonator RC dapat menggunakan komponen aktif *op-amp*, transistor BJT atau FET karena frekuensi kerjanya sekitar 5 Hz hingga 1 MHz. Sedangkan, untuk osilator yang memiliki frekuensi osilasi di atas 1 MHz biasanya menggunakan transistor BJT atau FET. Untuk frekuensi osilasi di atas 1 MHz tidak bisa menggunakan *op-amp* karena memiliki *slewrate* yang sangat kecil. Pada kesempatan ini, penulis hanya membahas mengenai rangkaian osilator LC dengan menggunakan amplifier transistor BJT dan resonator LC. Osilator LC ini nantinya akan difungsikan sebagai osilator sensor dengan memanfaatkan beberapa komponen dari osilator LC tersebut. Komponen dari osilator LC yang akan dijadikan sebagai transdusernya adalah induktor dan kapasitor yang berada pada rangkaian resonatornya. Pengertian transduser itu sendiri adalah suatu alat yang dapat mengubah besaran non-listrik menjadi besaran listrik.

Ada banyak jenis osilator LC yang digunakan dalam aplikasinya, namun pada kesempatan ini hanya digunakan tiga jenis osilator LC diantaranya yaitu osilator tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp. Ketiga osilator tersebut nantinya akan difungsikan sebagai osilator sensor induktif dan kapasitif dengan keluaran berupa perubahan frekuensi terhadap perubahan nilai induktansi atau kapasitansi. Pengertian sensor itu sendiri adalah suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan sinyal listrik yang diakibatkan perubahan suatu besaran fisika, kimia, atau biologi. Dengan memvariasikan nilai induktor dan kapasitornya, maka frekuensi osilasi dari rangkaian osilator LC tersebut akan berubah. Variasi dilakukan dengan cara bergantian sambil mengamati respon frekuensinya.

## 1.2 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang akan diteliti dibatasi sesuai dengan judul yang diajukan. Judul yang diajukan adalah “ Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif “.

Tipe-tipe rangkaian osilator yang akan digunakan adalah Colpitts, Pierce, dan Clapp. Rangkaian osilator yang digunakan adalah osilator LC dengan komponen penyusun resonatornya yaitu induktor dan kapasitor. Untuk komponen aktif yang digunakan sebagai rangkaian amplifiernya yaitu transistor BJT dengan tipe *2N3904*. Rangkaian amplifier dan resonator dari setiap rangkaian osilator akan diamati besar *gain* dan pergeseran fasenya. Selain itu, nilai induktor atau kapasitor pada resonatornya akan divariasikan, sehingga didapat respon frekuensi sebagai keluaran dari osilator terhadap perubahan nilai induktansi atau kapasitansi. Dari yang telah dilakukan di atas, maka akan didapat karakteristik dari masing-masing tipe osilator yang difungsikan sebagai sensor. Masing – masing tipe osilator yang difungsikan sebagai sensor, akan diketahui berapa nilai sensitivitas, linieritas, dan *range* dari setiap tipe osilator-sensor.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memenuhi persyaratan untuk kelulusan sebagai sarjana sains.
2. Membandingkan karakteristik Amplifier dan Resonator LC dari rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp.
3. Membandingkan respon frekuensi dari rangkaian Osilator tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp yang diaplikasikan untuk pengkondisi sinyal sensor induktif dan kapasitif.

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui karakteristik dari Amplifier dan Resonator LC pada setiap tipe osilator.
2. Dapat mengetahui karakteristik sensor pada setiap tipe osilator sehingga diketahui seberapa besar sensitivitas, linieritas, dan *range* dari rangkaian Osilator-Sensor yang akan digunakan sebagai sensor induktif dan kapasitif.

## 1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap berikut ini:

### a. Studi Literatur

Metode Studi Literatur ini digunakan penulis untuk memperoleh teori - teori dasar sebagai sumber dan acuan dalam penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, *datasheet* dan buku-buku yang berhubungan dengan tugas akhir penulis.

### b. Perancangan Alat

Sebelum menggunakan rangkaian osilator dalam penelitian ini, maka perlu dilakukan perancangan yang baik. Perancangan dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan nilai - nilai komponen yang sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

### c. Metode Eksperimen

Pengambilan data dilakukan dengan cara memvariasikan nilai induktor dan kapasitor pada setiap rangkaian osilator. Setelah itu, mencatat perubahan frekuensi yang terjadi akibat perubahan nilai komponennya. Selain itu, mengamati karakteristik dari masing - masing rangkaian penyusun osilator tersebut.

### d. Metode Analisa

Dalam hal ini, penulis akan menganalisa seberapa besar persentase perubahan frekuensi dan perubahan komponennya sehingga dapat diketahui *range* dari setiap osilator yang difungsikan sebagai sensor. Selain itu, sensitivitas, *range*, dan linieritas dari setiap osilator sensor akan diamati oleh penulis untuk mengetahui rangkaian osilator-sensor mana yang paling baik karakteristiknya.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari beberapa bab dan sub bab. Berikut akan diuraikan secara singkat mengenai isi dari setiap bab tersebut.

### BAB I

Pendahuluan berisi latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

## BAB II

Landasan teori ini mengenai teori dasar sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan perancangan alat dan yang akan dilakukan dalam penelitian.

## BAB III

Pada bab ini berisi mengenai perancangan dan eksperimen osilator sensor yang akan dijelaskan mengenai perancangan rangkaian osilator yang akan digunakan agar dapat mengetahui nilai – nilai komponen yang akan digunakan dalam eksperimen. Selain itu, dijelaskan juga mengenai apa saja yang dilakukan oleh penulis dalam kegiatan penelitian ini.

## BAB IV

Pada bab ini berisi data dari hasil eksperimen yang kemudian akan dianalisa untuk mengetahui karakteristik dari masing – masing rangkaian osilator sensor.

## BAB V

Bagian ini adalah penutup dari semua bab yang berisi mengenai kesimpulan dari yang didapat oleh penulis selama melakukan penelitian ini. Selain itu juga berisi saran dari penulis untuk memajukan penelitian ini.

## BAB II

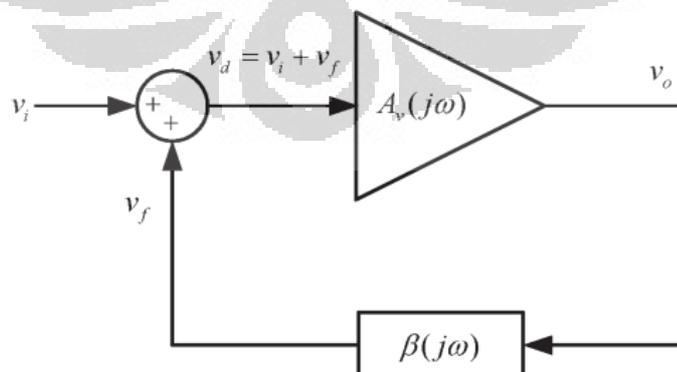
### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Osilasi pada Rangkaian Listrik

Rangkaian osilator adalah suatu rangkaian listrik yang dapat menghasilkan osilasi dari besaran listrik. Rangkaian ini terdiri atas rangkaian amplifier dan resonator. Rangkaian ini tidak membutuhkan masukan dari luar untuk menghasilkan sinyal listrik. Pada dasarnya, rangkaian osilator terdiri atas amplifier, pembatasan amplitudo sinyal, penentuan nilai komponen resonator pada frekuensi yang telah ditentukan, dan resonator sebagai umpan balik positif. Biasanya, amplifier dalam rangkaian osilator ini dapat digunakan sebagai pembatas amplitudo sinyal, dan penentuan frekuensi dilakukan dengan menentukan nilai – nilai komponen dari resonatornya sebagai rangkaian umpan balik. Rangkaian umpan balik digunakan untuk mengembalikan sebagian sinyal keluaran ke masukan. Dalam hal osilator ini, umpan balik yang digunakan adalah umpan balik positif. Umpan balik positif terjadi ketika sinyal keluaran pada rangkaian umpan balik memiliki fase yang sama dengan sinyal masukan sehingga besar sinyalnya adalah sinyal keluaran dari resonator ditambah dengan sinyal masukan. Jika kondisi di atas tercapai, maka osilasi akan terjadi [1].

##### 2.1.1 Kondisi Osilasi

Rangkaian dasar umpan balik osilator ditunjukkan pada gambar berikut,



**Gambar 2.1** Rangkaian Dasar Umpan Balik

Sumber : Guillermo Gonzalez.(2007). *Foundation of Oscillator Circuit Design*. London : Artech House, Inc. : 2

*Gain* dari amplifier tegangan disimbolkan oleh  $A_v(j\omega)$ , dan tegangan pada rangkaian umpan balik ditunjukkan oleh fungsi transfer  $\beta(j\omega)$ . *Gain* amplifier itu sendiri biasa disebut *gain* lup terbuka karena ini adalah *gain* antara  $v_o$  dan  $v_i$  ketika  $v_f = 0$ . *Gain* pada amplifier tersebut juga termasuk bilangan kompleks. Namun, pada beberapa osilator saat frekuensi osilasi, amplifier hanya bekerja pada daerah tertentu dimana  $A_v(j\omega)$  bernilai tetap, dalam hal ini disimbolkan dengan  $A_{vo}$ .

Umpan balik pada diagram osilator tersebut adalah positif. Umpan balik ini akan mengembalikan sebagian sinyal keluaran ke sinyal masukan pada lup tertutup. Karena umpan balik yang digunakan adalah positif, maka sinyal masukan dan keluaran berada pada fase yang sama sehingga sinyalnya bertambah menjadi sinyal masukan ditambah dengan sinyal keluaran. Sinyal masukan disini disimbolkan dengan  $v_i$  dan sinyal keluaran disimbolkan dengan  $v_o$ . Untuk umpan balik positif, pergeseran fase yang timbul pada lup tertutup bernilai  $360^\circ$  atau sama dengan  $0^\circ$ .

Dari Gambar 2.1 didapat persamaan sebagai berikut,

$$v_o = A_v(j\omega)v_d \quad (2.1)$$

$$v_f = \beta(j\omega)v_o \quad (2.2)$$

dimana,

$$v_d = v_i + v_f \quad (2.3)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.3), maka didapat persamaan *gain* tegangan pada lup tertutup sebagai berikut,

$$A_{vf}(j\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_v(j\omega)}{1 - \beta(j\omega)A_v(j\omega)} \quad (2.4)$$

Bilangan  $\beta(j\omega)A_v(j\omega)$  disebut sebagai *gain* lup.

Agar osilasi terjadi, sinyal keluaran harus ada tanpa diberikan masukan dari luar. Jadi, dengan menganggap  $v_i = 0$  pada persamaan (2.4), maka penyebut pada persamaan *gain* lup tertutup juga disamakan dengan  $v_i$  sehingga,

$$1 - \beta(j\omega)A_v(j\omega) = 0$$

atau,

$$\beta(j\omega)A_v(j\omega) = 1 \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) menjelaskan bahwa untuk terjadi osilasi, maka nilai *gain* lup harus sama dengan satu. Pernyataan di atas disebut dengan kriteria *Barkhausen*.

Dengan menganggap  $A_v(j\omega) = A_{vo}$ , dimana

$$\beta(j\omega) = \beta_r(\omega) + j\beta_i(\omega)$$

dengan  $\beta_r(\omega)$  dan  $\beta_i(\omega)$  adalah bagian riil dan imajiner dari  $\beta(j\omega)$ , maka dapat dituliskan,

$$\beta_r(\omega)A_{vo} + j\beta_i(\omega)A_{vo} = 1 \quad (2.6)$$

Dengan menyamakan bagian real dan imajiner pada kedua sisi persamaan di atas, maka didapat,

$$\beta_r(\omega)A_{vo} = 1 \rightarrow A_{vo} = \frac{1}{\beta_r(\omega)} \quad (2.7)$$

dan

$$\beta_i(\omega)A_{vo} = 0 \rightarrow \beta_i(\omega) = 0 \quad (2.8)$$

karena  $A_{vo} \neq 0$ . Kondisi (2.7) dan (2.8) disebut sebagai kriteria *Barkhausen* dalam bentuk *rectangular* untuk  $A_v(j\omega) = A_{vo}$ . Kondisi (2.7) disebut sebagai kondisi *gain*, dan kondisi (2.8) disebut sebagai kondisi osilasi. Pada kondisi (2.8) menjelaskan bahwa pergeseran fase disekitar lup tertutup adalah  $0^\circ$  atau kelipatan  $360^\circ$  [1].

## 2.2 Elemen Resonator dan Amplifier

Rangkaian osilator memiliki banyak jenis, seperti osilator kristal, osilator RC, dan osilator LC. Namun, dalam kesempatan ini penulis hanya membahas mengenai osilator LC. Osilator LC adalah sebuah rangkaian osilator listrik dimana resonatornya menggunakan komponen pasif kapasitor dan induktor. Osilator ini memiliki frekuensi kerja sekitar 1 – 500 MHz [7]. Rangkaian amplifier yang digunakan untuk setiap resonator berbeda, tergantung jenis resonator yang digunakan. Komponen aktif yang digunakan sebagai amplifier untuk frekuensi kerja di atas 1 MHz yaitu transistor BJT dan FET. Namun, dalam kesempatan ini penulis hanya menggunakan transistor jenis BJT. Tipe transistor BJT yang

digunakan oleh penulis untuk semua rangkaian amplifier osilator adalah 2N3904, karena mudah didapat dan dapat digunakan sebagai amplifier pada frekuensi 100 MHz [4]. Berikut akan dibahas mengenai elemen penyusun rangkaian osilator yang akan digunakan oleh penulis dalam penelitian ini.

### 2.2.1 Induktor dan Kapasitor

#### *Induktor*

Induktor adalah sebuah komponen elektronika bersifat pasif yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet yang dikarenakan arus listrik yang melewatinya. Biasanya induktor terbuat dari kawat yang berbentuk kumparan, sehingga kumparannya membantu membuat medan magnet yang kuat pada kumparan tersebut dikarenakan hukum induksi *Faraday*. Komponen induktor ini biasanya digunakan pada rangkaian listrik yang menggunakan arus dan tegangan bolak-balik (AC) karena mampu memproses arus dan tegangan bolak-balik (AC). Satuan yang biasa digunakan pada induktor adalah *Henry* (H). Secara kuantitatif, nilai induktor dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$L = \frac{N\phi}{i} \quad (2.9)$$

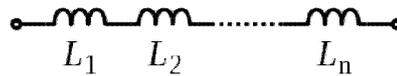
dimana, L = nilai induktansi (H)  
 N = jumlah lilitan kumparan  
 $\Phi$  = fluks magnetik yang melalui lup (Wb)  
 i = arus (A)

Induktor memiliki simbol skematik yang biasa digunakan pada rangkaian listrik sebagai berikut,



**Gambar 2.2** Simbol Induktor

Sama halnya dengan resistor, induktor dapat dipasang secara seri atau parallel pada suatu rangkaian listrik. Persamaan induktansi totalnya sama dengan persamaan resistor yang dihubungkan secara seri atau paralel pada rangkaian listrik. Jika induktor dihubungkan secara seri seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut,

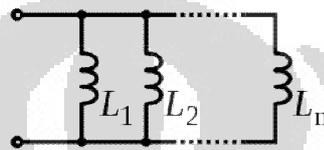


**Gambar 2.3** Induktor Dihubung Seri

maka, persamaan induktansi totalnya adalah sebagai berikut,

$$L_{Total\_Seri} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (2.10)$$

Sedangkan, jika induktor dihubungkan secara paralel seperti pada gambar berikut,



**Gambar 2.4** Induktor Dihubung Paralel

maka, persamaan induktansi totalnya adalah sebagai berikut,

$$\frac{1}{L_{Total\_Paralel}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (2.11)$$

Saat digunakan pada rangkaian listrik yang menggunakan tegangan AC, induktor akan bersifat menghambat pada rangkaian tersebut. Sifat tersebut biasa disebut dengan reaktansi induktif ( $X_L$ ) yang memiliki satuan *ohm*. Besar reaktansi induktif tergantung pada nilai frekuensi tegangan yang melewati induktor tersebut. Besar nilai reaktansi induktif ini sebanding dengan frekuensi yang melewatinya. Berikut persamaan reaktansi induktif sebagai fungsi frekuensi,

$$X_L = \omega L = (2\pi f) L \quad (2.12)$$

dimana:  $f$  = frekuensi (Hz)

$L$  = induktor (H)

$\pi = 3,14$

$X_L$  = reaktansi induktif (ohm)

Semakin besar frekuensi yang melewati induktor tersebut, maka reaktansinya juga akan semakin besar. Reaktansi akan bersifat resistif seperti resistor biasa. Namun, nilai hambatannya tidak tetap seperti resistor biasa. Nilainya akan berubah sebanding dengan frekuensi yang melewatinya [5,11].

### Kapasitor

Kapasitor adalah sebuah komponen elektronika bersifat pasif yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Pada dasarnya kapasitor berbentuk dua pelat yang sejajar, dan di antara dua pelat sejajar tersebut terdapat bahan isolator agar tidak terhubung singkat. Komponen kapasitor ini biasanya digunakan pada rangkaian listrik dengan tegangan dan arus bolak – balik (AC), karena tegangan dan arus searah (DC) tidak dapat melewati kapasitor. Ini disebabkan adanya bahan isolator di dalam kapasitor tersebut. Satuan yang biasa digunakan pada kapasitor adalah *Farad* (F). Secara kuantitatif, nilai kapasitor dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (2.13)$$

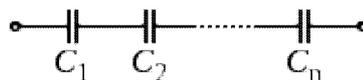
dimana,  
 C = nilai kapasitor (F)  
 $\varepsilon$  = permitivitas dielektrik  
 A = luas pelat (m<sup>2</sup>)  
 d = jarak kedua pelat (m)

Kapasitor memiliki symbol skematik yang biasa digunakan pada rangkaian listrik sebagai berikut,

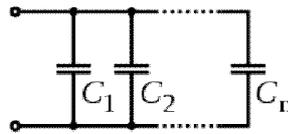


**Gambar 2.5** Simbol Kapasitor

Kapasitor juga dapat dipasang secara seri atau paralel seperti resistor atau induktor, tetapi persamaan kapasitansi totalnya berbeda dengan resistor atau induktor. Jika kapasitor dihubungkan secara seri atau paralel, maka skematik dan persamaannya adalah sebagai berikut,



**Gambar 2.6** a.) Kapasitor Dihubung Seri



**Gambar 2.6 b.)** Kapasitor Dihubung Paralel

dimana persamaan kapasitansi total seri dan paralel pada Gambar 2.6a dan 2.6b adalah,

$$\frac{1}{C_{Total\_Seri}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (2.14)$$

$$C_{Total\_Paralel} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (2.15)$$

Sama halnya dengan induktor, kapasitor biasanya digunakan pada rangkaian listrik AC. Jika sinyal listrik dengan frekuensi tertentu melewati kapasitor, maka akan timbul reaktansi kapasitif pada kapasitor ( $X_C$ ). Hubungan antara reaktansi kapasitif, kapasitor, dan frekuensi adalah sebagai berikut,

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(2\pi f)C} \quad (2.16)$$

dimana:  $f$  = frekuensi (Hz)

$C$  = kapasitor (F)

$\pi$  = 3,14

$X_C$  = reaktansi induktif (ohm)

Terlihat pada persamaan (2.16) bahwa besar frekuensi yang melewati kapasitor berbanding terbalik dengan reaktansi kapasitif. Jadi, semakin besar frekuensi yang melewati kapasitor, semakin kecil reaktansi kapasitif dari kapasitor tersebut [5,11].

### 2.2.2 Transistor BJT Tipe 2N3904

Komponen aktif yang akan digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah transistor BJT tipe 2N3904. Transistor BJT tipe ini dapat digunakan sebagai amplifier pada frekuensi sampai 100 MHz. Transistor BJT tipe ini hanya memerlukan tegangan suplai DC sebesar 5 volt. Tetapi, Transistor BJT tipe ini juga dapat bekerja jika ingin menggunakan tegangan suplai DC yang lebih besar dari 5 volt. Selain itu, transistor ini juga cukup mudah untuk didapatkan. Untuk

mengetahui lebih jelas bentuk fisik dari Transistor BJT tipe *2N3904* adalah sebagai berikut,



**Gambar 2.7** Bentuk dari Transistor BJT tipe *2N3904*

Sumber : <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/2N3904.pdf> : 1

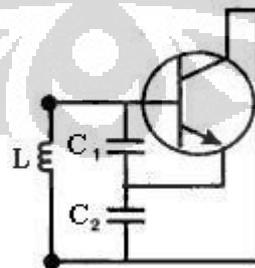
Penulis menggunakan nilai *current gain* yaitu 70 dimana  $I_C = 1 \text{ mA}$  dan  $V_{CE} = 1$  volt [4].

### 2.3 Rangkaian Osilator LC

Banyak sekali jenis rangkaian osilator yang menggunakan resonator LC, tergantung konfigurasi resonator dan amplifiernya. Pada kesempatan ini, akan dibahas mengenai osilator tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp. Berikut ini akan dibahas mengenai rangkaian osilator LC secara lengkap.

#### 2.3.1 Struktur Umum Osilator LC

Pada dasarnya, semua jenis osilator LC memiliki konfigurasi dasar yang sama. Berikut skematik dasar rangkaian osilator LC,

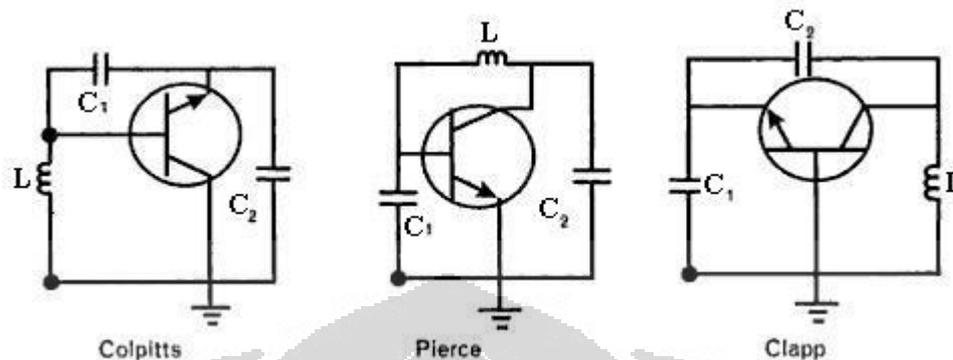


**Gambar 2.8** Skematik Dasar Osilator LC

Sumber : Gilmore, Rowan.(2003). *Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems* (vol.2). London : Artech House, Inc. : 379. Catatan : telah diolah kembali

Terlihat pada Gambar 2.8, yang menjadi resonator adalah komponen L,  $C_1$ , dan  $C_2$ , dan amplifiernya adalah komponen transistor BJT. Jika *ground* pada

rangkaian tersebut diletakkan pada posisi yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, maka hasil keluarannya juga akan berbeda.



**Gambar 2.9** Penempatan *Ground* yang Berbeda pada Rangkaian Osilator

Sumber : Gilmore, Rowan.(2003). *Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems (vol.2)*. London : Artech House, Inc. : 379. Catatan : telah diolah kembali

Pada Gambar 2.9 terlihat bahwa jika *ground* diletakkan pada posisi yang berbeda, maka akan menghasilkan konfigurasi amplifier dan resonator yang berbeda pada rangkaian osilator [2,8,13].

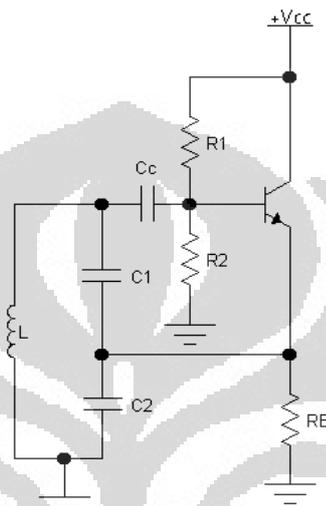
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, osilator tipe Colpitts memiliki titik *ground* yang terletak pada kaki *collector* transistor sehingga osilator tersebut memiliki amplifier tipe *Common-Collector*. Pada osilator tipe Pierce terdapat titik *ground* yang terletak pada kaki *emitter* transistor sehingga osilator tersebut memiliki amplifier tipe *Common-Emitter*. Dan yang terakhir adalah osilator tipe Clapp yang terdapat titik *ground* pada kaki *base* transistor sehingga osilator tipe ini memiliki amplifier dengan tipe *Common-Base*. Setiap tipe amplifier pada rangkaian osilator tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Selain amplifier yang memiliki konfigurasi berbeda, resonatornya juga memiliki konfigurasi yang berbeda sehingga menghasilkan keluaran yang berbeda [2,8,13].

### 2.3.2 Macam-macam Tipe Osilator LC

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, penulis akan membahas mengenai karakteristik pada rangkaian osilator tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp. Ketiga osilator tersebut memiliki karakteristik yang berbeda karena konfigurasi rangkaiannya berbeda. Berikut akan dibahas dengan jelas mengenai ketiga osilator tersebut.

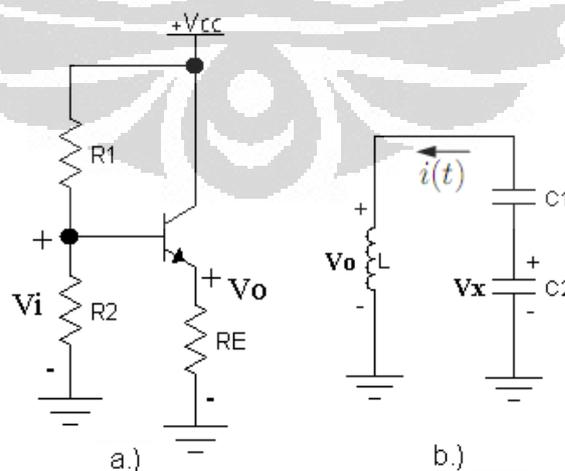
### 2.3.2.1 Osilator Tipe Colpitts

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, osilator tipe Colpitts ini memiliki rangkaian amplifier *Common-Collector* karena titik *ground* dari rangkaiannya terletak pada kaki *collector* transistor. Berikut skematik rangkaian dari osilator tipe Colpitts yang lebih lengkap.



**Gambar 2.10** Rangkaian Osilator Tipe Colpitts

Rangkaian osilator tipe ini terdiri atas resonator LC dan amplifier *Common-Collector*. Jika masing-masing rangkaian diamati, maka akan terlihat jelas mengapa resonator tipe ini harus menggunakan amplifier *Common-Collector*. Berikut skematik dari amplifier *Common-Collector* dan resonator tipe Colpitts,



**Gambar 2.11** a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator Tipe Colpitts

Pada Gambar 2.11a yaitu amplifier *Common-Collector* memiliki karakteristik yaitu besar penguatannya sama dengan 1 dan beda fase antara sinyal masukan dan keluaran adalah sama dengan  $0^0$  atau kelipatan  $360^0$ . Berikut persamaannya,

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

$$r_e' = \frac{25mV}{I_E} \quad (2.17)$$

$$v_{in} = i_e (R_E + r_e')$$

$$v_{out} = i_e (R_E)$$

$$\text{dimana, } R_E \gg r_e'$$

sehingga,

$$\text{gain CC} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_E}{R_E + r_e'} \approx 1 \quad (2.18)$$

Terlihat pada persamaan (2.18), besar *gain* dari amplifier tipe ini yaitu sama dengan 1. Selain itu, amplifier tipe ini tidak mengalami pergeseran fase antara sinyal masukan dan keluaran [7,12].

Pada Gambar 2.11b mengenai resonator tipe Colpitts, diasumsikan tegangan pada L adalah  $v_o$ , tegangan pada  $C_2$  adalah  $v_x$ , dan arah arus  $i(t)$  yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11b, maka dapat dituliskan

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_1} \int_0^t i dt + \frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = 0$$

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = 0$$

$$LC \frac{d^2 i}{dt^2} + i = 0 \quad (2.19)$$

dimana,

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Solusi umum untuk persamaan diferensial (2.19) adalah

$$i(t) = k_1 e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + k_2 e^{\frac{-j}{\sqrt{LC}}t} \quad (2.20)$$

Nilai konstanta  $k_1$  dan  $k_2$  bergantung pada keadaan awal. Dengan menganggap keadaan awal  $i(0) = 0$  dan  $\frac{di(0)}{dt} = 0$ , maka didapat solusi umum pada kondisi awal yaitu

$$i(t) = \frac{i_0}{2} \left( e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + e^{\frac{-j}{\sqrt{LC}}t} \right) = i_0 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}}t \quad (2.21)$$

Kembali pada Gambar 2.11b, maka didapatlah persamaan  $v_x$  dan  $v_o$  yaitu

$$v_x(t) = -\frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = -\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{1} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}}t \quad (2.22)$$

$$v_o(t) = L \frac{di}{dt} = -Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}}t \quad (2.23)$$

Maka didapat rasio maksimum antara  $v_o$  dan  $v_x$  (*gain*) adalah

$$\text{gain Colpitts} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{1}} = \frac{LC_2}{LC} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} > 1 \quad (2.24)$$

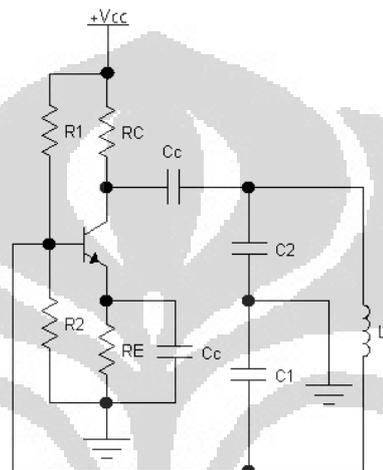
Terlihat pada persamaan *gain* dari resonator Colpitts ini bernilai positif dan nilainya lebih besar dari 1. Jadi, pergeseran fase yang timbul dari resonator Colpitts antara sinyal masukan dan keluaran ini adalah  $0^\circ$  atau kelipatan  $360^\circ$  [6].

Dari persamaan (2.18) dan (2.24) yang telah dibuktikan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa osilator tipe Colpitts menggunakan rangkaian amplifier *Common-Collector* dikarenakan keluaran dari resonatornya tidak mengalami pergeseran fase agar terjadi umpan balik positif pada osilator tersebut dan besar

penguatannya sama dengan 1 sehingga dapat membatasi amplitudo sinyal dari resonatornya yang memiliki besar penguatan lebih besar dari 1.

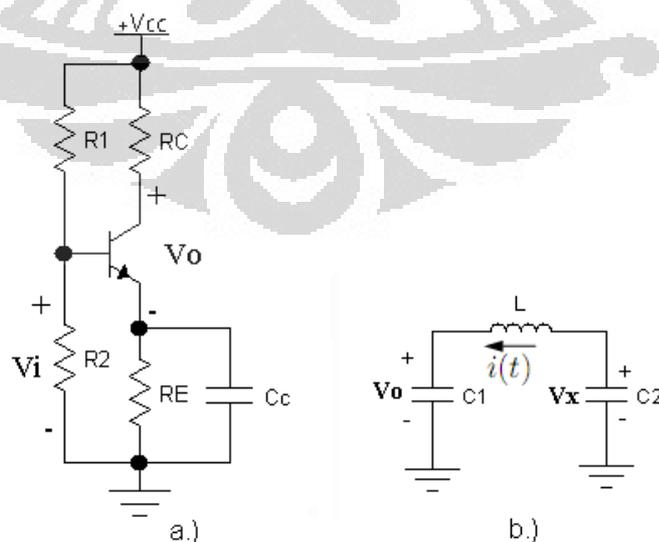
### 2.3.2.2 Osilator Tipe Pierce

Osilator tipe Pierce ini memiliki dasar rangkaian osilator sama seperti tipe Colpitts, hanya peletakkan *common-ground* nya yang berbeda. Berikut rangkaian skematiknya,



**Gambar 2.12** Rangkaian Osilator Tipe Pierce

Pada osilator tipe Pierce ini, titik *ground* nya terletak pada kaki kaki *emitter* sehingga jenis amplifiier yaitu amplifiier tipe *Common-Emitter*. Berikut skematik amplifiier tipe *Common-Emitter* dan resonator tipe Pierce,



**Gambar 2.13** a.) Amplifier Tipe *Common-Emitter* dan b.) Resonator Tipe Pierce

Amplifier tipe ini yang ditunjukkan pada Gambar 2.13a memiliki karakteristik yaitu besar *gain* nya yaitu lebih besar dari 1 dan mengalami pergeseran fase antara sinyal masukan dan keluaran sebesar  $180^0$ . Untuk mendapatkan *gain* pada amplifier tipe ini, langkah yang sama dilakukan pada amplifier tipe *Common-Collector* yaitu mendapatkan persamaan (2.17). Setelah itu menurunkan persamaan *gain* nya sebagai berikut,

$$v_{in} = i_e r_e'$$

$$v_{out} = -i_e R_C$$

sehingga,

$$\text{gain CE} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \left| -\frac{R_C}{r_e'} \right| > 1 \quad (2.25)$$

Terlihat pada persamaan (2.25) bahwa besar *gain* nya lebih besar dari 1. Amplifier tipe ini juga mengalami pergeseran fase sebesar  $180^0$  antara sinyal masukan dan keluaran [7,12].

Selanjutnya yaitu pembahasan mengenai karakteristik dari resonator tipe Pierce. Dengan menganggap tegangan pada  $C_1$  adalah  $v_o$ , tegangan pada  $C_2$  adalah  $v_x$ , dan arah arus yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13b, maka dapat diturunkan persamaannya sebagai berikut. Untuk langkah awal penurunan sama seperti resonator tipe Colpitts yaitu didapatkan persamaan (2.19), (2.20), (2.21), dan (2.22). Selanjutnya didapat persamaan tegangan pada kapasitor  $C_1$  dengan melihat kembali Gambar 2.13b,

$$v_o(t) = \frac{1}{C_1} \int_0^t i dt = \frac{1}{C_1} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.26)$$

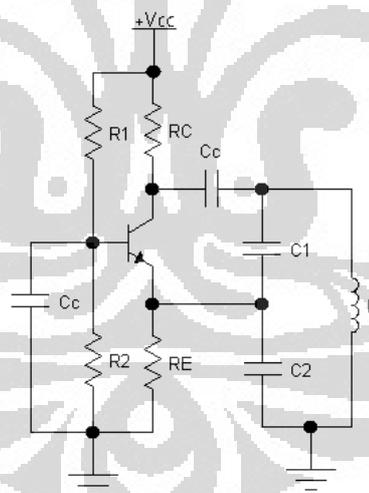
Maka didapat rasio maksimum antara  $v_o$  dan  $v_x$  (*gain*) yaitu

$$\text{gain Pierce} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{\frac{1}{C_1} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}}}{-\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}}} = \left| -\frac{C_2}{C_1} \right| < 1 \quad (2.27)$$

Terlihat pada persamaan (2.27) bahwa persamaan *gain* nya bernilai negatif yang menunjukkan bahwa terjadi pergeseran fase antara sinyal masukan dan sinyal keluaran sebesar  $180^0$  dan besar *gain* nya yaitu perbandingan kapasitor  $C_2$  dan  $C_1$ . Biasanya besar *gain* dari resonator tipe ini lebih kecil dari 1. Dari persamaan (2.25) dan (2.27) yang telah dibuktikan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa osilator tipe Pierce menggunakan rangkaian amplifier *Common-Emitter* dikarenakan keluaran dari resonatornya mengalami pergeseran fase sebesar  $180^0$  agar terjadi umpan balik positif pada osilator tersebut dan besar penguatannya lebih besar dari 1 sehingga dapat menguatkan sinyal keluaran dari resonator yang penguatannya lebih kecil dari 1.

### 2.3.2.3 Osilator Tipe Clapp

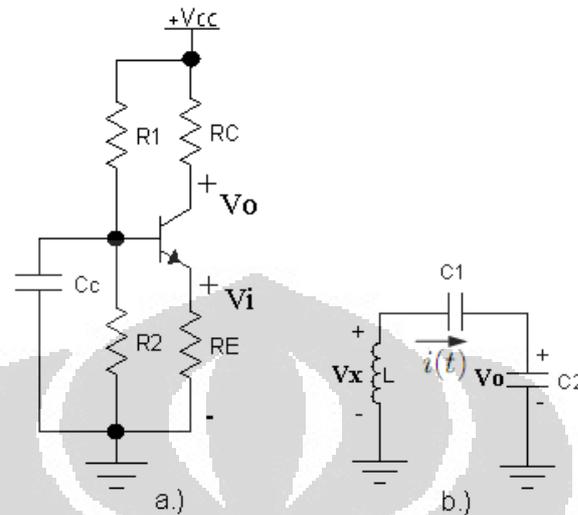
Osilator tipe Clapp ini hampir sama karakteristiknya dengan osilator tipe Colpitts, letak perbedaannya yaitu pada rangkaian amplifier yang digunakan. Berikut rangkaian skematik dari osilator tipe Clapp,



**Gambar 2.14** Rangkaian Osilator Tipe Clapp

Rangkaian amplifier yang digunakan yaitu tipe *Common-Base* dimana tidak terjadi pergeseran fase antara sinyal masukan dan sinyal keluaran. Selain itu, besar penguatannya lebih besar dari 1. Jadi, resonator tipe Clapp ini harus mengalami pergeseran fase sebesar  $0^0$  agar terjadi umpan balik positif pada rangkaian osilator tersebut. Resonator tipe Clapp ini memiliki karakteristik yang hampir sama dengan tipe Colpitts yaitu tidak terjadi pergeseran fase antara sinyal masukan dan

sinyal keluaran. Berikut rangkaian skematik dari amplifier tipe *Common-Base* dan resonator tipe Clapp,



**Gambar 2.15** a.) Amplifier Tipe *Common-Base* dan b.) Resonator Tipe Clapp

Untuk mendapatkan persamaan *gain* pada amplifier tipe ini yang ditunjukkan pada Gambar 2.15a, maka langkah yang dilakukan sama seperti sebelumnya yaitu mendapatkan persamaan (2.17). Setelah itu, menghitung persamaan *gain* nya yaitu sebagai berikut,

$$v_{in} = i_b \beta r_e'$$

$$v_{out} = i_e R_C$$

sehingga,

$$\text{gain CB} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_C}{r_e'} > 1 \quad (2.28)$$

Terlihat pada persamaan (2.28) bahwa besar *gain* dari amplifier tipe ini yaitu lebih besar dari 1. Selain itu, amplifier tipe ini juga memiliki karakteristik lainnya yaitu tidak mengalami pergeseran fase antara sinyal masukan dan keluaran.

Selanjutnya yaitu mengenai resonator tipe Clapp. Dengan menganggap tegangan pada L adalah  $v_x$ , tegangan pada  $C_2$  adalah  $v_o$ , dan arah arus seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 2.15b, maka akan didapat persamaan sebagai berikut. Langkah awal penurunan sama seperti resonator tipe Colpitts yaitu mendapatkan persamaan (2.19), (2.20), dan (2.21). Dengan melihat kembali Gambar 2.15b, maka akan didapat persamaan berikut,

$$v_o(t) = \frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = \frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.29)$$

$$v_x(t) = -L \frac{di}{dt} = Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.30)$$

Maka didapat rasio maksimum antara  $v_o$  dan  $v_x$  (*gain*) yaitu

$$\text{gain Clapp} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}}}{Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}}} = \frac{LC}{LC_2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} < 1 \quad (2.31)$$

Terlihat pada persamaan (2.31) bahwa besar *gain* nya lebih kecil dari 1 dan nilai *gain* nya bernilai positif yang menunjukkan bahwa tidak terjadi pergeseran fase antara sinyal masukan dan sinyal keluaran, atau dengan kata lain pergeseran fase yang terjadi yaitu sebesar  $0^0$  atau kelipatan  $360^0$ . Jadi terbukti bahwa untuk memberikan umpan balik positif, osilator tipe Clapp menggunakan rangkaian amplifier *Common-Base* karena resonatornya tidak mengalami pergeseran fase dan untuk menguatkan sinyal yang keluar dari resonatornya.

#### 2.4 Rangkaian Osilator-Sensor

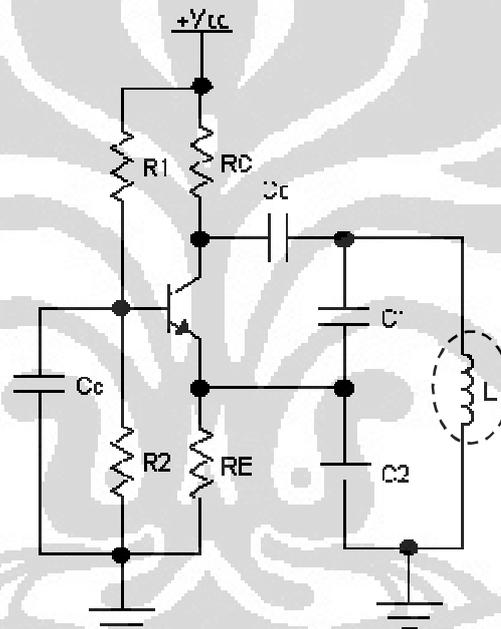
Rangkaian osilator biasanya digunakan sebagai pewaktu atau biasa disebut dengan *Timer*. Pewaktu ini bersifat stabil karena frekuensi yang dihasilkan tidak berubah – ubah atau konstan. Namun, beda halnya dengan osilator yang digunakan sebagai sensor, frekuensi osilasinya berubah – ubah seiring dengan perubahan salah satu komponen yang berhubungan dengan frekuensi osilasinya. Dalam hal ini, komponen yang dimaksud yaitu induktor dan kapasitor. Kedua komponen tersebut sangat berpengaruh pada nilai frekuensi yang muncul sesuai dengan persamaan berikut [5,11],

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.32)$$

Jika salah satu komponen induktor (L) atau kapasitor (C) dari persamaan (2.32) diubah, maka frekuensi osilasinya (f) juga berubah. Berikut akan dijelaskan secara lengkap mengenai osilator sensor kapasitif dan induktif.

#### 2.4.1 Sensor Induktif

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk membuat osilator-sensor induktif hanya memvariasikan komponen induktor dari rangkaian resonatornya sehingga frekuensi osilasinya berubah – ubah. Misalnya saja rangkaian osilator yang akan digunakan sebagai sensor adalah tipe Clapp, berikut rangkaian skematik dari osilator tipe Clapp sebagai sensor induktif,



**Gambar 2.16** Osilator Sensor Induktif Tipe Clapp

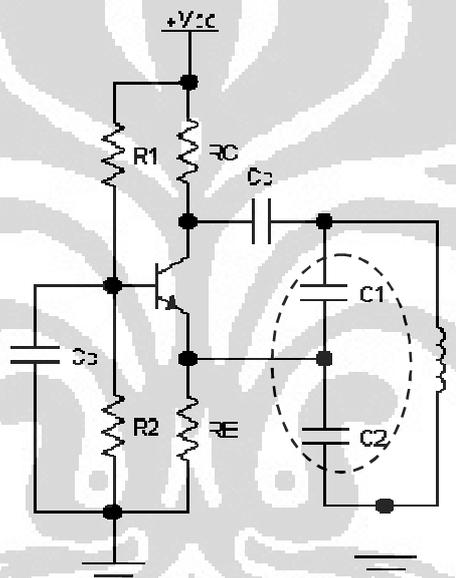
Untuk menggunakan osilator tipe Clapp sebagai sensor induktif, maka alat yang berperan sebagai transduser tersebut dipasang pada posisi induktornya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Transduser tersebut dapat juga digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisika dan mengubah nilai induktansi sebagai fungsi besaran fisika yang akan diukur sehingga nilai frekuensi osilasinya berubah – ubah. Berikut persamaannya,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\Delta LC}} \quad (2.33)$$

Dari persamaan (2.33), akan didapat besaran frekuensi sebagai fungsi induktansi. Jika induktor digunakan sebagai transduser besaran fisika, maka akan didapat besaran frekuensi sebagai fungsi besaran fisika yang diukur.

### 2.4.1 Sensor Kapasitif

Langkah yang dilakukan untuk membuat osilator-sensor kapasitif hampir sama dengan osilator-sensor induktif. Perbedaannya hanya pada komponen yang diubah – ubah yaitu pada komponen kapasitor dari rangkaian resonatornya. Dalam hal ini, ada dua kapasitor yang mempengaruhi nilai frekuensi osilasi yaitu  $C_1$  dan  $C_2$ . Berikut rangkaian skematik dari osilator-sensor kapasitif,

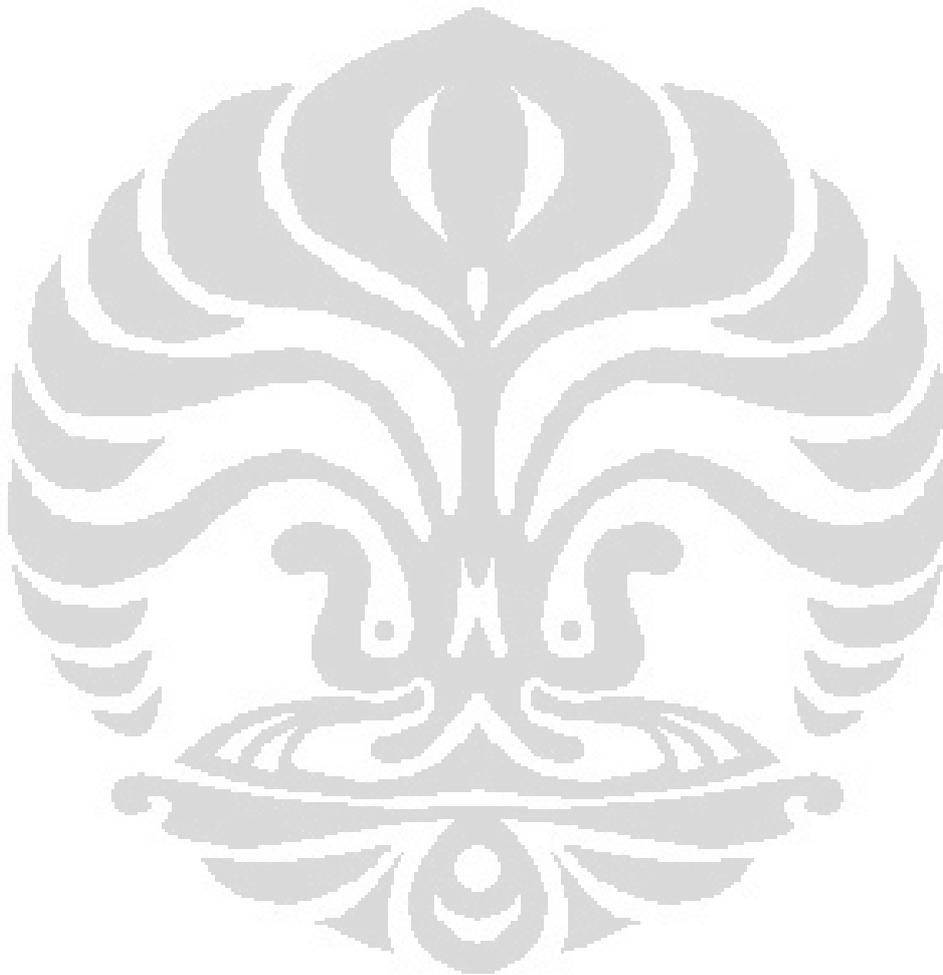


**Gambar 2.17** Osilator Sensor Kapasitif Tipe Clapp

Pada Gambar 2.17 terlihat ada dua komponen kapasitif yang dapat digunakan sebagai transduser yaitu  $C_1$  dan  $C_2$ . Dari kedua komponen kapasitor tersebut tentunya memiliki *range* yang berbeda. Tergantung penggunaannya, apakah diinginkan perubahan dengan *range* yang besar atau yang kecil. Transduser ini dapat juga digunakan untuk mendeteksi perubahan fisika sehingga menjadi kapasitansi sebagai fungsi besaran fisika. Nilai kapasitansi yang berubah ini akan mengubah frekuensi osilasi sehingga didapat perubahan frekuensi osilasi terhadap perubahan nilai kapasitansi. Berikut persamaannya,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left( \frac{\Delta C_1 C_2}{\Delta C_1 + C_2} \right)}} \text{ atau } \Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left( \frac{\Delta C_2 C_1}{\Delta C_2 + C_1} \right)}} \quad (2.34)$$

Pada persamaan (2.34) menunjukkan bahwa perubahan frekuensi osilasi akan dipengaruhi oleh perubahan kapasitansi  $C_1$  atau  $C_2$ . Kapasitor ini juga dapat difungsikan untuk mendeteksi besaran fisika yang akan diukur sehingga didapat perubahan frekuensi sebagai fungsi besaran fisika.



## BAB III

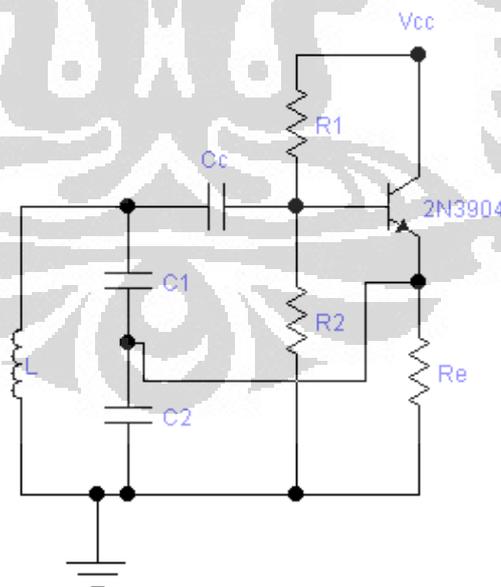
### PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN OSILATOR-SENSOR

#### 3.1 Perancangan Rangkaian Osilator LC

Untuk membuat rangkaian osilator LC harus diperhitungkan terlebih dahulu komponen apa saja yang akan digunakan, berapa nilai komponen yang akan digunakan, dan lain sebagainya. Selain itu juga perlu mengetahui keadaan lainnya seperti mengetahui bagaimana keadaan suplai yang akan digunakan dan juga ketersediaan komponen yang ada. Pada kesempatan ini, penulis akan merancang osilator LC tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp yang akan digunakan sebagai sensor induktif dan kapasitif.

##### 3.1.1 Tipe Colpitts

Untuk merancang rangkaian osilator harus mengetahui terlebih dahulu frekuensi osilasi yang akan digunakan. Pada kesempatan ini, penulis akan merancang osilator pada frekuensi osilasi sebesar 1 MHz. Berikut rangkaian skematik yang akan dibuat,



**Gambar 3.1** Osilator Tipe Colpitts dengan Transistor BJT 2N3904

Langkah awal yaitu menentukan nilai kapasitor  $C_1 = C_2 = 1.5 \text{ nF}$  dengan syarat nilai  $C_1 > C_{be}$ , agar nilai  $C_{be}$  bisa diabaikan.  $C_{be}$  adalah nilai kapasitansi pada transistor diantara kaki *base* dan *emitter*, biasanya nilai  $C_{be}$  adalah 25 pF. Dan untuk menentukan nilai  $C_2$ , nilai reaktansi dari  $C_2$  harus lebih kecil dari hambatan yang terdapat kaki *emitter* ( $R_E$ ), sehingga arus yang lewat lebih besar pada  $C_2$ . Setelah itu, menentukan nilai induktor ( $L$ ) yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)} \approx 33 \mu H \quad (3.1)$$

dimana,  $f_o$  = frekuensi osilasi (Hz)  
 $\pi = 3,14$   
 $L$  = induktor (H)

Namun, dalam eksperimen nilai induktor yang terukur yaitu 28.6  $\mu H$ . Jadi, induktor yang digunakan yaitu bernilai 28.6  $\mu H$ . Setelah menentukan nilai – nilai komponen yang akan digunakan sebagai resonator, maka selanjutnya menentukan nilai-nilai komponen yang akan digunakan sebagai amplifier.

Pada kesempatan ini, penulis akan merancang amplifier *common-collector* dengan menggunakan komponen aktif transistor BJT tipe 2N3904. Dengan membaca *datasheet* dari transistor tipe ini, penulis mengambil nilai  $h_{FE}$  atau  $\beta$  (*gain*) yaitu 70. Nilai  $h_{FE}$  ini akan beroperasi pada  $I_C = 1 \text{ mA}$  dan  $V_{CE} = 1 \text{ volt}$ . Tegangan suplai DC yang diberikan ( $V_{CC}$ ) adalah 5 volt. Setelah menentukan titik operasi kerja transistor yang akan digunakan, yaitu menentukan nilai hambatan *emitter* ( $R_E$ ). Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan  $R_E$ ,

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 4 K\Omega \quad (3.2)$$

Setelah itu menentukan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan menggunakan persamaan berikut,

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 14.3 \mu A$$

dengan memberikan ketentuan sebagai berikut,

$$I_{R_1} \approx I_{R_2} = 10 I_B = 143 \mu A$$

maka didapat

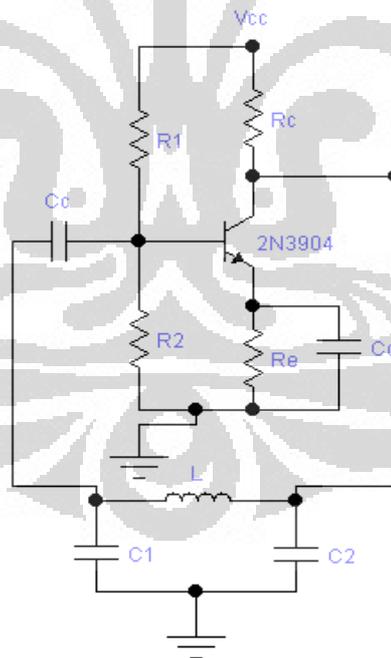
$$R_1 = \frac{V_{CC} - (V_E + 0.7)}{I_{R_1}} \approx 2K\Omega \quad (3.3)$$

$$R_2 = \frac{V_E + 0.7}{I_{R_2}} \approx 33K\Omega \quad (3.4)$$

Kapasitor sebagai *coupling* sinyal AC dapat diberikan dengan nilai 0.1  $\mu$ F. Alasannya yaitu agar nilai reaktansi dari kapasitor *coupling* ini dibuat seminimal mungkin supaya tidak terlalu mempengaruhi kinerja osilator yang telah dibuat [1,3].

### 3.1.2 Tipe Pierce

Sama seperti merancang osilator tipe Colpitts, menentukan frekuensi osilasi yang akan digunakan. Frekuensi osilasi yang akan digunakan adalah 1 MHz. Berikut rangkaian skematik osilator tipe Pierce yang akan dibuat,



**Gambar 3.2** Osilator Tipe Pierce dengan Transistor BJT 2N3904

Komponen aktif yang akan digunakan sebagai rangkaian amplifier yaitu transistor BJT tipe 2N3904. Titik operasi kerja yang akan digunakan adalah  $I_C = 1$  mA dan  $V_{CE} = 1$  volt. Nilai *gain* ( $\beta$ ) minimumnya adalah 70, dan nilai *typical* nya adalah

100. Setelah itu, menghitung nilai resistor yang akan digunakan sebagai komponen amplifiernya.

$$R_E = 10\% \frac{V_{CC}}{I_C} = 500\Omega \quad (3.5)$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{R_E}}{I_C} = 3.5K\Omega \quad (3.6)$$

Setelah mendapatkan nilai resistansi  $R_E$  dan  $R_C$ , selanjutnya menentukan nilai resistansi  $R_1$  dan  $R_2$ . Berikut langkah – langkah yang dilakukan,

$$R_{TH} = \frac{\beta R_E}{10} = 5K\Omega$$

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + 0.7 + I_E R_E = 1.25V$$

$$R_1 = R_{TH} \frac{V_{CC}}{V_{TH}} = 20K\Omega \quad (3.7)$$

$$R_2 = \frac{R_{TH}}{1 - \frac{V_{CC}}{V_{TH}}} \approx 7K\Omega \quad (3.8)$$

Saat  $I_C = 1 \text{ mA}$ ,

$$g_m = \frac{I_C}{25mA} = 0.04$$

$$h_{ie} > \frac{\beta_{\min}}{g_m} = 1.75K\Omega$$

Saat nilai  $R_S$  pada induktor dianggap nol, maka kondisi *gain* nya adalah

$$g_m R_L = 140 \geq \frac{C_1}{C_2}, \text{ dimana } R_L = R_C \quad (3.9)$$

Lalu, menghitung impedansi masukan yaitu sebagai berikut,

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie} \approx 1.3K\Omega$$

Nilai reaktansi dari  $C_1$  harus lebih kecil dari  $R_{in}$ , tentukan saja 50 kali lebih kecil dari  $R_{in}$ . Selanjutnya, menentukan nilai  $C_1$  yaitu sebagai berikut,

$$C_1 = \frac{50}{(2\pi f)R_{in}} \approx 6nF \quad (3.10)$$

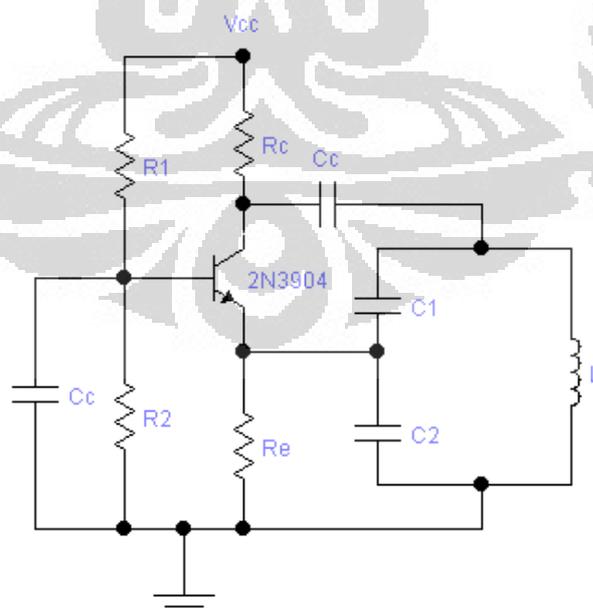
Kemudian dengan menghubungkan persamaan (3.9) dan nilai  $C_1$ , maka didapat nilai  $C_2$  sebagai berikut,

$$C_2 > \frac{C_1}{140} \approx 44pF \quad (3.11)$$

Namun, nilai  $C_2$  yang penulis gunakan adalah 900 pF [1,3]. Tujuannya yaitu agar didapat nilai induktansi yang mendekati sebelumnya yaitu 28.6  $\mu$ H dengan menggunakan persamaan (3.1).

### 3.1.3 Tipe Clapp

Sama seperti merancang osilator yang sebelumnya, langkah awal adalah menentukan frekuensi osilasi yang akan digunakan. Frekuensi osilasi yang akan digunakan adalah 1 MHz. Osilator tipe Clapp ini memiliki metode perancangan yang hampir sama dengan osilator tipe Pierce dalam hal merancang rangkaian amplifier, tetapi nilai komponen dari resonatornya berbeda dengan osilator tipe Pierce. Osilator tipe Clapp menggunakan rangkaian amplifier *Common-Base* di dalamnya. Berikut skematik rangkaiannya,



**Gambar 3.3** Osilator Tipe Clapp dengan Transistor BJT 2N3904

Dalam perancangan amplifier *Common-Base* ini untuk osilator tipe Clapp hampir sama dengan perancangan rangkaian amplifier *Common-Emitter* untuk osilator tipe Pierce.

Komponen aktif yang digunakan sebagai rangkaian amplifier adalah transistor BJT tipe 2N3904. Titik operasi yang diambil oleh penulis yaitu  $I_C = 0.1$  mA dan  $V_{CE} = 1$  volt. Nilai *gain* ( $\beta$ ) yang digunakan yaitu 40. Tegangan suplai DC ( $V_{CC}$ ) yang diberikan yaitu 5 volt. Untuk menentukan nilai komponen yang digunakan sebagai amplifier sama seperti menentukan nilai komponen amplifier *common-emitter*. Dengan menggunakan persamaan (3.5), (3.6), (3.7), dan (3.8) akan didapat

$$R_E = 5K\Omega$$

$$R_C = 35K\Omega$$

$$R_1 = 80K\Omega$$

$$R_2 \approx 30K\Omega$$

Setelah itu menentukan nilai komponen resonatornya dengan menggunakan persamaan berikut,

$$h_{ib} = \frac{V_T}{I_C} = 250\Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 0.004$$

$$C_2 \geq \frac{10}{\omega h_{ib}} \approx 6.4nF \quad (3.12)$$

Untuk menentukan nilai  $C_1$ , dapat menggunakan nilai *gain* antara 2 sampai dengan 3. Dalam hal ini penulis memilih nilai *gain* sama dengan 3 agar penguatan saat mulai osilasi cukup besar. Berikut langkah untuk menentukan nilai  $C_1$ ,

$$C_1 = \frac{C_2}{2} \approx 3.2nF \quad (3.13)$$

Penulis menggunakan kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  dengan nilai 1 nF dan 2 nF pada aplikasinya [1,3]. Tujuannya yaitu agar induktor yang digunakan tidak terlalu

besar perbedaannya dengan osilator tipe sebelumnya. Nilai induktor yang digunakan yaitu 28.6  $\mu\text{H}$  agar sama seperti rancangan sebelumnya.

### 3.2 Eksperimen Osilator LC sebagai Sensor Induktif dan Kapasitif

Setelah semua menentukan nilai – nilai komponen yang akan digunakan pada rangkaian osilator LC, selanjutnya rangkaian osilator LC tersebut digunakan sebagai osilator sensor di dalam eksperimen. Rangkaian osilator LC akan difungsikan sebagai sensor induktif dan kapasitif dengan memvariasikan nilai induktor atau kapasitor pada komponen penyusun resonatornya.

Alat yang digunakan dalam eksperimen ini adalah osiloskop untuk mengukur frekuensi, *Blackbox* sebagai suplai tegangan DC, *Function Generator* untuk mengamati karakteristik masing – masing amplifier dan resonator. Berikut gambar susunan dari alat – alat yang digunakan pada saat eksperimen,

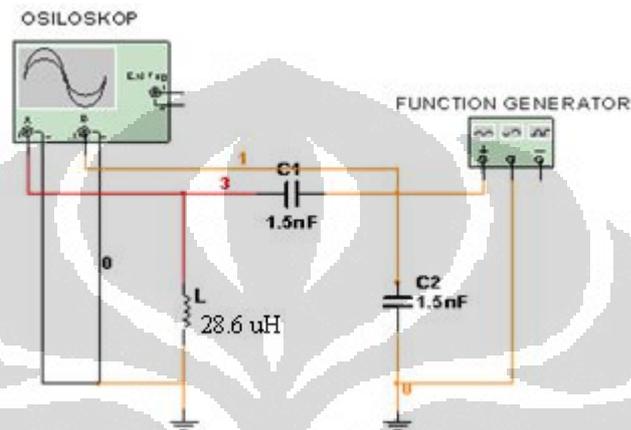


**Gambar 3.4** Alat – alat yang Digunakan pada Eksperimen

Pada setiap rangkaian osilator akan dilakukan eksperimen untuk mengamati karakteristiknya. Selain itu, penulis juga mencari sensitivitas, linieritas, dan *range* dari setiap rangkaian osilator yang difungsikan sebagai sensor kapasitif dan induktif. Kedua eksperimen tersebut dilakukan secara terpisah.

### 3.2.1 Tipe Colpitts

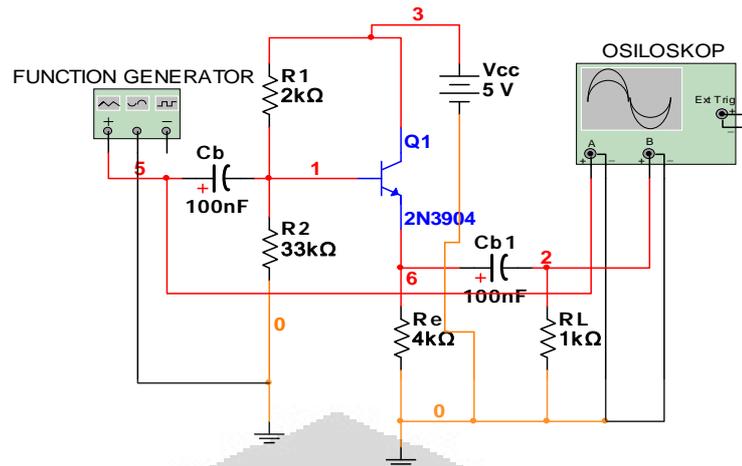
Pada eksperimen yang pertama, penulis akan mengamati karakteristik dari resonator tipe Colpitts. Peralatan yang diperlukan yaitu *Function Generator* dan osiloskop. Pada kesperimen ini, rangkaian amplifier dan resonator dari osilator tipe Colpitts ini dipisahkan. Berikut bentuk skematik untuk eksperimen pengamatan karakteristik resonator,



**Gambar 3.5** Skematik Pengamatan Resonator Tipe Colpitts

Resonator tersebut diberikan sinyal sinus dari *Function Generator* pada kapasitor  $C_2$ . Setelah itu, hubungkan kapasitor  $C_2$  dengan *channel B* sebagai *channel 2* pada osiloskop dan induktor dengan *channel A* sebagai *channel 1* pada osiloskop seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Setelah semua terhubung dengan baik, nyalakan *Function Generator* dan osiloskop. Selanjutnya, penulis mengambil gambar dari sinyal yang tampil pada osiloskop dengan kamera untuk melihat pergeseran fase dan mencatat besar tegangannya.

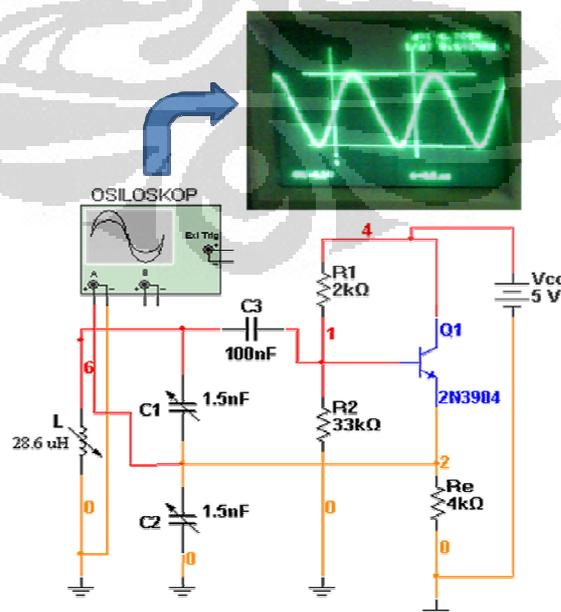
Setelah itu, penulis melakukan langkah – langkah yang sama pada rangkaian amplifiernya yaitu *Common-Collector*. Berikut skematik yang dilakukan pada pengamatan karakteristik rangkaian amplifiernya,



**Gambar 3.6** Skematik Pengamatan Amplifier Tipe *Common-Collector*

Langkah selanjutnya sama seperti pada pengamatan sebelumnya yaitu mengambil gambar yang tampil pada osiloskop dengan menggunakan kamera untuk melihat pergeseran fasa dan mencatat besar tegangannya.

Setelah melakukan pengamatan karakteristik pada osilator tipe Colpitts, selanjutnya yaitu eksperimen mengenai osilator sensor. Langkah – langkah yang dilakukan yaitu merangkai osilator sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Lalu, menghubungkannya dengan *Blackbox* untuk mendapatkan tegangan suplai DC sebesar 5 volt. Setelah itu, menghubungkannya dengan osiloskop yang dapat mengukur frekuensi. Berikut skematik yang dilakukan dalam eksperimen,



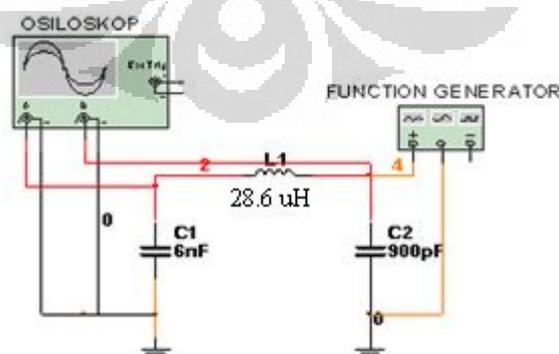
**Gambar 3.7** Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Colpitts

Osiloskop yang digunakan untuk mengukur frekuensi yaitu memiliki fitur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Percobaan pertama yaitu memvariasikan nilai induktor pada resonatornya dengan cara mengganti – ganti induktor yang berbeda nilainya dan dengan cara menghubungkan seri atau paralel induktor yang satu dengan yang lainnya untuk mendapatkan nilai induktor yang diperlukan. Saat memvariasikan nilai induktor, nilai kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  dibuat tetap. Pada saat memvariasikan nilai induktornya, frekuensi osilasinya akan berubah. Penulis akan mencatat setiap frekuensi osilasi yang berubah pada setiap variasi nilai induktor.

Percobaan selanjutnya yaitu memvariasikan nilai kapasitor  $C_1$ . Saat memvariasikan nilai kapasitor  $C_1$ , nilai kapasitor  $C_2$  dan induktor dibuat tetap. Langkah – langkah yang dilakukan sama seperti saat memvariasikan nilai induktor. Penulis akan mencatat nilai frekuensi yang berubah pada setiap variasi nilai kapasitor  $C_1$ . Setelah itu, penulis memvariasikan nilai  $C_2$  dan mencatat nilai frekuensi yang berubah pada setiap variasi kapasitor  $C_2$ . Sama seperti sebelumnya, saat memvariasikan nilai kapasitor  $C_2$ , nilai kapasitor  $C_1$  dan induktor dibuat tetap.

### 3.2.2 Tipe Pierce

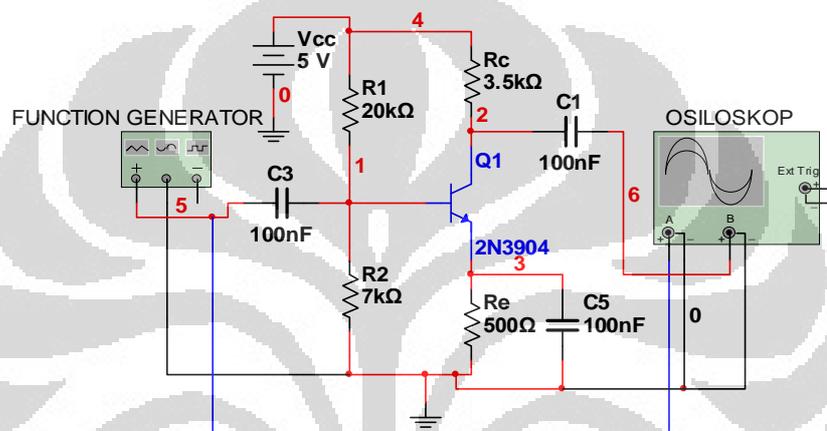
Langkah – langkah eksperimen yang dilakukan pada osilator tipe Pierce, sama seperti langkah – langkah eksperimen yang dilakukan sebelumnya yaitu pada osilator tipe Colpitts. Perbedaannya yaitu hanya pada skematik yang dibuat. Skematik untuk mengamati karakteristik resonator tipe Pierce adalah sebagai berikut,



**Gambar 3.8** Skematik Pengamatan Resonator Tipe Pierce

Setelah melakukan langkah – langkah yang sama pada eksperimen sebelumnya yaitu pengamatan karakteristik pada resonator tipe Colpitts, penulis mengambil gambar dengan menggunakan kamera untuk melihat pergeseran fase yang terjadi pada resonator tersebut dan mencatat besar tegangannya.

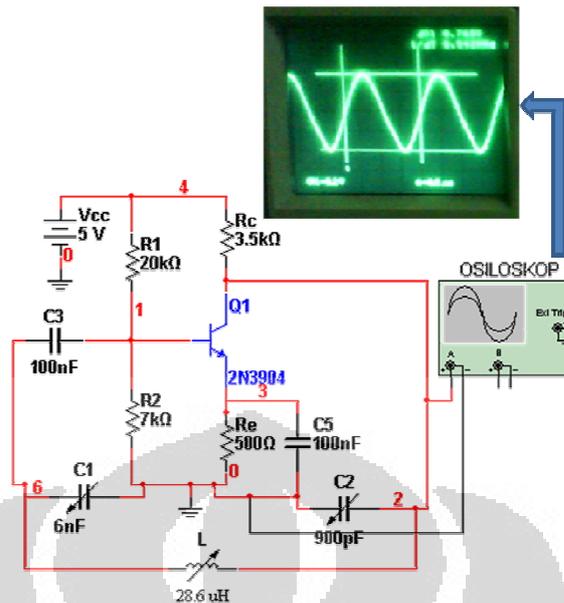
Setelah melakukan pengamatan pada resonator tipe Pierce, selanjutnya yaitu mengamati karakteristik dari amplifier yang ada pada osilator tipe Pierce yaitu tipe *Common-Emitter*. Berikut skematik yang digunakan untuk mengamati karakteristik dari amplifier tipe *Common-Emitter*,



**Gambar 3.9** Skematik Pengamatan Amplifier Tipe *Common-Emitter*

Dengan melakukan langkah yang sama pada resonator tipe Pierce, maka selanjutnya penulis akan mengambil gambar yang ada pada osiloskop menggunakan kamera, agar dapat melihat seberapa besar pergeseran fase yang timbul dari amplifier tipe ini dan mencatat besar tegangannya.

Setelah pengamatan karakteristik dari osilator tipe Pierce dilakukan, maka selanjutnya yaitu eksperimen mengenai osilator sensor tipe Pierce. Langkah – langkah yang dilakukan yaitu sama seperti eksperimen pada osilator sensor tipe Colpitts yang sebelumnya sudah dijelaskan. Perbedaannya yaitu hanya pada skematik rangkaian yang akan digunakan pada eksperimen ini. Berikut skematik yang digunakan pada eksperimen osilator sensor tipe Pierce,

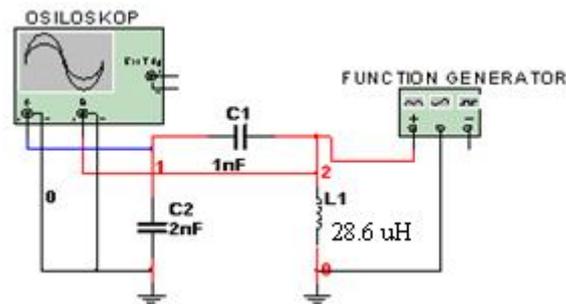


**Gambar 3.10** Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Pierce

Setelah semuanya dirangkai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10, maka langkah selanjutnya sama seperti yang dilakukan pada osilator sensor tipe Colpitts yaitu memvariasikan nilai komponen  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $L$  secara bergantian. Saat salah satu dari komponen resonatornya divariasikan, maka komponen yang lainnya tetap. Setelah itu, penulis mencatat nilai frekuensi yang berubah pada setiap variasi nilai komponen.

### 3.2.3 Tipe Clapp

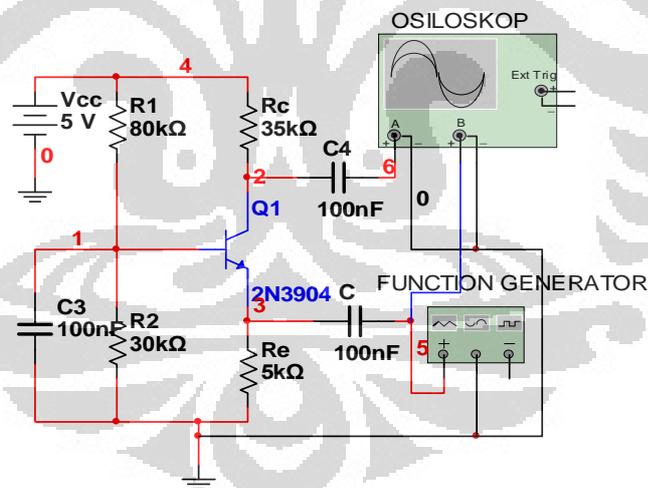
Seperti yang telah dilakukan sebelumnya, pada resonator tipe Clapp ini juga akan diamati karakteristiknya. Langkah – langkah untuk mengamati karakteristik yang telah dilakukan sebelumnya pada osilator tipe lainnya juga diterapkan pada osilator tipe Clapp ini. Selain itu, osilator tipe Clapp ini juga akan difungsikan sebagai sensor. Alat yang digunakan untuk melakukan eksperimen juga sama seperti osilator yang lain. Pada eksperimen ini, hal pertama yang dilakukan yaitu mengamati karakteristik pada osilator tipe Clapp. Berikut skematik resonator yang akan dibuat dalam eksperimen,



**Gambar 3.11** Skematik Pengamatan Resonator Tipe Clapp

Setelah semua langkah dilakukan, selanjutnya penulis mengambil gambar sinyal yang tampil pada osiloskop dengan menggunakan kamera agar dapat melihat pergeseran fase yang timbul pada resonator tersebut dan mengetahui besar tegangannya.

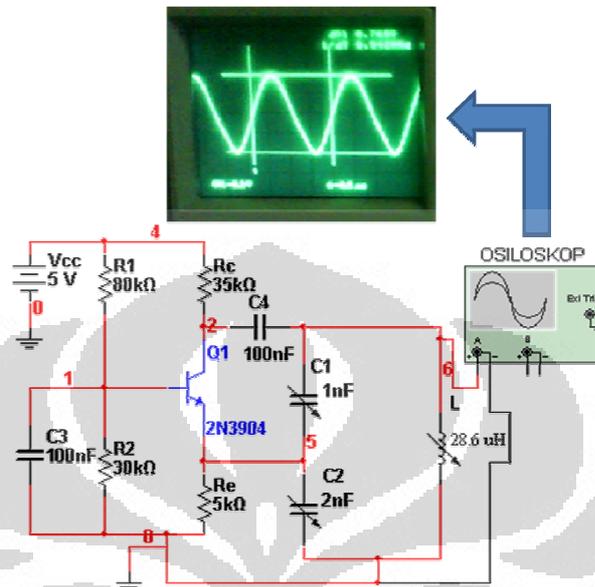
Selanjutnya yaitu mengamati karakteristik pada amplifier tipe *Common-Base*. Langkah yang sama pada resonator tipe Clapp juga dilakukan pada amplifier ini untuk mengamati karakteristiknya. Berikut skematik dari ampliifiernya,



**Gambar 3.12** Skematik Pengamatan Amplifier Tipe *Common-Base*

Sama seperti yang dilakukan pada resonator tipe Clapp yaitu mengambil gambar sinyal pada osiloskop dengan menggunakan kamera agar terlihat seberapa besar pergeseran fase yang timbul dari rangkaian amplifier tersebut dan mencatat besar tegangannya.

Selanjutnya yaitu melakukan eksperimen dengan menggunakan osilator tipe Clapp sebagai sensor. Berikut skematik yang akan dibuat untuk eksperimen ini,



**Gambar 3.13** Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Clapp

Alat – alat yang digunakan dalam eksperimen ini sama seperti yang telah dilakukan sebelumnya. Begitu juga langkah – langkah yang dilakukan, hanya berbeda pada rangkaiannya yang dibuat. Setelah semuanya telah dilakukan, penulis akan mencatat setiap nilai frekuensi yang berubah saat setiap variasi nilai komponen. Variasi dilakukan pada komponen  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $L$ , dimana setiap variasi salah satu komponen maka komponen yang lainnya bernilai tetap.

Setelah mengamati ketiga tipe osilator tersebut dan mendapatkan datanya, selanjutnya dibahas untuk mengetahui lebih dalam mengenai karakteristik dari setiap tipe osilator tersebut.

## BAB IV

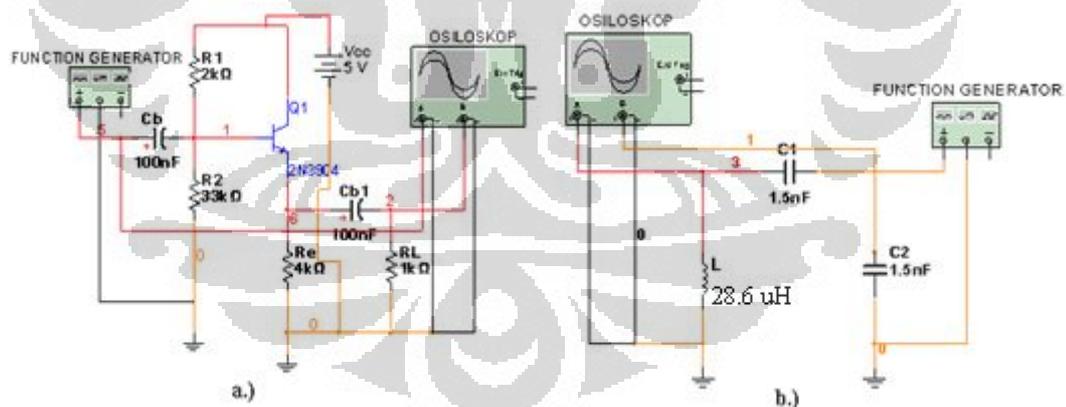
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Rangkaian Osilator LC

Dalam hal ini, penulis akan membahas mengenai hasil eksperimen pengamatan karakteristik amplifier dan resonator pada setiap rangkaian osilator yang telah dilakukan. Selain itu, penulis juga akan membahas mengenai hasil eksperimen dari osilator sensor tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp. Dalam hal sensor, penulis akan membahas mengenai sensitivitas, linieritas, dan *range* perubahan frekuensinya dari osilator sensor induktif dan kapasitif. Berikut akan dibahas secara jelas untuk setiap eksperimen mengenai pengamatan karakteristik yang telah dilakukan.

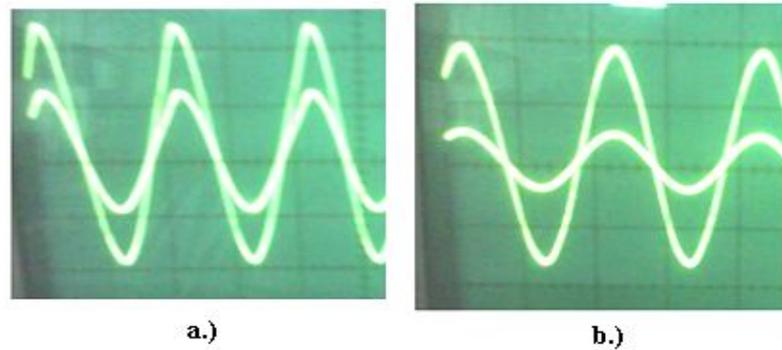
##### 4.1.1 Osilator Tipe Colpitts

Eksperimen yang telah dilakukan oleh penulis mengenai rangkaian amplifier tipe *Common-Collector* dan resonator tipe Colpitts dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1,



**Gambar 4.1** a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator tipe Colpitts

memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 sebagai berikut,



**Gambar 4.2** Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.2 bahwa sinyal yang keluar pada amplifier tipe *Common-Collector* dan resonator tipe Colpitts tidak mengalami pergeseran fase. Pada percobaan mengenai karakteristik amplifier tipe *Common-Collector* memberikan hasil perhitungan sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{4K\Omega}{4K\Omega + 25\Omega} = 0.99$$

Eksperimen:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{19.5mV}{19.8mV} = 0.98$$

Lalu, pada percobaan mengenai karakteristik resonator tipe Colpitts memberikan hasil sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{(1.5 + 1.5)nF}{1.5nF} = 2$$

Eksperimen:

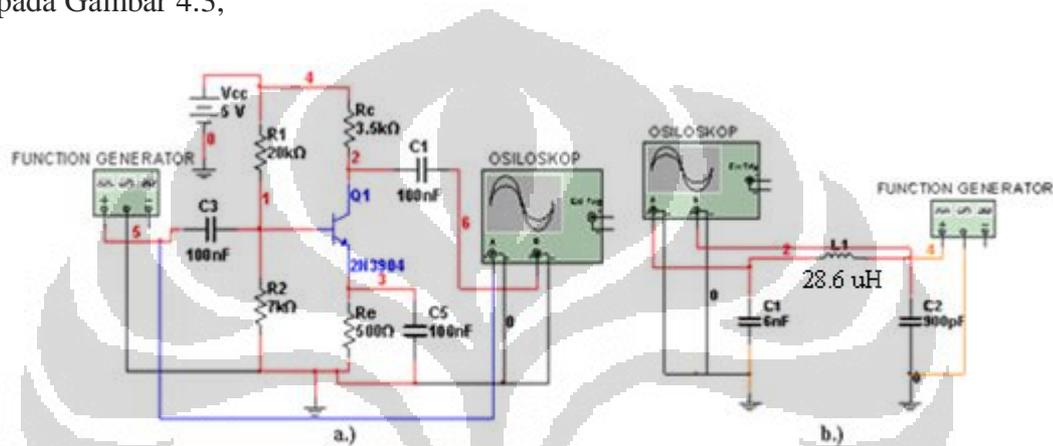
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1.75V}{0.66V} = 2.65$$

Besar *gain* yang dihasilkan oleh resonator yaitu 2.65 pada eksperimen dimana nilainya lebih besar dari 1. Sedangkan *gain* yang dihasilkan oleh amplifier yaitu mendekati 1. Dari hasil eksperimen tersebut dapat disimpulkan bahwa resonator tipe Colpitts menggunakan amplifier tipe *Common-Collector* yaitu untuk

memberikan umpan balik positif tanpa menggeser fase pada resonator yang digunakan oleh amplifier tersebut, dan untuk membatasi amplitudo sinyal yang keluar dari resonator sehingga keluarannya menjadi stabil.

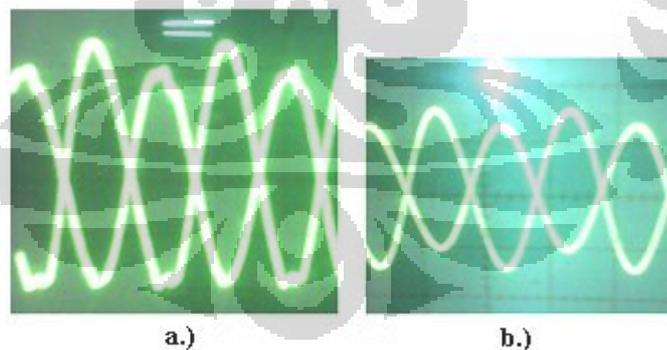
#### 4.1.2 Osilator Tipe Pierce

Eksperimen selanjutnya yaitu mengenai rangkaian amplifier tipe *Common-Emitter* dan resonator tipe Pierce dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3,



**Gambar 4.3** a.) Amplifier Tipe *Common-Emitter* dan b.) Resonator tipe Pierce

Dari eksperimen tersebut didapat hasil sebagai berikut,



**Gambar 4.4** Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe *Common-Emitter* dan b.) Resonator tipe Pierce

Terlihat pada Gambar 4.4 bahwa sinyal keluaran pada amplifier dan resonatornya mengalami pergeseran fase sebesar  $180^{\circ}$ . Besar *gain* dari rangkaian amplifiernya adalah sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_C}{r_e} = \left| -\frac{3.5K\Omega}{25\Omega} \right| = 140$$

Eksperimen:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \left| -\frac{1.78V}{0.02V} \right| = 89$$

Sedangkan pada resonatornya memberikan besar *gain* sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{C_2}{C_1} = \left| -\frac{900pF}{6nF} \right| = 0.15$$

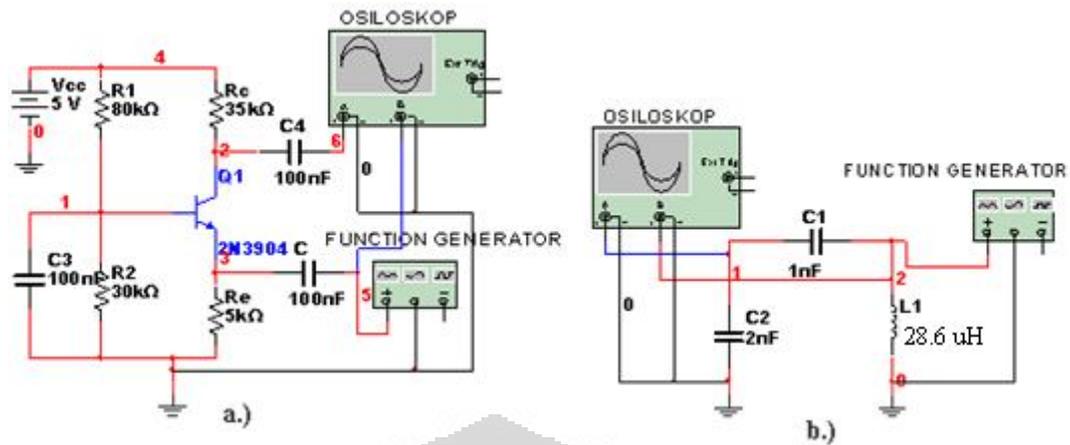
Eksperimen:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \left| -\frac{0.15V}{0.86V} \right| = 0.17$$

Dari hasil perhitungan, besar *gain* yang dihasilkan oleh resonatornya yaitu 0.17 pada eksperimen dimana nilainya lebih kecil dari 1. Besar *gain* tersebut memiliki tanda negatif yang berarti terjadi pergeseran fase sebesar  $180^0$  antara sinyal masukan dan keluaran. Sedangkan *gain* yang dihasilkan oleh amplifier yaitu lebih besar dari 1. Selain itu, amplifier tipe ini juga memiliki karakteristik yaitu menggeser fase sebesar  $180^0$  antara sinyal masukan dan keluaran. Dari hasil eksperimen tersebut dapat disimpulkan bahwa resonator tipe Pierce menggunakan amplifier tipe *Common-Emitter* yaitu untuk memberikan umpan balik positif dengan menggeser fase sebesar  $180^0$  pada resonator yang digunakan oleh amplifier tersebut sehingga sinyalnya diperbesar, dan untuk menguatkan sinyal yang keluar dari resonator sekaligus membatasi amplitudonya sehingga menjadi stabil.

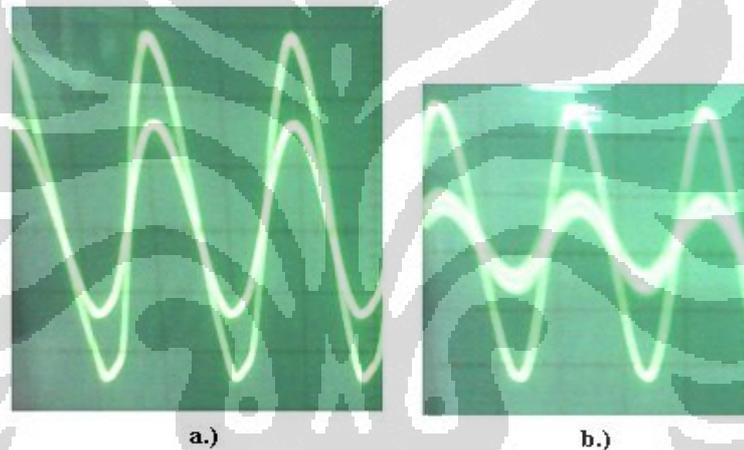
#### 4.1.3 Osilator Tipe Clapp

Eksperimen yang terakhir yaitu mengenai rangkaian amplifier tipe *Common-Base* dan resonator tipe Clapp dengan konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5,



**Gambar 4.5** a.) Amplifier Tipe *Common-Base* dan b.) Resonator tipe Clapp

Dari eksperimen tersebut memberikan hasil sebagai berikut,



**Gambar 4.6** Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe *Common-Base* dan b.) Resonator tipe Clapp

Terlihat pada Gambar 4.6 bahwa sinyal yang keluar pada amplifier tipe *Common-Base* dan resonator tipe Clapp tidak mengalami pergeseran fase. Pada percobaan mengenai karakteristik amplifier tipe *Common-Base* memberikan hasil perhitungan sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_C}{r_e} = \frac{35K\Omega}{250\Omega} = 140$$

Eksperimen:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1.75V}{0.019V} = 92.1$$

Untuk eksperimen mengenai resonatornya memberikan hasil sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{1nF}{(1+2)nF} = 0.33$$

Eksperimen:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{0.28V}{0.87V} = 0.32$$

Dari hasil eksperimen, besar *gain* yang dihasilkan oleh resonator yaitu 0.32 dimana nilainya lebih kecil dari 1. Sedangkan besar *gain* yang dihasilkan oleh amplifiler yaitu lebih besar dari 1. Dari hasil eksperimen tersebut dapat disimpulkan bahwa resonator tipe Clapp menggunakan amplifiler tipe *Common-Base* yaitu untuk memberikan umpan balik positif tanpa menggeser fase pada resonator yang digunakan oleh amplifiler tersebut agar sinyalnya diperbesar, dan untuk menguatkan sinyal yang keluar dari resonator sekaligus membatasi amplitudonya sehingga keluarannya menjadi stabil.

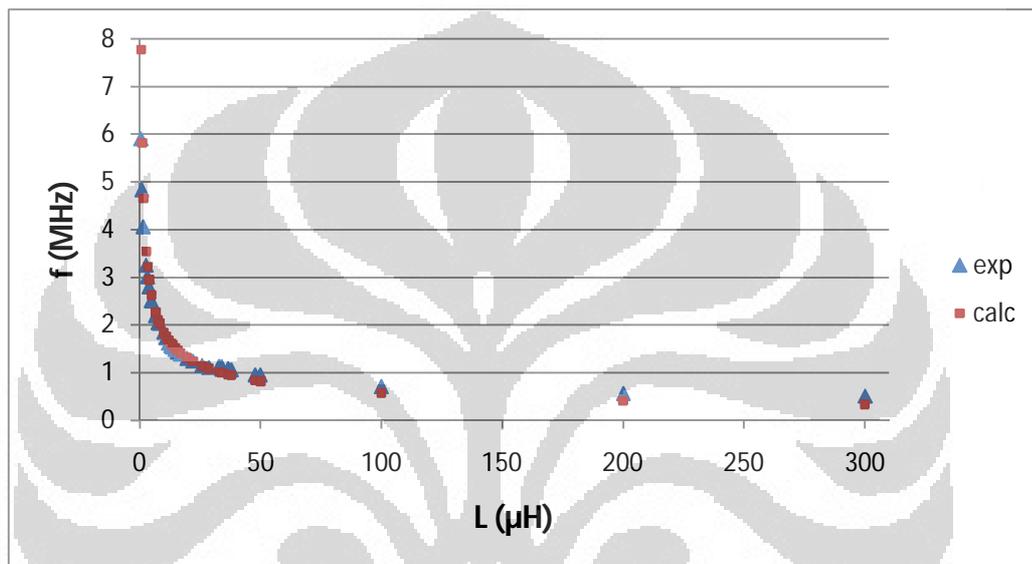
Setelah membahas karakteristik dari masing – masing tipe osilator, selanjutnya yaitu membahas mengenai rangkaian osilator yang diaplikasikan sebagai sensor induktif dan kapasitif. Berikut ini akan dibahas mengenai osilator sensor.

#### 4.2 Karakteristik Osilator-Sensor Induktif dan Kapasitif

Eksperimen ini dilakukan dengan cara memvariasikan nilai induktor L dan kapasitor C<sub>1</sub> atau C<sub>2</sub>. Setiap melakukan variasi salah satu nilai komponen, nilai komponen yang lain dibuat tetap. Variasi nilai dari setiap komponen tersebut akan menghasilkan respon frekuensi yang berbeda, sehingga didapatkan perubahan frekuensi terhadap perubahan nilai komponen.

#### 4.2.1 Osilator-Sensor Tipe Colpitts

Pada eksperimen ini, penulis melakukan variasi nilai induktor dan kapasitor pada resonator dari rangkaian osilator tipe Colpitts yang kemudian akan mempengaruhi respon frekuensinya. Pada percobaan yang pertama, penulis melakukan variasi nilai induktor pada resonatornya. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor sebagai berikut,



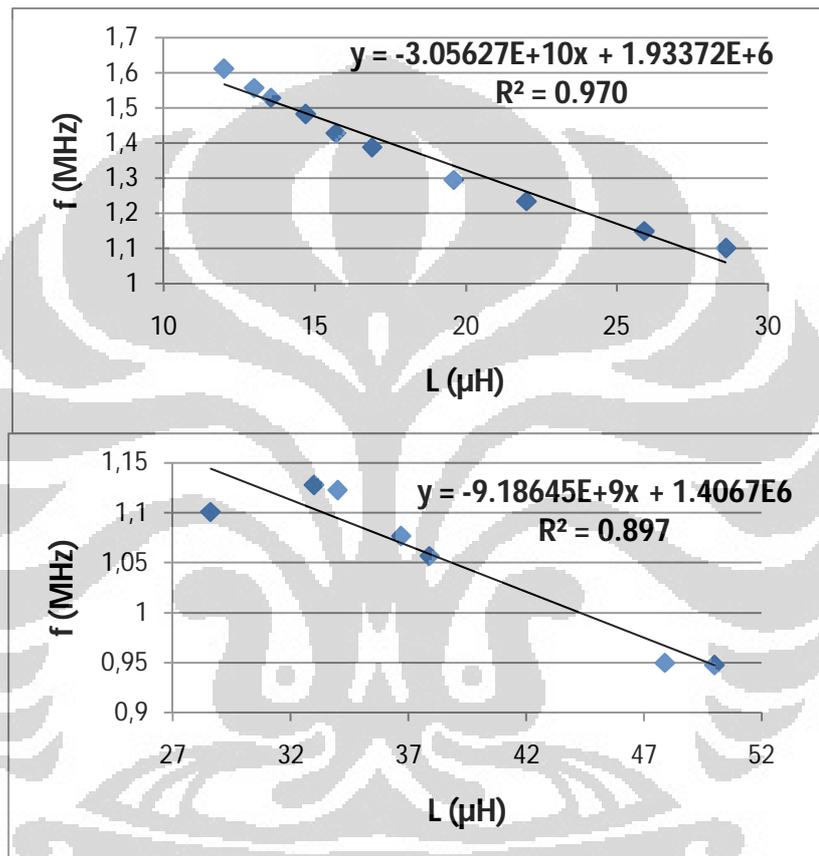
**Gambar 4.7** Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts

Pada Gambar 4.7, penulis memasukkan data teori (calc) dan eksperimen (exp) untuk membandingkan hasil respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor. Terlihat bahwa hasil eksperimen yang telah didapat hampir mendekati hasil teori. Dari hasil eksperimen tersebut, tidak semua *range* dapat digunakan sebagai sensor. Penulis mengambil beberapa *range* dari nilai induktor nominal yaitu 28.6 μH, sehingga didapat linieritas yang baik.

Untuk menentukan linieritas yang baik, penulis mengamati dan membandingkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari grafik yang telah ditentukan *range* nya. Setelah itu, *range* yang akan diambil untuk langkah awal yaitu yang memiliki nilai koefisien korelasi mendekati 1. Nilai koefisien korelasi yang terdapat pada grafik menunjukkan sifat linieritas dari grafiknya. Berikut persamaan  $R^2$  yang digunakan untuk menentukan sifat linieritas grafiknya,

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

Setelah penulis menentukan *range* yang akan digunakan, penulis membandingkan nilai koefisien korelasinya yang lebih mendekati 1 dan mengambilnya untuk dibandingkan dengan osilator tipe lainnya.



**Gambar 4.8** Grafik Variasi Induktor L yang Mendekati Linier pada Tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.8 bahwa penulis mengambil grafik pada *range* tertentu untuk mencari grafik yang memiliki sifat linieritas yang cukup baik. Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa nilai  $R^2$  yang lebih mendekati 1 yaitu pada grafik pertama dimana nilai koefisien korelasinya yaitu 0.97, sedangkan pada grafik kedua nilainya yaitu 0.897. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan sifat linieritas yang baik, penulis menggunakan grafik yang pertama karena nilai koefisien korelasinya mendekati 1 yang mengindikasikan bahwa sifat linieritasnya cukup baik. *Range* perubahan induktansi pada grafik pertama yaitu (12 – 28.6) μH

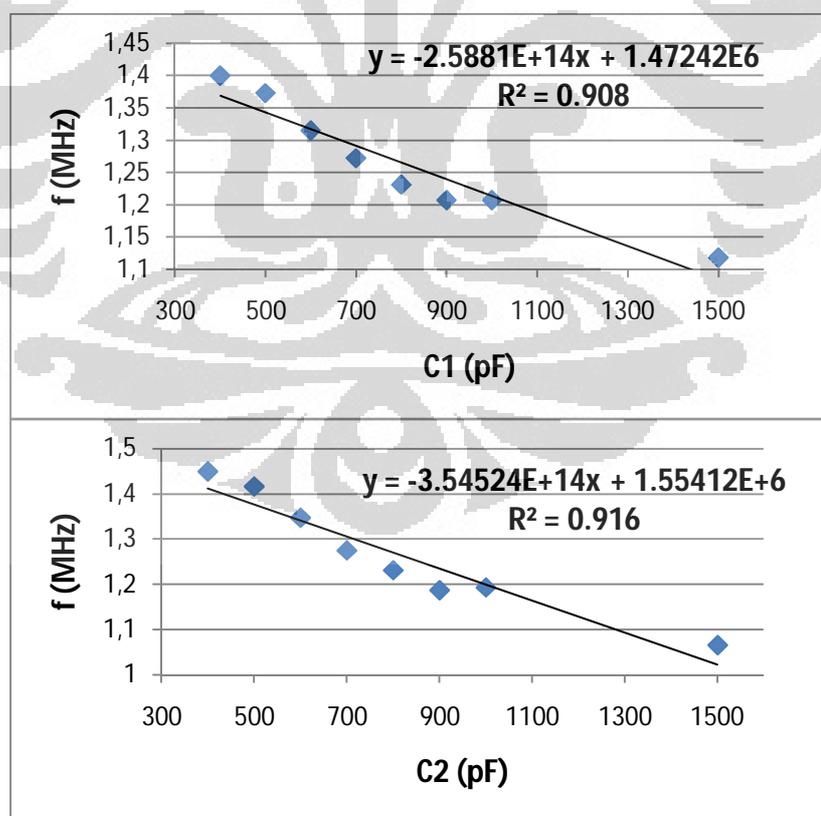
dan perubahan frekuensinya yaitu (1.612 – 1.101) MHz. Sensitivitas yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik pertama. Berikut penurunannya,

$$y = -3.05627E + 10x + 1.93372E + 6$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\Delta f}{\Delta L} = -3.05627E + 10 \frac{Hz}{H} = -30.6 \frac{KHz}{\mu H} \quad (4.2)$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -30.6 KHz/μH yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 μH, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 30.6 KHz.

Selanjutnya yaitu mengenai hasil variasi nilai kapasitor akan dibahas dengan menggunakan metode yang sama saat membahas variasi nilai induktor. Ada 2 kapasitor yang akan divariasikan pada resonator yaitu pada C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>. Masing – masing kapasitor sudah dilakukan perbandingan awal melalui nilai koefisien korelasinya, sehingga hanya membandingkan grafik pada kapasitor C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>. Berikut grafik dari kapasitor C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>,



**Gambar 4.9** Grafik Variasi Kapasitor C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> yang Mendekati Linier pada Tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.9 bahwa nilai koefisien korelasi pada kapasitor C2 lebih mendekati 1 pada kapasitor C<sub>2</sub> yaitu bernilai 0.916. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan linieritas yang cukup baik saat memvariasikan nilai kapasitor pada tipe Colpitts, dapat menggunakan transduser pada kapasitor C<sub>2</sub>. *Range* yang diperoleh pada daerah ini yaitu pada perubahan kapasitif sekitar (400 – 1500) pF dan pada perubahan frekuensi sekitar (1.449 – 1.066) MHz. Sensitivitasnya yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* nya. Berikut nilai sensitivitasnya,

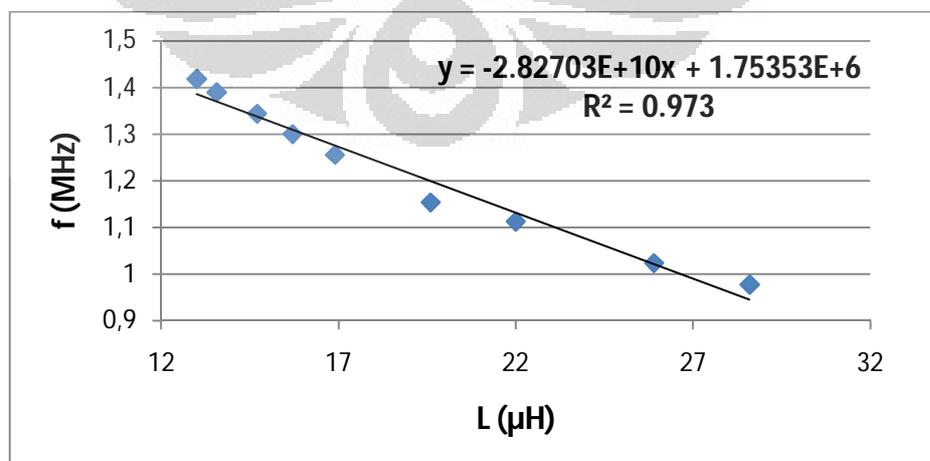
$$y = -3.54524E+14x + 1.55412E+6$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\Delta f}{\Delta C} = -3.54524E+14 \frac{Hz}{F} = -0.35 \frac{KHz}{pF} \quad (4.3)$$

Terlihat didapat nilai sensitivitasnya yaitu -0.35 KHz/pF yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan nilai kapasitansi sebesar 1 pF, maka frekuensinya akan turun sebesar 0.35 KHz.

#### 4.2.2 Osilator-Sensor Tipe Pierce

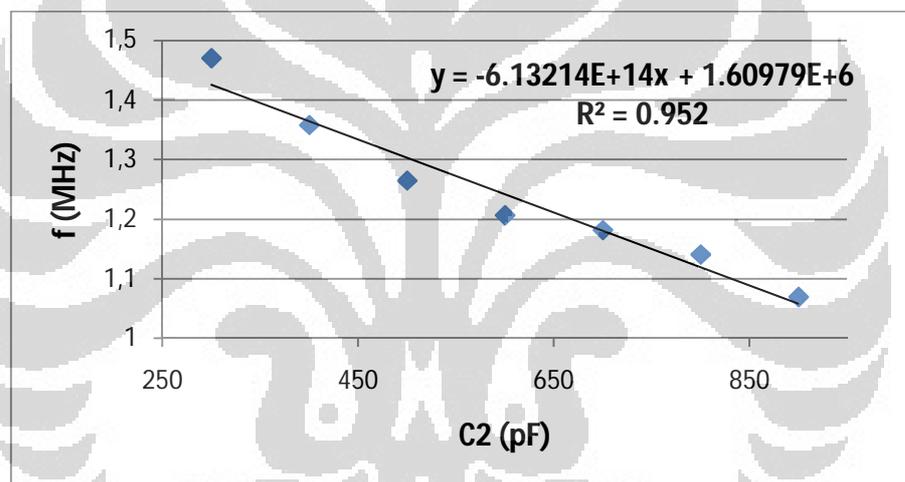
Percobaan selanjutnya yaitu memvariasikan nilai induktor dan kapasitor pada osilator tipe Pierce. Metode yang dilakukan pada percobaan ini sama seperti sebelumnya yaitu memilih grafik yang memiliki linieritasnya cukup baik dengan membandingkan nilai koefisien korelasinya yang nilainya lebih mendekati 1. Berikut adalah grafik variasi nilai induktor yang telah ditentukan *range* nya dengan membandingkan nilai koefisien korelasinya,



**Gambar 4.10** Grafik Variasi Induktor L yang Mendekati Linier pada Tipe Pierce

Terlihat pada Gambar 4.10 bahwa nilai koefisien korelasinya mendekati 1 yaitu 0.973 yang mengindikasikan bahwa grafik tersebut hampir mendekati garis liniernya. *Range* perubahan induktansinya yaitu sekitar (13 – 28.6)  $\mu\text{H}$  dan perubahan frekuensinya yaitu sekitar (1.418 – 0.978) MHz. Metode yang digunakan untuk mendapatkan sensitivitas sama seperti sebelumnya yaitu turunan pertama dari persamaan *fitting* nya. Nilai sensitivitasnya yaitu -28 KHz/ $\mu\text{H}$ . Sensitivitasnya bernilai negatif seperti yang telah dibahas sebelumnya yaitu setiap kenaikan 1  $\mu\text{H}$ , maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 28 KHz.

Selanjutnya yaitu mengenai hasil variasi nilai kapasitansi pada tipe Pierce. Setelah dilakukan perbandingan pada nilai koefisien korelasinya, maka didapat grafiknya sebagai berikut,

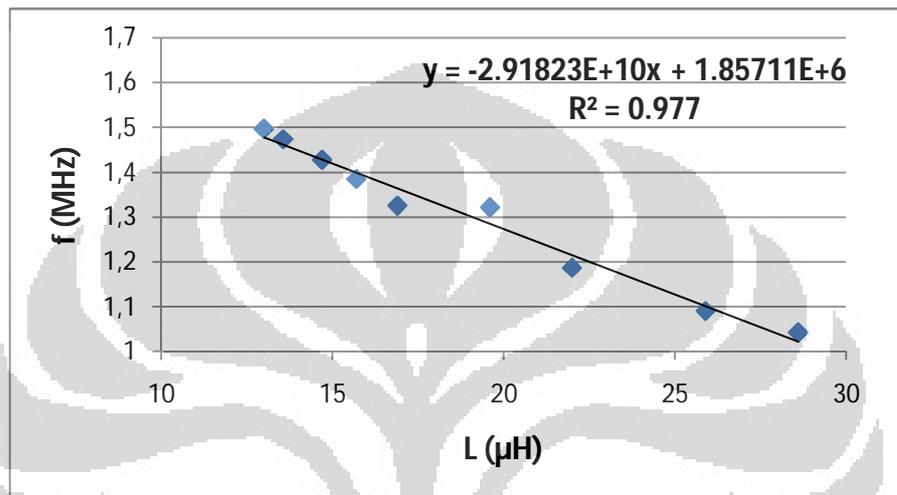


**Gambar 4.11** Grafik Variasi Kapasitor  $C_2$  yang Mendekati Linier pada Tipe Pierce

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai koefisien korelasinya yaitu 0.952. Nilai tersebut cukup mendekati 1. Besar *range* perubahan nilai kapasitansinya yaitu (300 – 900) pF dan perubahan frekuensinya yaitu (1.47 – 1.07) MHz. Nilai sensitivitas yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik. Nilainya yaitu -0.61 KHz/pF. Nilai sensitivitas ini menjelaskan bahwa setiap kenaikan 1 pF, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 0.61 KHz.

### 4.2.3 Osilator-Sensor Tipe Clapp

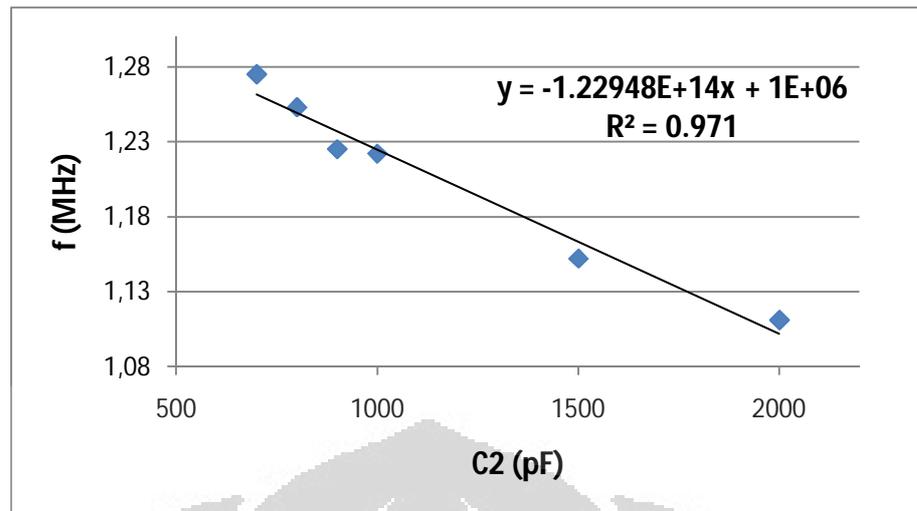
Selanjutnya yaitu memvariasikan nilai induktor dan kapasitor pada osilator tipe Clapp. Metode yang digunakan pada percobaan ini sama seperti sebelumnya yaitu membandingkan nilai koefisien korelasinya yang lebih mendekati 1. Pada percobaan pertama yaitu mendapatkan grafik dari hasil variasi nilai induktor pada tipe Clapp. Berikut grafiknya,



**Gambar 4.12** Grafik Variasi Induktor L yang Mendekati Linier pada Tipe Clapp

Terlihat bahwa nilai koefisien korelasinya yaitu 0.977. Nilai tersebut hampir mendekati 1 sehingga dapat dikatakan bahwa linieritasnya cukup baik. Dari grafik tersebut didapat *range* perubahan nilai induktansinya yaitu sekitar (13 – 28.6) μH dan perubahan frekuensinya yaitu sekitar (1.497 – 1.043) MHz. Nilai sensitivitasnya yaitu -29 KHz/μH. Nilai sensitivitas yang didapat menjelaskan bahwa setiap kenaikan 1 μH, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 29 KHz.

Selanjutnya yaitu mengenai hasil variasi nilai kapasitor pada tipe Clapp. Berikut grafik yang didapat setelah dibandingkan nilai koefisien korelasinya yang memiliki sifat linieritas cukup baik,



**Gambar 4.11** Grafik Variasi Kapasitor  $C_2$  yang Mendekati Linier pada Tipe Clapp

Terlihat bahwa nilai koefisien korelasinya yaitu 0.971. Nilai tersebut mendekati 1 sehingga dapat dikatakan bahwa linieritasnya cukup baik. Dari grafik tersebut didapat *range* perubahan kapasitansi yaitu sekitar (700 – 2000) pF dan perubahan frekuensinya yaitu sekitar (1.275 – 1.111) MHz. Sensitivitas yang didapat yaitu - 0.12 KHz/pF. Nilai sensitivitas tersebut menjelaskan bahwa setiap kenaikan nilai kapasitansi sebesar 1 pF, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 0.12 KHz.

#### 4.2.4 Perbandingan Karakteristik Sensor

Setelah mendapatkan hasil mengenai karakteristik dari setiap tipe rangkaian osilator-sensor dengan memvariasikan nilai induktor dan kapasitor, maka hasil tersebut akan dibandingkan untuk mendapatkan karakteristik sensor yang baik. Berikut akan dibahas mengenai karakteristik dari setiap tipe rangkaian osilator yang difungsikan sebagai sensor induktif dan kapasitif.

##### 4.2.4.1 Osilator-Sensor Induktif

Berikut adalah hasil dari variasi nilai induktor pada setiap tipe osilator setelah diamati berdasarkan linieritasnya dengan membandingkan nilai koefisien korelasinya yang mendekati 1.

**Tabel 4.1** Karakteristik Osilator sebagai Sensor Induktif

	Sensitivitas ( $\Delta f/\Delta L$ ) (KHz/ $\mu$ H)	Range ( $\Delta L$ ) ( $\mu$ H)	Range ( $\Delta f$ ) (MHz)	Linieritas ( $R^2$ )
Colpitts	-30.6	12 – 28.6	1.612 – 1.101	0.97
Pierce	-28	13 – 28.6	1.418 – 0.978	0.973
Clapp	-29	13 – 28.6	1.497 – 1.043	0.977

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa setiap tipe osilator memiliki nilai sensitivitas, *range*, dan linieritas yang berbeda. Nilai koefisien korelasi pada setiap tipe osilator memiliki perbedaan yang tidak cukup jauh. Jadi, untuk mempermudah dalam menentukan karakteristik sensor yang baik, maka dapat dilihat dari sensitivitas dan *range*. Jika dibandingkan dari nilai sensitivitasnya, osilator tipe Colpitts memiliki nilai sensitivitas yang lebih besar dibandingkan tipe yang lainnya yaitu sekitar -30.6 KHz/ $\mu$ H. Jadi, dapat disimpulkan bahwa karakteristik sensor induktif yang cukup baik terdapat pada osilator tipe Colpitts pada *range* perubahan induktansi sekitar (12 – 28.6)  $\mu$ H.

Untuk osilator tipe lainnya juga masih dapat digunakan sebagai sensor induktif, namun karakteristiknya tidak sebaik pada tipe Colpitts. Terlihat bahwa pada tipe Pierce dan Clapp memiliki *range* perubahan nilai induktor yang sama. Namun, pada tipe Clapp nilai sensitivitasnya lebih besar daripada tipe Pierce yaitu sekitar -29 KHz/ $\mu$ H, sedangkan pada tipe Pierce yaitu -28 KHz/ $\mu$ H.

Terlihat pada Tabel 4.1 bahwa *range* perubahan induktansinya hampir sama yaitu sekitar (12 – 28.6)  $\mu$ H. Jadi, dalam penentuan karakteristik sensor induktif yang baik dapat membandingkan nilai sensitivitasnya saja.

#### 4.2.4.2 Osilator-Sensor Kapasitif

Berikut adalah hasil dari variasi nilai kapasitor pada setiap tipe osilator setelah diamati berdasarkan linieritasnya.

**Tabel 4.2** Karakteristik Osilator sebagai Sensor Kapasitif

	Sensitivitas ( $\Delta f/\Delta C$ ) (KHz/pF)	Range ( $\Delta C$ ) (pF)	Range ( $\Delta f$ ) (MHz)	Linieritas ( $R^2$ )	Keterangan
Colpitts	-0.35	400-1500	1.449-1.066	0.916	Baik pada <i>range</i> (400-1500) pF
Pierce	-0.61	300-900	1.47 – 1.07	0.952	Baik pada <i>range</i> (300-900) pF
Clapp	-0.12	700-2000	1.275-1.111	0.971	Baik pada <i>range</i> (700-2000) pF

Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa nilai koefisien korelasinya yang mengindikasikan linieritas dari ketiga tipe osilator berbeda. Terlihat pada Tabel 4.2 bahwa nilai koefisien korelasinya yang lebih mendekati 1 yaitu pada tipe Clapp. Nilai koefisien korelasinya yaitu 0.971. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan karakteristik sensor kapasitif dengan linieritas yang cukup baik, maka dapat menggunakan transduser kapasitif pada tipe Clapp. *Range* perubahan kapasitif yang didapat yaitu sekitar (700 – 2000) pF dan perubahan frekuensinya yaitu sekitar (1.275 – 1.111) MHz. Sensitivitasnya yaitu -0.12 KHz/pF.

Untuk osilator tipe lainnya juga masih dapat digunakan sebagai sensor kapasitif, namun karakteristiknya tidak sebaik tipe Clapp. Pada tipe Pierce terlihat bahwa nilai koefisien korelasinya lebih besar daripada tipe Colpitts, namun *range* dari kedua tipe osilator tersebut berbeda. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan karakteristik sensor kapasitif dengan linieritas yang cukup baik antara Colpitts dan Pierce, maka dapat menggunakan tipe Pierce dengan koefisien korelasinya yaitu 0.952 yang mengindikasikan linieritasnya cukup baik. *Range* perubahan nilai kapasitansinya yaitu sekitar (300 – 900) pF dan perubahan frekuensinya yaitu sekitar (1.47 – 1.07) MHz. Nilai sensitivitasnya yaitu -0.61 KHz/pF. Tipe Colpitts juga dapat digunakan untuk sensor kapasitif pada *range* (400 – 1500) pF dengan nilai sensitivitasnya yaitu -0.35 KHz/pF.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari yang telah dilakukan oleh penulis mengenai eksperimen osilator sensor tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini.

1. Karakteristik Rangkaian Osilator LC:
  - a) Pada tipe Colpitts, nilai penguatan (*gain*) pada *amplifier CC* dan resonatornya yaitu 0.98 dan 2.65. Colpitts menggunakan *amplifier CC* yaitu untuk membatasi amplitudo sinyal dari resonatornya yang memiliki gain lebih besar dari 1. Selain itu, untuk mendapatkan umpan balik positif tanpa menggeser fase resonatornya.
  - b) Pada tipe Pierce, nilai penguatan pada *amplifier CE* dan resonatornya yaitu -89 dan -0.17. Tipe Pierce menggunakan *amplifier CE* yaitu untuk menguatkan amplitudo sinyal dari resonatornya yang memiliki gain lebih kecil dari 1. Selain itu, untuk mendapatkan umpan balik positif dengan menggeser fase resonatornya sebesar  $180^0$ .
  - c) Pada tipe Clapp, nilai *amplifier CB* dan resonatornya yaitu 92.1 dan 0.32. Tipe Clapp menggunakan *amplifier CB* yaitu untuk menguatkan amplitudo sinyal dari resonatornya yang memiliki gain lebih kecil dari 1. Selain itu, untuk mendapatkan umpan balik positif tanpa menggeser fase resonatornya.
2. Untuk mendapatkan karakteristik osilator-sensor induktif yang baik, dapat menggunakan transduser induktor L pada osilator tipe Colpitts:
  - a) *Range* perubahan nilai induktor = (12 – 28.6)  $\mu\text{H}$
  - b) *Range* perubahan frekuensi = (1.612 – 1.101) MHz
  - c) Respon frekuensi (sensitivitas) = -30.6 KHz/ $\mu\text{H}$

3. Untuk mendapatkan karakteristik osilator-sensor kapasitif, dapat menggunakan transduser kapasitor  $C_2$  pada tipe osilator sebagai berikut:

#### Colpitts

- Range* perubahan nilai kapasitor = (400 – 1500) pF
- Range* perubahan frekuensi = (1.449 – 1.066) MHz
- Respon frekuensi (sensitivitas) = -0.35 KHz/pF

#### Pierce

- Range* perubahan nilai kapasitor = (300 – 900) pF
- Range* perubahan frekuensi = (1.47 – 1.07) MHz
- Respon frekuensi (sensitivitas) = -0.61 KHz/pF

#### Clapp

- Range* perubahan nilai kapasitor = (700 – 2000) pF
- Range* perubahan frekuensi = (1.275 – 1.111) MHz
- Respon frekuensi (sensitivitas) = -0.12 KHz/pF

## 5.2 Saran

Berikut adalah saran yang sekiranya dapat membangun penelitian ini untuk lebih baik lagi.

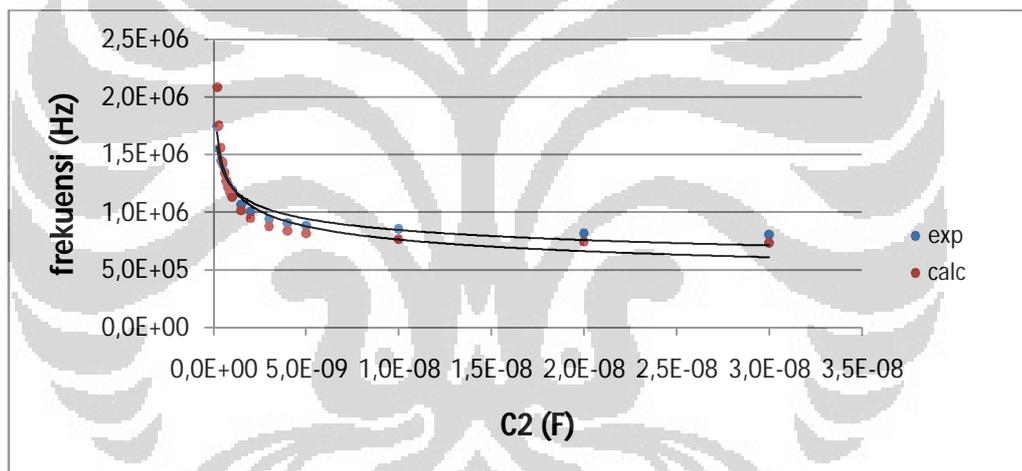
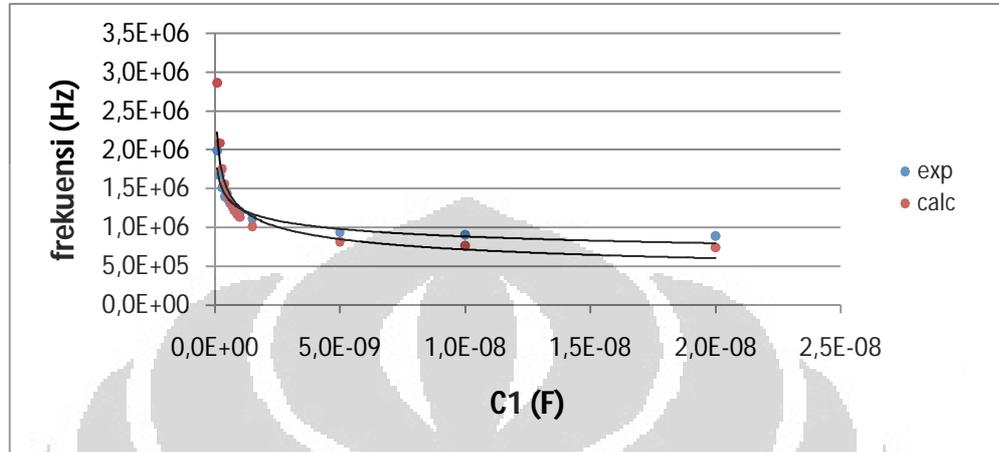
- Ketersediaan alat ukur yang lebih lengkap untuk membantu penelitian ini.
- Mengaplikasikan osilator-sensor ini untuk mengukur bermacam – macam besaran fisika.
- Penggunaan IC op – amp atau transistor FET untuk memvariasikan komponen aktifnya.
- Studi perbandingan terhadap osilator tipe lainnya.

## DAFTAR ACUAN

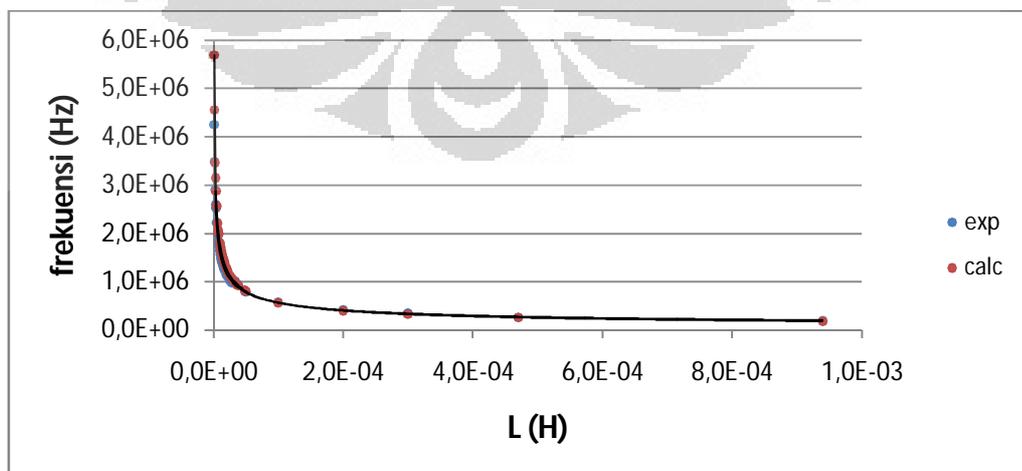
- [1] **Gonzalez, Guillermo.** *Foundations of Oscillator Circuit Design.* [ed.] Yekaterina Ratner. London : Artech House, 2007.
- [2] **Gilmore, Rowan.** *Practical RF Circuit Design for Modern Wireless System.* [ed.] Yekaterina Ratner and Darrell Judd. London : Artech House, 2003. Vol. 2.
- [3] **E., Irving M. Gottlieb P.** *Practical Oscillator Handbook.* Oxford : A Division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997.
- [4] *Fairchild Semiconductor Corporation.* [Online] 2001. [Cited: Desember 4, 2009.] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/2N3904.pdf>.
- [5] **Herman, R. L.** *An Introduction to Mathematical Physics via Oscillations.* 2006.
- [6] **Pota, H R.** Analysis of Common-Collector Colpitts Oscillator. May 20, 2005, p. 2.
- [7] **Malvino, Albert Paul.** *Electronic Principles.* 6th Edition. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1999.
- [8] **Rhea, Randall W.** *Oscillator Design & Computer Simulation.* [ed.] Crawford Patterson. 2nd. Atlanta : Noble Publishing Corporation, 1995.
- [9] **Soekirno, Santoso.** *Parametres De Reglare De La Frequence D'Un Oscillateur-Capteur. Etude De Dispositives LC (These).* Besancon : s.n., Juni 26, 1995.
- [10] **Tanjung, Taqwa.** *Studi Karakteristik Resonator LC dan Amplifier BJT pada Rangkaian Osilator Tipe Colpitts Sebagai Pengkondisi Sinyal (Skripsi Sarjana).* Depok : s.n., Juni 24, 2010.
- [11] **Serway, Raymond A. dan Jewett, John W.** *Physics for Scientists and Engineers.* 6th Edition. s.l. : Thomson Brooks/Cole, 2004.
- [12] **Horowitz, Paul dan Hill, Winfield.** *The Art Of Electronics.* 2nd Edition. Cambridge : Cambridge University Press, 1994.
- [13] **Rogers, John dan Calvin Plett.** *Radio Frequency Integrated Circuit Design.* London : Artech House, Inc., 2003.
- [14] *A CMOS MEMS Thermal Sensor.* **Tseng, S. H., et al.** s.l. : IEEE, 2008. IEEE SENSORS 2008 Conference. hal. 387-390.

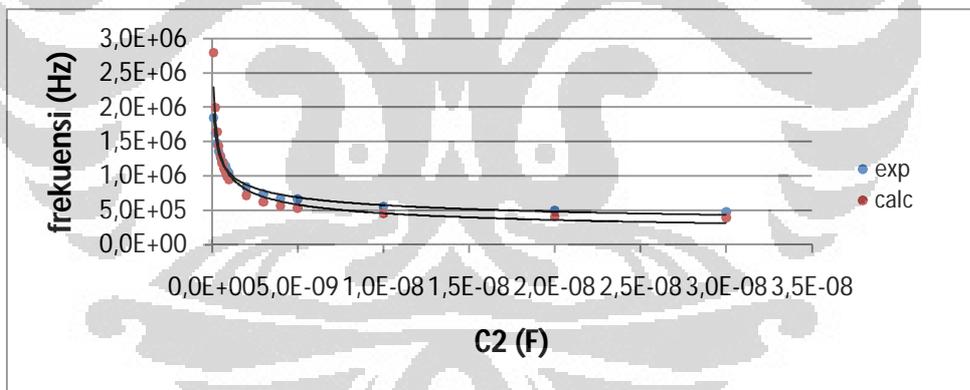
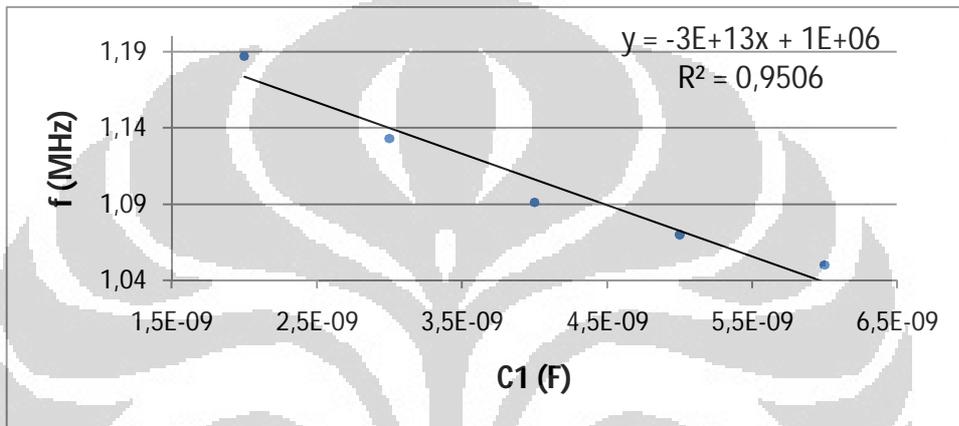
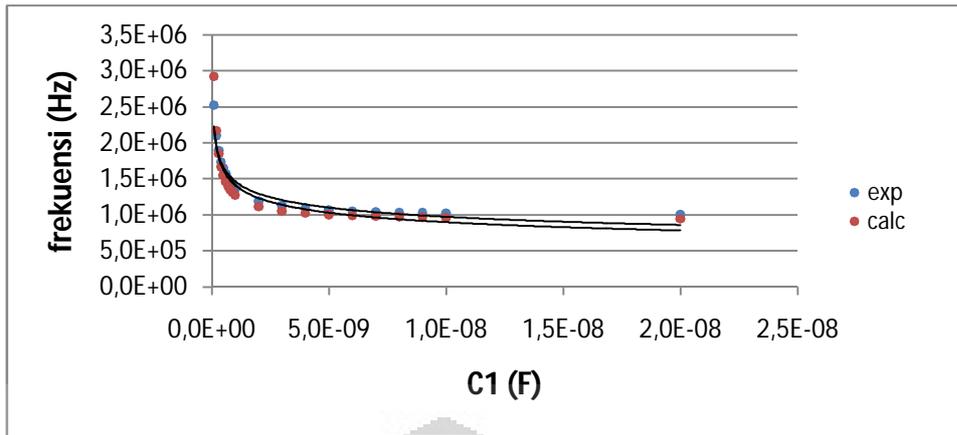
## LAMPIRAN

Tipe Colpitts:



Tipe Pierce:





Tipe Clapp:

