



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK RANGKAIAN
OSILATOR TIPE COLPITTS DAN HARTLEY UNTUK
PENGKONDISI SINYAL SENSOR INDUKTIF DAN
KAPASITIF**

SKRIPSI

FERDIANSYAH

0706262331

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK RANGKAIAN
OSILATOR TIPE COLPITTS DAN HARTLEY UNTUK
PENGKONDISI SINYAL SENSOR INDUKTIF DAN
KAPASITIF**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

FERDIANSYAH

0706262331

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ferdiansyah

NPM : 0706262331

Tanda tangan :



Tanggal : 11 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ferdiansyah
NPM : 0706262331
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Judul Skripsi : Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts dan Hartley 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 : Dr. Prawito ()

Penguji II : Dr. Cuk Imawan ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT atas limpahan hidayah, taufik, dan keberkahan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat merampungkan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya hingga akhir zaman. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dorongan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus - tulusnya kepada:

1. Mamah dan papah, yang dengan susah payah berjuang untuk anak tercintanya, dan telah bersabar dalam memberikan dukungan materil dan non materil serta doa dan ridhonya yang sangat diharapkan oleh penulis. Terima kasih juga untuk adikku tersayang Non dan Ila yang selalu memberi semangat kepada kakak tersayangnya.
2. Dr. Santoso selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam segala hal, baik dalam ilmu pengetahuan, nasehat, dorongan dan juga semangat.
3. Dr. Prawito selaku penguji I dan Dr. Cuk Imawan selaku penguji II yang telah banyak membantu dalam diskusi sehingga penulis dapat belajar dan menimba ilmu pengetahuan.
4. Terimakasih untuk teman-teman seperjuangan 5 tahun Imas, Wahid, Zul, Radit, Vani, Arif, Husni, Yulia, dan Rusyda yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Terimakasih untuk sahabat 4,5 tahun Ady, Deki, dan Singkop atas bantuan dan semangatnya kepada penulis.
6. Terima kasih untuk orang yang spesial bagi penulis yaitu Imas Tri

Setyadewi yang selalu memberikan doa, bantuan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. I Love You So Much...:)

7. Terima kasih untuk sahabat WS La Ode, Hendro, dan Yusuf yang membantu dan berbagi dalam proses tugas akhir ini dan teman-teman Fisika UI angkatan 2007 yang selalu bersama dan kompak dalam suka maupun duka dalam proses pembelajaran di kampus tercinta ini.
8. Terimakasih kepada seluruh staf departemen fisika yang telah melayani segala hal mengenai registrasi penulis untuk maju sidang.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas semua jasa tersebut dengan balasan yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi siapapun yang membacanya, serta dapat dikembangkan dan disempurnakan agar lebih bermanfaat untuk kepentingan orang banyak. Aamiin.

Depok, 11 Juni 2012

(Penulis)

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

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

Nama : Ferdiansyah
NPM : 0706262331
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

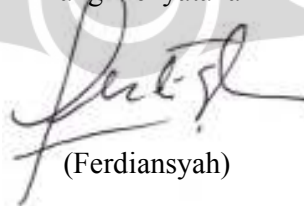
Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts dan Hartley untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif

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 : 11 Juni 2012

Yang menyatakan


(Ferdiansyah)

ABSTRAK

Nama : Ferdiansyah
Program Studi : Fisika Instrumentasi Elektronika
Judul : Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts dan Hartley untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif

Pada penelitian ini 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 dijadikan sebagai karakteristik sensor induktif dan kapasitif dalam hal sensitivitas, *range*, dan linieritas dari perubahan tersebut. Osilator yang digunakan yaitu tipe Colpitts dan Hartley, dimana setiap tipe memiliki konfigurasi resonator yang berbeda dengan amplifier yang sama. 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 $-78 \text{ kHz}/\mu\text{H}$ pada *range* perubahan induktansi $2\text{-}40 \mu\text{H}$ dan perubahan frekuensi sekitar $3.889\text{-}0.921 \text{ MHz}$. Untuk sensor kapasitif memiliki karakteristik yang baik pada tipe Hartley dengan sensitivitas yaitu $-1.983 \text{ MHz}/\text{nF}$ pada *range* perubahan kapasitansi $0.05\text{-}1.5 \text{ nF}$ dan perubahan frekuensi $3.695\text{-}0.819 \text{ MHz}$.

Kata kunci: Frekuensi, Induktif, Kapasitif, Sensor, Sensitivitas, *Range*, Linearitas, Colpitts, Hartley.

ABSTRACT

Name : Ferdiansyah
Study Program: Physics
Topic : Comparison of Characteristics of Colpitts and Hartley Type
Oscillator Circuit for Inductive and Capacitive Sensor Signal
Conditioning

In this research was 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. Oscillator circuit using 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 and Hartley. Each of type is different in resonator configuration but same in amplifier. Each of characteristic is compared which is one better. Colpitts has a good characteristic in inductive sensor with sensitivity value is $-78 \text{ kHz}/\mu\text{H}$ at inductive range $2\text{-}40 \mu\text{H}$ and frequency range is $3.889\text{-}0.921 \text{ MHz}$. For capacitive sensor, Hartley has a good characteristic with sensitivity value is $-1.983 \text{ MHz}/\text{nF}$ at capacitive range is $0.05\text{-}1.5 \text{ nF}$ and frequency range is $3.695\text{-}0.819 \text{ MHz}$.

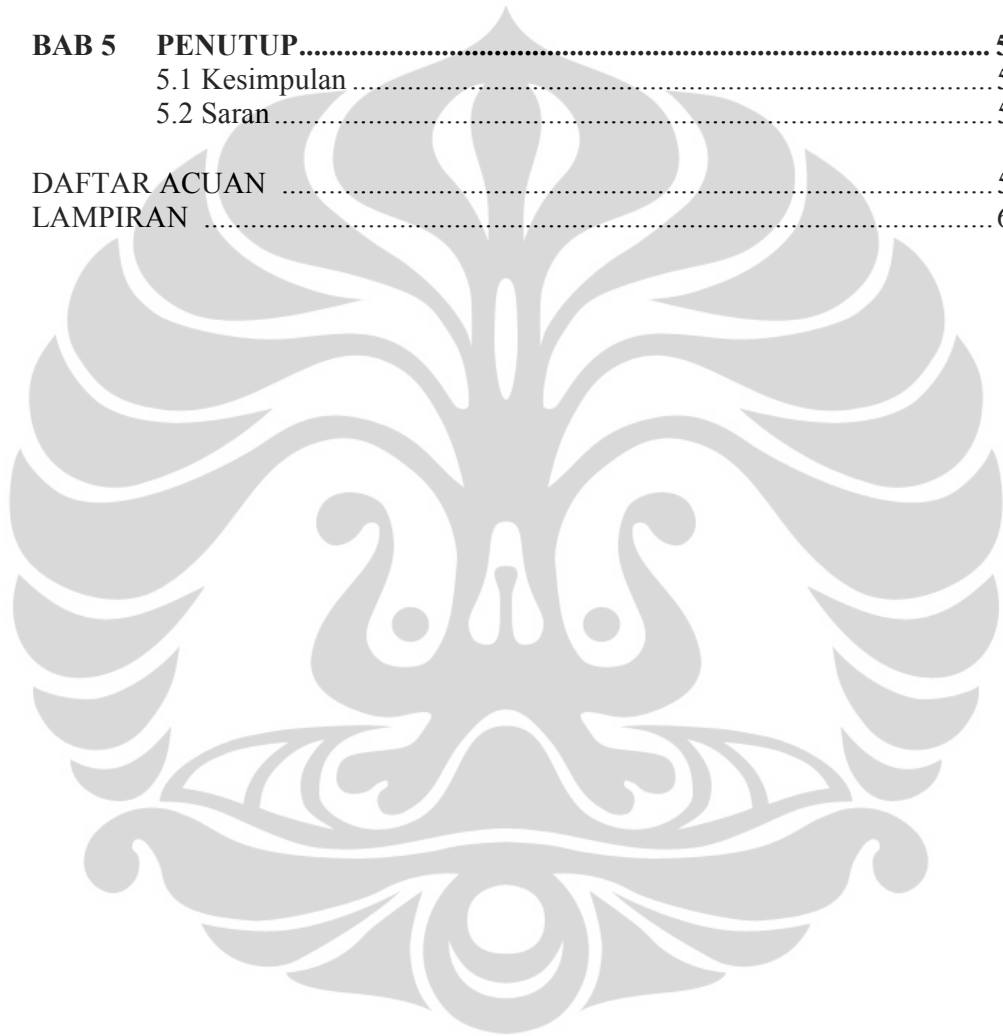
Keywords: Frequency, Inductive, Capacitive, Sensor, Sensitivity, Range, Linearity, Colpitts, Hartley.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
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.....	15
2.3.2.1 Osilator Tipe Colpitts	15
2.3.2.2 Osilator Tipe Hartley.....	19
2.4 Rangkaian Osilator-Sensor	22
2.4.1 Sensor Induktif	22
2.4.2 Sensor Kapasitif.....	23
BAB 3 PERANCANGAN DAN EKSPERIMEN OSILATOR-SENSOR..	25
3.1 Perancangan Rangkaian Osilator LC.....	25
3.1.1 Tipe Colpitts	25
3.1.2 Tipe Hartley.....	27
3.2 Eksperimen Osilator LC sebagai Sensor Induktif dan Kapasitif ...	29
3.2.1 Tipe Colpitts	30
3.2.2 Tipe Hartley.....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Karakteristik Rangkaian Osilator LC	36

4.1.1 Osilator Tipe Colpitts.....	36
4.1.2 Osilator Tipe Hartley	38
4.2 Karakteristik Osilator-Sensor Induktif dan Kapasitif.....	39
4.2.1 Osilator-Sensor Tipe Colpitts.....	40
4.2.2 Osilator-Sensor Tipe Hartley.....	47
4.2.3 Perbandingan Karakteristik Sensor.....	54
4.2.3.1 Osilator-Sensor Induktif	54
4.2.3.2 Osilator-Sensor Kapasitif	55
BAB 5 PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR ACUAN	59
LAMPIRAN	61



DAFTAR TABEL

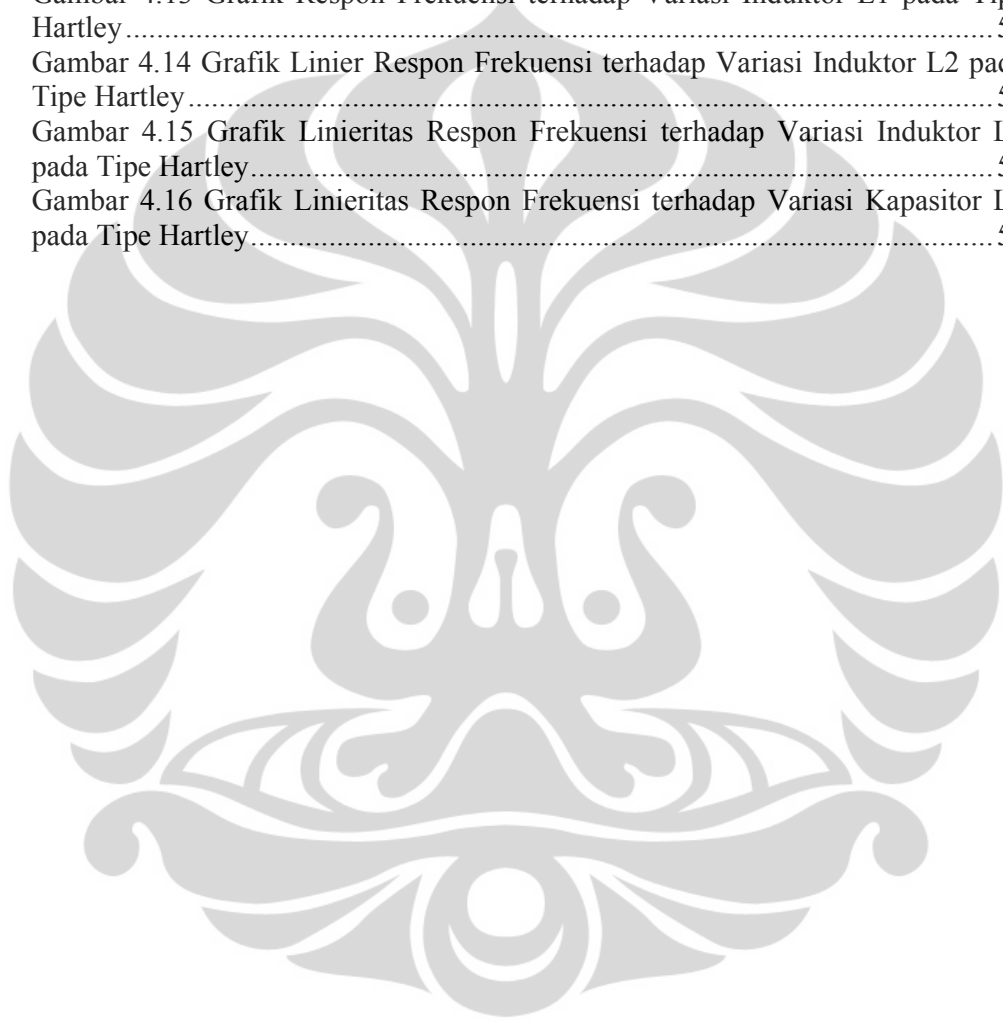
	Halaman
Tabel 4.1 Karakteristik Osilator sebagai Sensor Induktif	54
Tabel 4.2 Karakteristik Osilator sebagai Sensor Kapasitif	55



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 Kapasitor Dihubung Seri.....	11
Gambar 2.7 Kapasitor Dihubung Paralel	12
Gambar 2.8 Bentuk dari Transistor BJT tipe <i>2N3904</i>	13
Gambar 2.9 Skematik Dasar Osilator LC.....	13
Gambar 2.10 Penempatan <i>Ground</i> yang Berbeda pada Rangkaian Osilator.....	14
Gambar 2.11 Rangkaian Osilator Tipe Colpitts.....	15
Gambar 2.12 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	16
Gambar 2.12 b.) Resonator Tipe Colpitts.....	16
Gambar 2.13 Rangkaian Osilator Tipe Hartley	19
Gambar 2.14 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Emitter</i>	20
Gambar 2.14 b.) Resonator Tipe Hartley	20
Gambar 2.15 Osilator-Sensor Induktif Tipe Colpitts.....	23
Gambar 2.16 Osilator-Sensor Kapasitif Tipe Colpitts	24
Gambar 3.1 Osilator Tipe Colpitts dengan Transistor BJT.....	26
Gambar 3.2 Osilator Tipe Hartley dengan Transistor BJT.....	28
Gambar 3.3 Alat-alat yang Digunakan pada Eksperimen	29
Gambar 3.4 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Colpitts	30
Gambar 3.5 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	31
Gambar 3.6 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Colpitts	32
Gambar 3.7 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Hartley	33
Gambar 3.8 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	34
Gambar 3.9 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Hartley	35
Gambar 4.1 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	36
Gambar 4.1 b.) Resonator tipe Colpitts.....	36
Gambar 4.2 Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	37
Gambar 4.2 Sinyal pada: b.) Resonator tipe Colpitts.....	37
Gambar 4.3 a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	38
Gambar 4.3 b.) Resonator tipe Hartley	38
Gambar 4.4 Sinyal pada: a.) Amplifier Tipe <i>Common-Collector</i>	38
Gambar 4.4 Sinyal pada: b.) Resonator tipe Hartley	38
Gambar 4.5 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts	41
Gambar 4.6 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts	42
Gambar 4.7 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C1 pada Tipe Colpitts	43
Gambar 4.8 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C2 pada Tipe Colpitts	44

Gambar 4.9 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C1 pada Tipe Colpitts	45
Gambar 4.10 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C2 pada Tipe Colpitts	46
Gambar 4.11 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C pada Tipe Hartley	48
Gambar 4.12 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C pada Tipe Hartley	49
Gambar 4.13 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L1 pada Tipe Hartley	50
Gambar 4.14 Grafik Linier Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L2 pada Tipe Hartley	51
Gambar 4.15 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L1 pada Tipe Hartley	52
Gambar 4.16 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor L2 pada Tipe Hartley	53



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Alat elektronika banyak yang bekerja dengan menggunakan sumber gelombang listrik, baik dalam bentuk gelombang sinusoidal, kotak maupun segitiga. Salah satu jenis alat elektronika yang dimaksud yaitu rangkaian osilator. Pada dasarnya, 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 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. Osilator RC adalah rangkaian osilator dimana resonatornya menggunakan komponen hambatan dan kapasitor. Dan osilator kristal adalah rangkaian osilator dimana resonatornya menggunakan kristal. Masing-masing resonator memiliki komponen penyusun berbeda dikarenakan memiliki tujuan tertentu, khususnya mengenai kemampuan frekuensi osilasi yang berbeda. Osilator dengan resonator RC memiliki kemampuan frekuensi osilasi sekitar 5 Hz hingga 1 MHz. Osilator dengan resonator LC memiliki kemampuan frekuensi osilasi yang cukup tinggi yaitu sekitar 1 MHz hingga 500 MHz. Dan 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.

Resonator RC dapat menggunakan komponen aktif op-amp, transistor BJT atau FET karena frekuensi kerjanya sekitar 5 Hz hingga 1 MHz. Sedangkan osilator yang memiliki frekuensi osilasi di atas 1 MHz biasanya menggunakan transistor BJT atau FET. Frekuensi osilasi di atas 1 MHz tidak bisa menggunakan op-amp karena memiliki *slew rate* yang sangat kecil. Pada kesempatan ini, penulis hanya membahas mengenai rangkaian osilator LC dengan menggunakan amplifier transistor BJT dengan 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 dua jenis osilator LC diantaranya yaitu osilator tipe Colpitts dan Hartley. Kedua 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 secara 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 dan Hartley untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif”.

Tipe-tipe rangkaian osilator yang akan digunakan adalah Colpitts dan Hartley. 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 tipe 2N3904.

Rangkaian amplifier dan resonator dari setiap rangkaian osilator akan diamati besar *gain* dan pergeseran fasenya. Selain itu, nilai induktor atau kapasitor pada resonator LC-nya akan divariasikan, sehingga didapat respon frekuensi sebagai keluaran dari osilator terhadap perubahan nilai induktansi atau kapasitansi. Sehingga, 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 dan Hartley.
3. Membandingkan respon frekuensi dari rangkaian Osilator tipe Colpitts dan Hartley 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

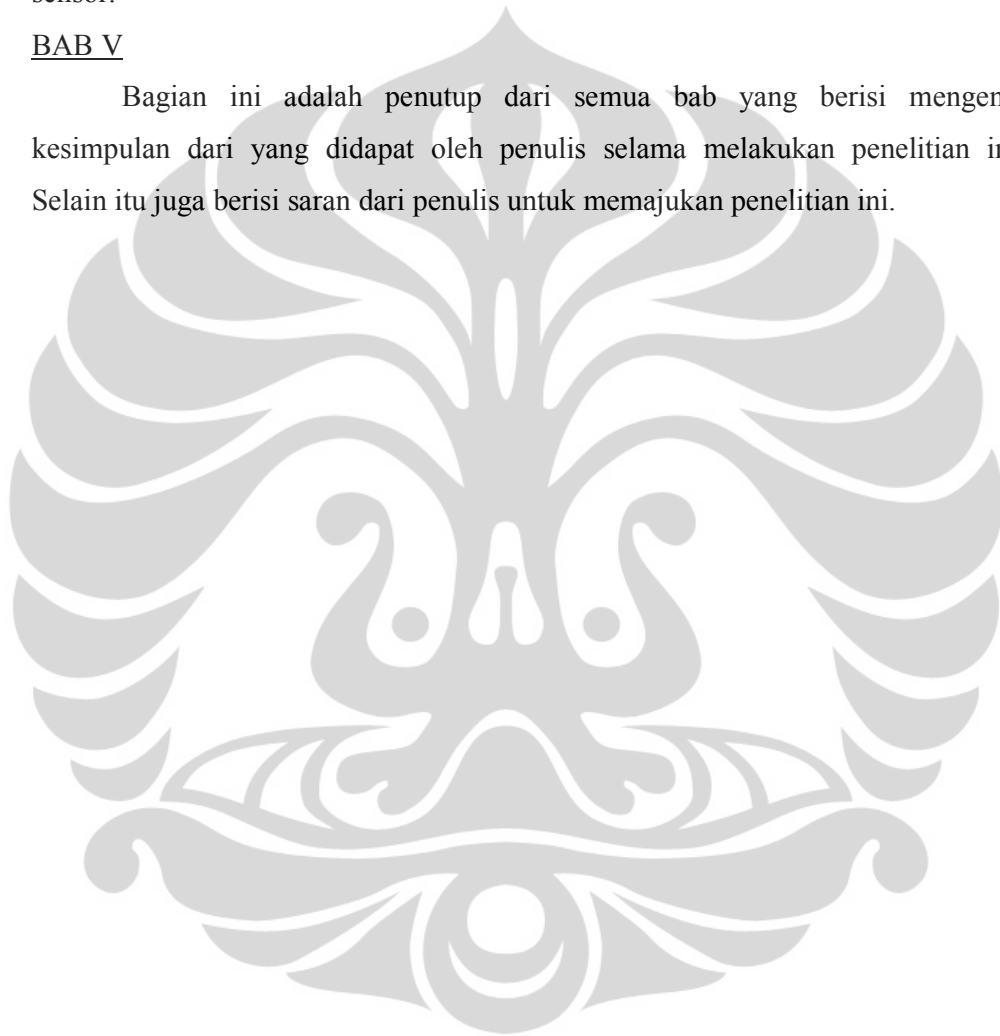
dalam eksperimen. Selain itu, dijelaskan juga mengenai apa saja yang dilakukan oleh penulis dalam kegiatan penelitian ini.

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

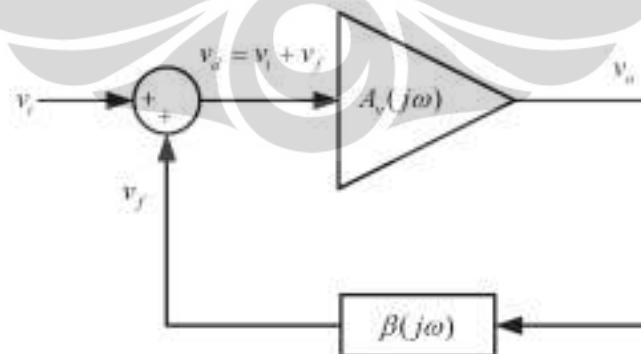
LANDASAN TEORI

2.1 Osilasi pada Rangkaian Listrik

Rangkaian osilator adalah suatu rangkaian listrik yang dapat menghasilkan osilasi dari besaran listrik. Rangkaian ini terdiri atas dua bagian rangkaian yaitu 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 tugas akhir 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_{v0} .

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° atau sama dengan 0° .

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° atau kelipatan 360° [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 disebabkan oleh 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
 Φ = fluks magnetik yang melalui lup (Wb)
 i = arus (A)

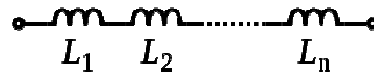
Induktor memiliki simbol skematik yang biasa digunakan pada rangkaian listrik sebagai berikut,



Gambar 2.2 Simbol Induktor

Sama halnya dengan resistor, induktor dapat dipasang secara seri atau paralel 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,

..

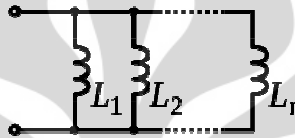


Gambar 2.3 Induktor Dihubung Seri

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. Hal tersebut disebabkan karena 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,

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

dimana, C = nilai kapasitor (F)

ϵ = permitivitas dielektrik

A = luas pelat (m²)

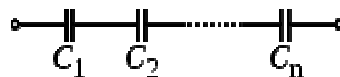
d = jarak kedua pelat (m)

Kapasitor memiliki simbol 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,



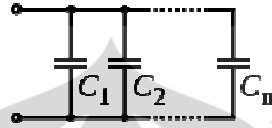
Gambar 2.6 Kapasitor Dihubung Seri

maka persamaan kapasitansi totalnya adalah sebagai berikut,

..

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

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



Gambar 2.7 Kapasitor Dihubung Paralel

maka persamaan kapasitansi totalnya adalah sebagai berikut,

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

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)

π = 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 ampliflier 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 2.8 Bentuk dari Transistor BJT tipe *2N3904*

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

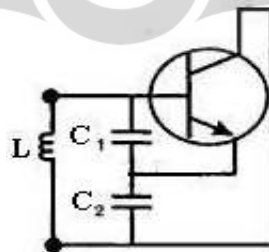
Penulis menggunakan nilai *current gain* yaitu 70 dimana $I_C = 1$ mA dan $V_{CE} = 1$ volt [4].

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 dan Hartley. Berikut ini akan dibahas mengenai rangkaian osilator LC secara lengkap.

2.3.1 Struktur Umum Osilator LC

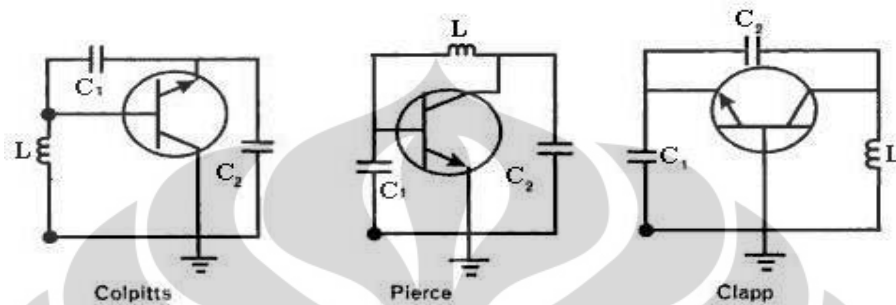
Pada dasarnya, semua jenis osilator LC memiliki konfigurasi dasar yang sama. Berikut skematik dasar rangkaian osilator LC,



Gambar 2.9 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 2.9, 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 2.10, maka hasil keluarannya juga akan berbeda.



Gambar 2.10 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 2.10 terlihat bahwa jika *ground* diletakkan pada posisi yang berbeda, maka akan menghasilkan konfigurasi amplifier dan resonator yang berbeda pada rangkaian osilator [2,8,13].

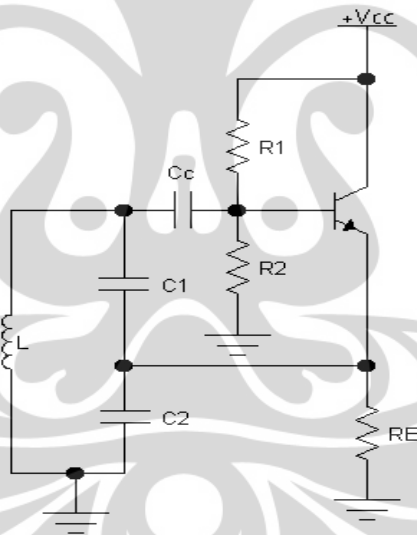
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, osilator tipe Colpitts memiliki titik *ground* yang terletak pada kaki *collector* transistor sehingga osilator tersebut memiliki amplifier tipe *Common-Collector*. Pada osilator tipe Pierce terdapat titik *ground* yang terletak pada kaki *emitter* transistor 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*. Pada osilator tipe Hartley menggunakan amplifier tipe *Common-Collector* sama seperti osilator tipe Colpitts. 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 dan Hartley. Kedua osilator tersebut memiliki karakteristik yang berbeda karena konfigurasi rangkaiannya berbeda. Berikut akan dibahas dengan jelas mengenai kedua osilator tersebut.

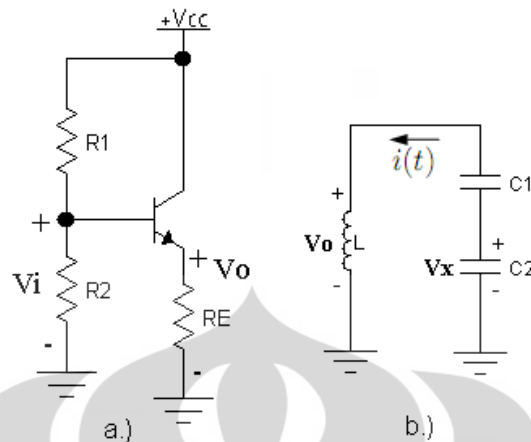
2.3.2.1 Osilator Tipe Colpitts

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 2.11 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 2.12 a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator Tipe Colpitts

Pada Gambar 2.12a yaitu amplifier *Common-Collector* memiliki karakteristik yaitu besar penguatannya sama dengan 1 dan beda fase antara sinyal masukan dan keluaran adalah sama dengan 0° atau kelipatan 360° . 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 2.12b 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 2.12b, maka dapat dituliskan

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

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

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

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C} = 0$$

Kalikan kedua ruas dikali dengan C sehingga akan menjadi,

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

dimana,

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

Persamaan (2.19) kedua ruas di kali dengan $\frac{1}{LC}$, sehingga menjadi,

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (2.20)$$

Dengan menganggap,

$$\frac{1}{LC} = \omega^2,$$

$$i = i_0 e^{\alpha t}$$

$$\frac{di}{dt} = i_0 \alpha e^{\alpha t}$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} = i_0 \alpha^2 e^{\alpha t} \quad (2.21)$$

Sehingga persamaan (2.20) akan menjadi,

$$(i_0 \cdot \alpha^2 \cdot e^{\alpha t}) + (\omega^2 \cdot i_0 \cdot e^{\alpha t}) = 0 \quad (2.22)$$

Untuk $t = 0$, dengan menganggap i_0 konstanta, maka persamaan (2.22) akan menjadi,

$$\alpha^2 + \omega^2 = 0 \quad (2.23)$$

Dari persamaan (2.23) didapat nilai $a = 1$; $b = 0$; $c = 1$. Sehingga dengan menggunakan rumus abc didapat dua solusi yaitu $-j\omega$ dan $+j\omega$.

Sehingga didapat solusi umum untuk persamaan diferensial (2.20) yaitu,

$$i(t) = i_0(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) \quad \text{dengan } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$i(t) = i_0 e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + i_0 e^{\frac{-j}{\sqrt{LC}}t} \quad (2.24)$$

$$i(0) = 2i_0 \quad \text{untuk } t = 0$$

Nilai konstanta i_0 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,

$$i(t) = \frac{i_0}{2} \left(e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + e^{\frac{-j}{\sqrt{LC}}t} \right) = i_0 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.25)$$

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

$$v_x(t) = -\frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = -\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.26)$$

$$v_o(t) = L \frac{di}{dt} = -Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.27)$$

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

$$\text{gain Colpitts} = \frac{v_o}{v_x} = \frac{Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}}}{\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{LC}}}} = \frac{LC_2}{LC} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} > 1 \quad (2.28)$$

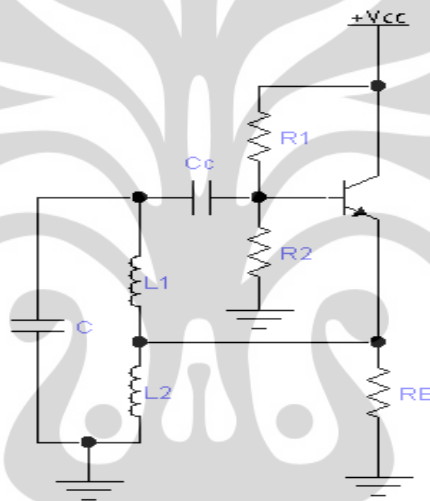
Terlihat pada persamaan *gain* dari resonator Colpitts ini bernilai positif dan nilainya lebih besar dari 1. Jadi, pergeseran fase yang timbul dari resonator Colpitts antara sinyal masukan dan keluaran ini adalah 0° atau kelipatan 360° .

Dari persamaan (2.18) dan (2.28) 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.

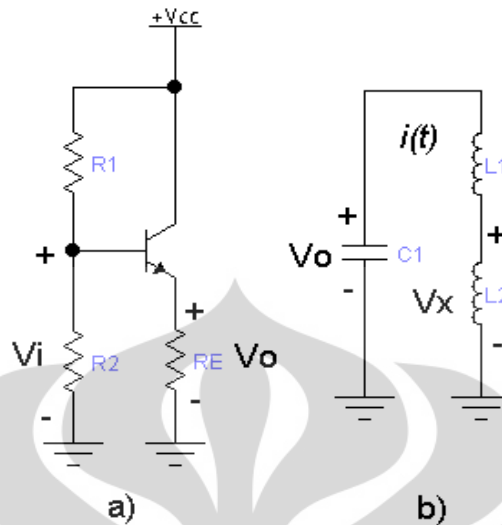
2.3.2.2 Osilator Tipe Hartley

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



Gambar 2.13 Rangkaian Osilator Tipe Hartley

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 Hartley,



Gambar 2.14 a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator Tipe Hartley

Pada Gambar 2.14a yaitu amplifier *Common-Collector* memiliki karakteristik yaitu besar penguatannya sama dengan 1 dan beda fase antara sinyal masukan dan keluaran adalah sama dengan 0° atau kelipatan 360° . Penurunana persamaannya sudah dijelaskan sebelumnya.

Pada Gambar 2.14b mengenai resonator tipe Hartley, diasumsikan tegangan pada L_1 adalah v_o , tegangan pada L_2 adalah v_x , dan arah arus $i(t)$ yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14b, maka dapat dituliskan

$$\frac{1}{C} \int_0^t i dt + L_1 \frac{di}{dt} + L_2 \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{i}{C} + L_1 \frac{d^2i}{dt^2} + L_2 \frac{d^2i}{dt^2} = 0$$

$$\frac{i}{C} + \left[(L_1 + L_2) \frac{d^2i}{dt^2} \right] = 0$$

Persamaan diatas di kali dengan $\frac{1}{(L_1+L_2)}$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{1}{C(L_1+L_2)} i = 0 \quad (2.29)$$

Dengan menganggap,

$$\frac{1}{C(L_1+L_2)} = \omega^2, \quad i = i_0 e^{\alpha t}, \quad \text{dan} \quad \frac{di}{dt} = i_0 \alpha e^{\alpha t}, \quad \text{maka didapat}$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} = i_0\alpha^2 e^{\alpha t} \quad (2.30)$$

Sehingga persamaan (2.29) akan menjadi,

$$(i_0 \cdot \alpha^2 \cdot e^{\alpha t}) + (\omega^2 \cdot i_0 \cdot e^{\alpha t}) = 0 \quad (2.31)$$

Untuk $t = 0$, dengan menganggap i_0 konstanta, maka persamaan (2.31) akan menjadi,

$$\alpha^2 + \omega^2 = 0 \quad (2.32)$$

Dari persamaan (2.32) didapat nilai $a = 1$; $b = 0$; $c = 1$. Sehingga dengan menggunakan rumus abc didapat dua solusi yaitu $-j\omega$ dan $+j\omega$.

Sehingga didapat solusi umum untuk persamaan diferensial (2.29) yaitu,

$$i(t) = i_0(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) \quad \text{dengan } \omega = \sqrt{\frac{1}{C(L_1+L_2)}} = \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}$$

$$i(t) = i_0 e^{\frac{j}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}t} + i_0 e^{\frac{-j}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}t} \quad (2.32)$$

$$i(0) = 2i_0 \quad \text{untuk } t = 0$$

Nilai konstanta i_0 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,

$$i(t) = \frac{i_0}{2} \left(e^{\frac{j}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}t} + i_0 e^{\frac{-j}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}t} \right) = i_0 \cos \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}} \quad (2.33)$$

Kembali pada Gambar 13.b, maka didapatkan persamaan v_x dan v_o yaitu,

$$V_x(t) = -L_2 \frac{di}{dt} = L_2 i_0 \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}} \sin \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}} \quad (2.34)$$

$$V_o(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt = \frac{1}{C} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}} \sin \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}} \quad (2.35)$$

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

$$\text{gainHartley} = \frac{V_o}{V_x} = \frac{\frac{1}{C} \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}} \sin \frac{i_0}{\frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}}}{L_2 i_0 \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}} \sin \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}} = \frac{C(L_1+L_2)}{CL_2} = \frac{(L_1+L_2)}{L_2} > 1 \quad (2.36)$$

Terlihat pada persamaan *gain* dari resonator Hartley ini bernilai positif dan nilainya lebih besar dari 1. Jadi, pergeseran fase yang timbul dari resonator Hartley antara sinyal masukan dan keluaran ini adalah 0° atau kelipatan 360° .

Dari persamaan (2.18) dan (2.36) yang telah dibuktikan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa osilator tipe Hartley 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.

2.4 Rangkaian Osilator-Sensor

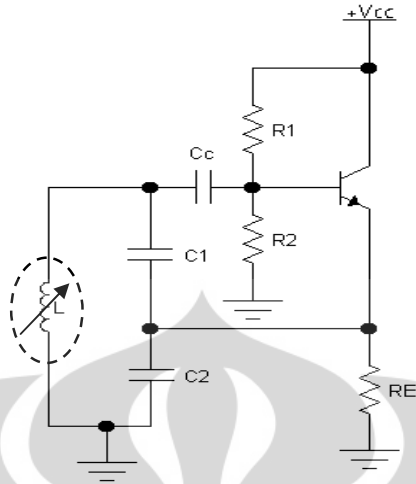
Rangkaian osilator biasanya digunakan sebagai pewaktu atau biasa disebut dengan *Timer*. Pewaktu ini bersifat stabil karena frekuensi yang dihasilkan tidak berubah – ubah atau konstan. Namun, beda halnya dengan osilator yang digunakan sebagai sensor, frekuensi osilasinya berubah – ubah seiring dengan 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],

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.37)$$

Jika salah satu komponen induktor (L) atau kapasitor (C) dari persamaan (2.37) 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 Colpitts, berikut rangkaian skematik dari osilator tipe Colpitts sebagai sensor induktif,



Gambar 2.15 Osilator Sensor Induktif Tipe Colpitts

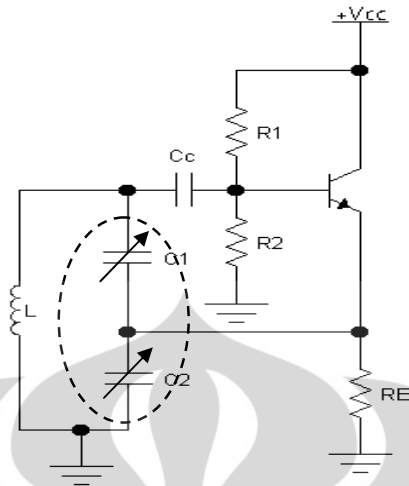
Untuk menggunakan osilator tipe Colpitts sebagai sensor induktif, maka alat yang berperan sebagai transduser tersebut dipasang pada posisi induktornya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Transduser tersebut dapat juga digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisika dan mengubah nilai induktansi sebagai fungsi besaran fisika yang akan diukur sehingga nilai frekuensi osilasinya berubah-ubah. Berikut persamaannya,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi\sqrt{\Delta LC}} \quad (2.38)$$

Dari persamaan (2.38), 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.

2.4.2 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 2.16 Osilator Sensor Kapasitif Tipe Colpitts

Pada Gambar 2.16 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,

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{\Delta C_1 C_2}{\Delta C_1 + C_2} \right)}} \text{ atau } \Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(\frac{\Delta C_2 C_1}{\Delta C_2 + C_1} \right)}} \quad (2.39)$$

Pada persamaan (2.39) 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 diketahui 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 dan Hartley 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 kira-kira 1 MHz dengan menggunakan rumus frekuensi osilasi sebagai berikut,

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (3.1)$$

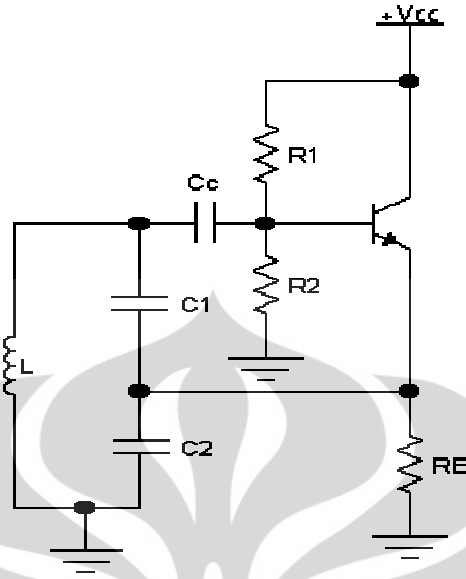
dimana, f_o = frekuensi osilasi (Hz)

$$\pi = 3,14$$

L = induktor (H)

C_1 dan C_2 = kapasitor yang dipasang seri (F)

Kemudian merancang rangkaian skematik sebagai berikut,



Gambar 3.1 Osilator Tipe Colpitts dengan Transistor BJT

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,

$$L = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)} \approx 33 \mu\text{H} \quad (3.2)$$

dimana, f_o = frekuensi osilasi (Hz)

$\pi = 3,14$

L = induktor (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 β

(*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 ,

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 4 \text{ K}\Omega \quad (3.3)$$

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

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

dengan memberikan ketentuan sebagai berikut,

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

maka didapat

$$R_1 = \frac{V_{CC} - (V_E + 0.7)}{I_{R_1}} \approx 2 \text{ K}\Omega \quad (3.4)$$

$$R_2 = \frac{V_E + 0.7}{I_{R_2}} \approx 33 \text{ K}\Omega \quad (3.5)$$

Kapasitor sebagai *coupling* sinyal AC dapat diberikan dengan nilai $0.1 \mu\text{F}$. 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 Hartley

Untuk merancang rangkaian osilator harus mengetahui terlebih dahulu frekuensi osilasi yang akan digunakan. Pada kesempatan ini, penulis akan merancang osilator pada frekuensi osilasi kira-kira 1 MHz dengan menggunakan rumus frekuensi osilasi sebagai berikut,

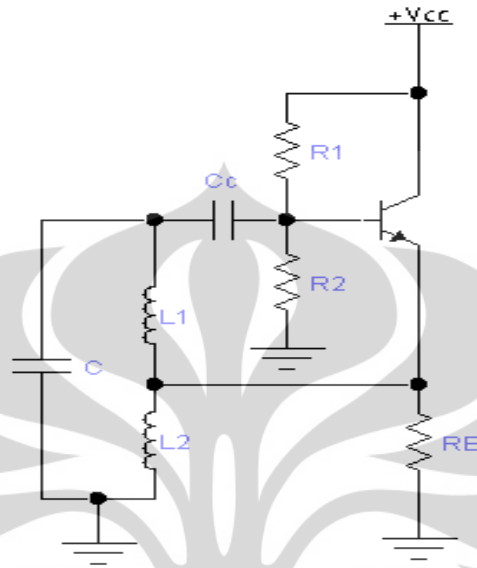
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}} \quad (3.6)$$

dimana, f_o = frekuensi osilasi (Hz)

π = 3,14

C = kapasitor (F)

L_1 dan L_2 = induktor yang dipasang seri (H)
Kemudian merancang rangkaian skematik sebagai berikut,



Gambar 3.2 Osilator Tipe Hartley dengan Transistor BJT

Langkah awal yaitu menentukan nilai kapasitor $C = 1.2$ nF dengan syarat nilai $C > C_{be}$, 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 L_2 , nilai reaktansi dari L_2 harus lebih kecil dari hambatan yang terdapat kaki *emitter* (R_E), sehingga arus yang lewat lebih besar pada L_2 . Setelah itu, menentukan nilai induktor (L) yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$L_1 + L_2 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C} \quad (3.7)$$

dimana, f_0 = frekuensi osilasi (Hz)

$$\pi = 3,14$$

L = induktor (H)

Dari persamaan (3.1), penulis menentukan nilai L_1 dan L_2 sama sehingga didapat nilai $L_1 = L_2 = 10$ μ H. Setelah menentukan nilai-nilai komponen yang akan digunakan sebagai resonator, maka selanjutnya menentukan nilai-nilai komponen yang akan digunakan sebagai amplifier.

Pada osilator Hartley ini, amplifier yang digunakan sama dengan amplifier Colpitts yaitu amplifier *common-collector* dengan menggunakan komponen aktif transistor BJT tipe *2N3904*. Dengan membaca *datasheet* dari transistor tipe ini, penulis mengambil nilai h_{FE} atau β (*gain*) yaitu 70. Nilai h_{FE} ini akan beroperasi pada $I_C = 1$ mA dan $V_{CE} = 1$ volt. Tegangan suplai DC yang diberikan (V_{CC}) adalah 5 volt.

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,



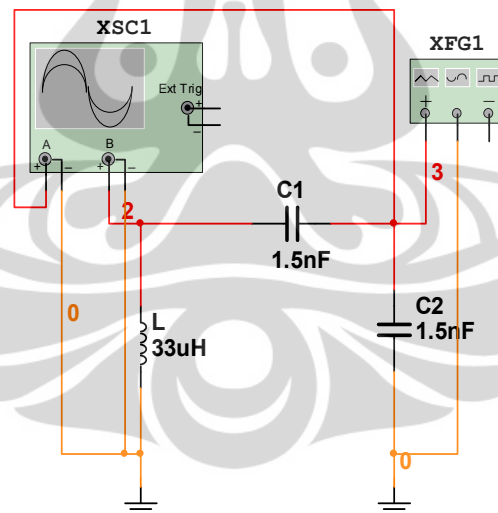
Gambar 3.3 Alat-alat yang Digunakan pada Eksperimen

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.

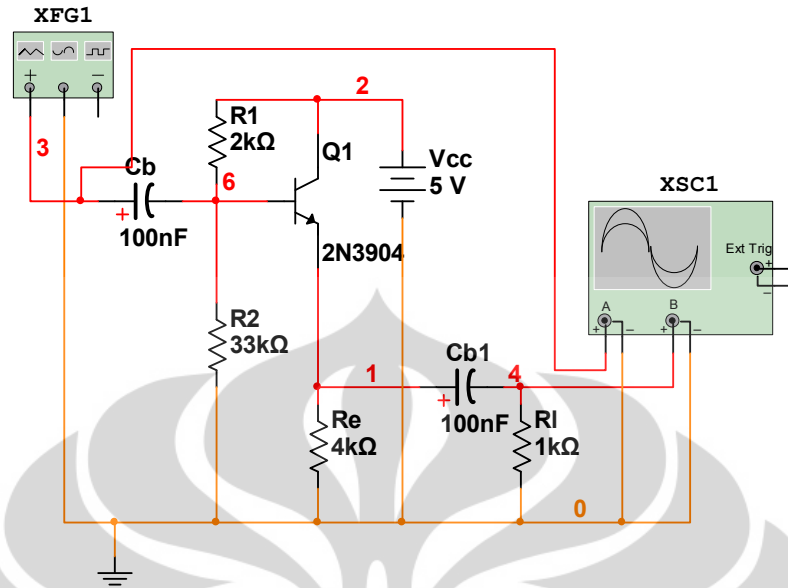
3.2.1 Tipe Colpitts

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. Resonator tersebut diberikan sinyal sinus dari *Function Generator* pada kapasitor C_2 . Setelah itu, hubungkan kapasitor C_2 dengan *channel A* sebagai *channel 1* pada osiloskop dan induktor dengan *channel B* sebagai *channel 2* pada osiloskop seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. 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. Berikut bentuk skematik untuk eksperimen pengamatan karakteristik resonator,



Gambar 3.4 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Colpitts

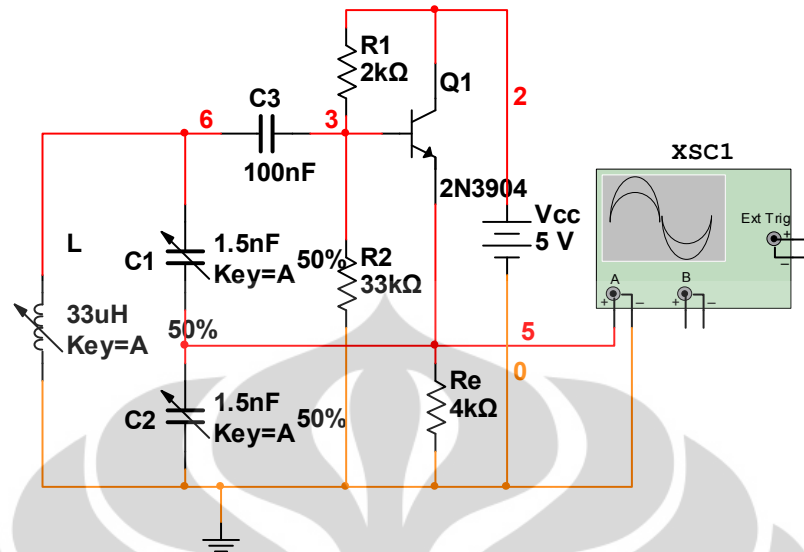
Setelah itu, penulis melakukan langkah-langkah yang sama pada rangkaian amplifiernya yaitu *Common-Collector*. Berikut skematik yang dilakukan pada pengamatan karakteristik rangkaian amplifiernya,



Gambar 3.5 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 fasenya 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 seperti yang terlihat pada Gambar 3.6. Berikut skematik yang dilakukan dalam eksperimen,



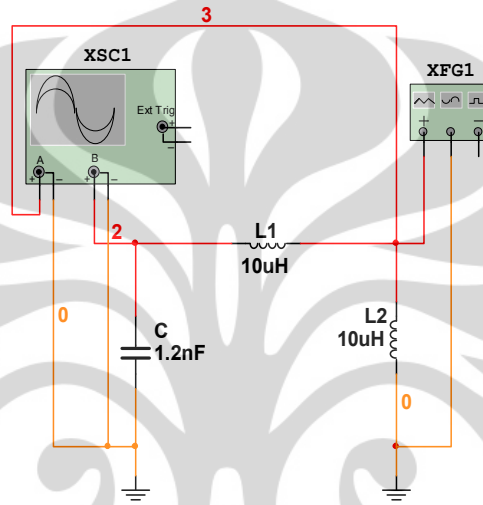
Gambar 3.6 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Colpitts

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 L 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. Untuk memvariasikan nilai kapasitor C_1 dan C_2 pada resonatornya dengan cara mengganti-ganti kapasitor yang berbeda nilainya dan dengan cara menghubungkan seri atau paralel kapasitor yang satu dengan yang lainnya untuk mendapatkan nilai kapasitor yang diperlukan.

3.2.2 Tipe Hartley

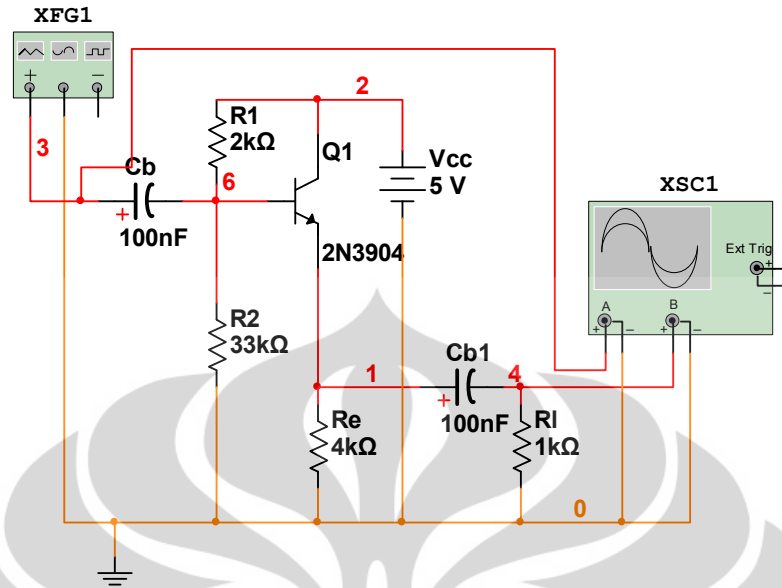
Pada eksperimen yang pertama, penulis akan mengamati karakteristik dari resonator tipe Hartley. Peralatan yang diperlukan yaitu *Function Generator* dan osiloskop. Pada kesperimen ini, rangkaian amplifier dan resonator dari osilator tipe Hartley ini dipisahkan. Berikut bentuk skematik untuk eksperimen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



Gambar 3.7 Skematik Pengamatan Resonator Tipe Hartley

Resonator tersebut diberikan sinyal sinus dari *Function Generator* pada kapasitor L_2 . Setelah itu, hubungkan induktor L_2 dengan *channel A* sebagai *channel 1* pada osiloskop dan kapasitor C dengan *channel B* sebagai *channel 2* 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,

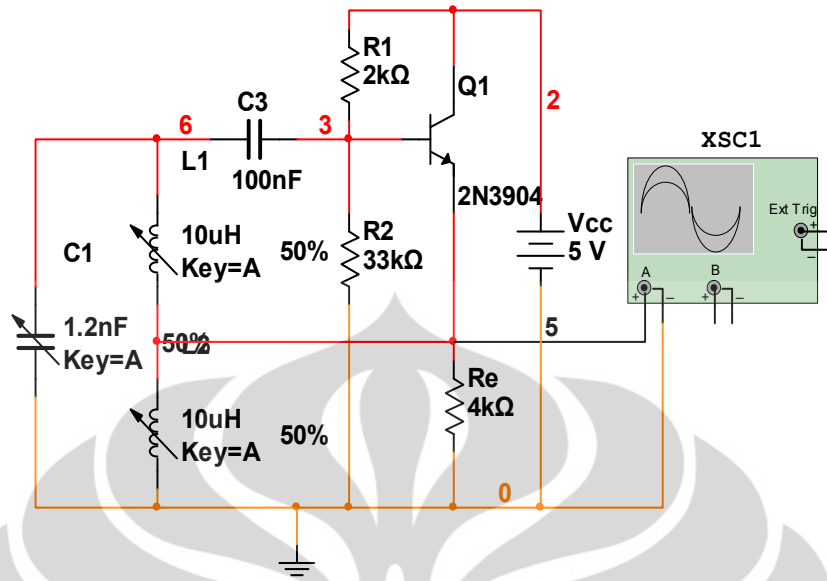


Gambar 3.8 Skematik Pengamatan Amplifier Tipe *Common-Collector*

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

Setelah melakukan pengamatan karakteristik pada osilator tipe Hartley, 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 seperti terlihat pada Gambar 3.9 yang dilakukan dalam eksperimen.

Percobaan pertama yaitu memvariasikan nilai kapasitor pada resonatornya dengan cara mengubah-ubah kapasitor yang berbeda nilainya dan dengan cara menghubungkan seri atau paralel kapasitor yang satu dengan yang lainnya untuk mendapatkan nilai kapasitor yang diperlukan. Saat memvariasikan nilai kapasitor, nilai induktor L_1 dan L_2 dibuat tetap. Pada saat memvariasikan nilai kapasitor, frekuensi osilasinya akan berubah. Penulis akan mencatat setiap frekuensi osilasi yang berubah pada setiap variasi nilai kapasitor.



Gambar 3.9 Skematik Pengukuran Frekuensi Tipe Hartley

Percobaan selanjutnya yaitu memvariasikan nilai induktor L_1 . Saat memvariasikan nilai induktor L_1 , nilai induktor L_2 dan kapasitor dibuat tetap. Langkah-langkah yang dilakukan sama seperti saat memvariasikan nilai kapasitor. Penulis akan mencatat nilai frekuensi yang berubah pada setiap variasi nilai induktor L_1 . Setelah itu, penulis memvariasikan nilai L_2 dan mencatat nilai frekuensi yang berubah pada setiap variasi induktor L_2 . Sama seperti sebelumnya, saat memvariasikan nilai induktor L_2 , nilai induktor L_1 dan kapasitor dibuat tetap. Untuk memvariasikan nilai kapasitor L_1 dan L_2 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.

BAB IV

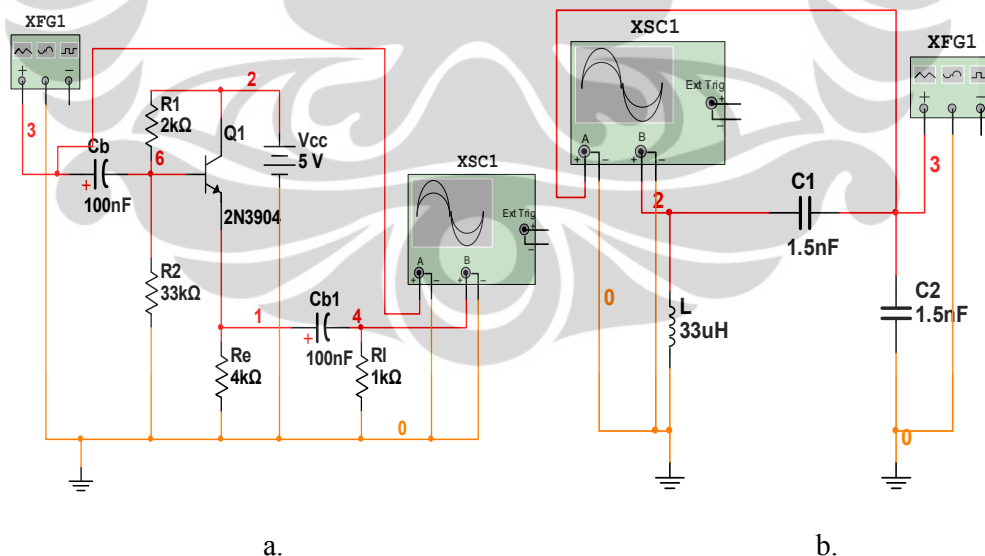
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Rangkaian Osilator LC

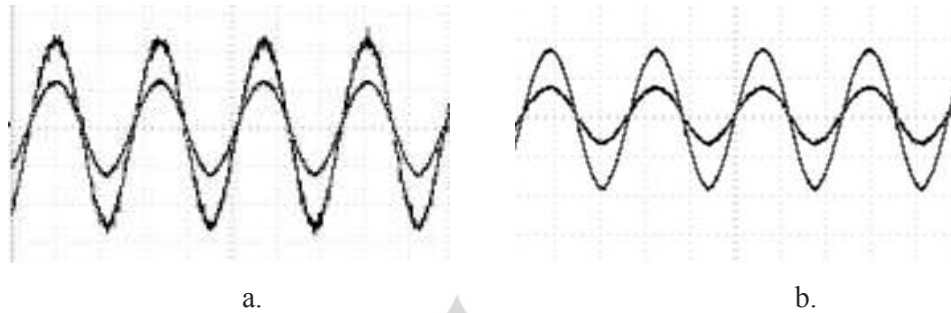
Dalam hal ini, penulis akan membahas mengenai hasil eksperimen pengamatan karakteristik amplifier dan resonator pada setiap rangkaian osilator yang telah dilakukan. Selain itu, penulis juga akan membahas mengenai hasil eksperimen dari osilator sensor tipe Colpitts dan Hartley. Dalam hal sensor, penulis 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, memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



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



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:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3.99V}{4.64V} = 0.86$$

Lalu, pada percobaan mengenai karakteristik resonator tipe Colpitts memberikan *gain* 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:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{0.78V}{0.36V} = 2.17$$

Dari persamaan (2.7),

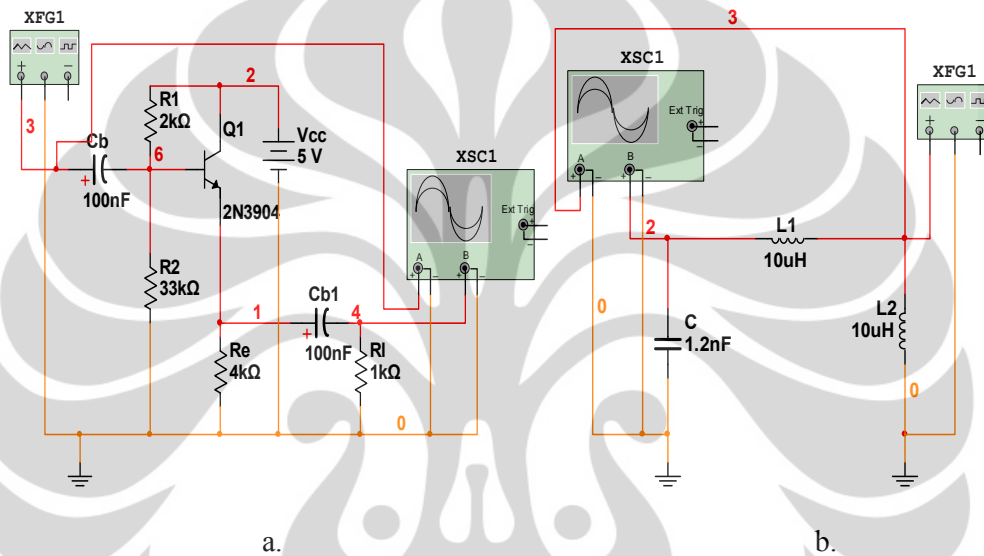
$$\beta_r(\omega) A_{vo} = 1 \rightarrow A_{vo} = \frac{1}{\beta_r(\omega)},$$

Maka osilasi akan terjadi jika gain resonator ($\beta_r(\omega) = 2.17$) pada saat nilai C_1 dan $C_2 = 1.5$ nF dan frekuensi 1.074 MHz. Sehingga pada saat keadaan tersebut nilai $A_{vo} = 1 / \beta_r(\omega) = 1 / 2.17 = 0.46$. 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.

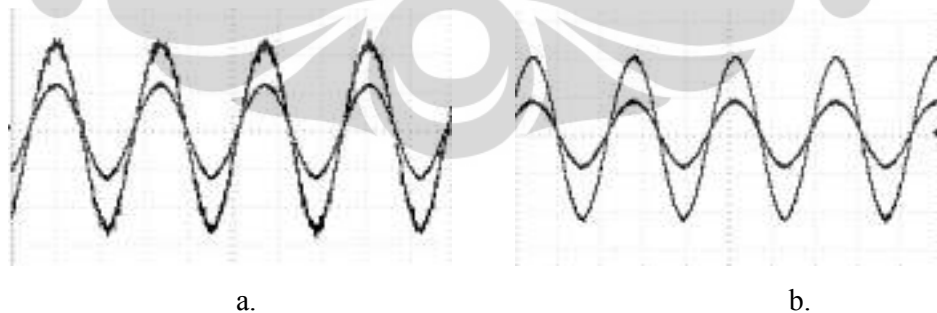
4.1.2 Osilator Tipe Hartley

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



Gambar 4.3 a.) Amplifier Tipe *Common-Collector* dan b.) Resonator tipe Hartley

Dari eksperimen tersebut didapat hasil sebagai berikut,



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

Terlihat pada Gambar 4.4 bahwa sinyal yang keluar pada amplifier tipe *Common-Collector* dan resonator tipe Hartley 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:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3.99V}{4.64V} = 0.86$$

Sedangkan pada resonatornya memberikan besar *gain* sebagai berikut,

Teori:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{L_1 + L_2}{L_1} = \frac{(10 + 10)\mu H}{10\mu H} = 2$$

Eksperimen:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{0.75V}{0.35V} = 2.14$$

Dari persamaan (2.7),

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

Maka osilasi akan terjadi jika gain resonator ($\beta_r(\omega)$) = 2.17 pada saat nilai L_1 dan $L_2 = 10 \mu H$ dan frekuensi 0.988 MHz. Sehingga pada saat keadaan tersebut nilai $A_{vo} = 1 / \beta_r(\omega) = 1 / 2.14 = 0.47$. Dari hasil eksperimen tersebut dapat disimpulkan bahwa resonator tipe Hartley 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.

4.2 Karakteristik Osilator-Sensor Induktif dan Kapasitif

Eksperimen ini dilakukan dengan cara memvariasikan nilai induktor L dan kapasitor C. 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

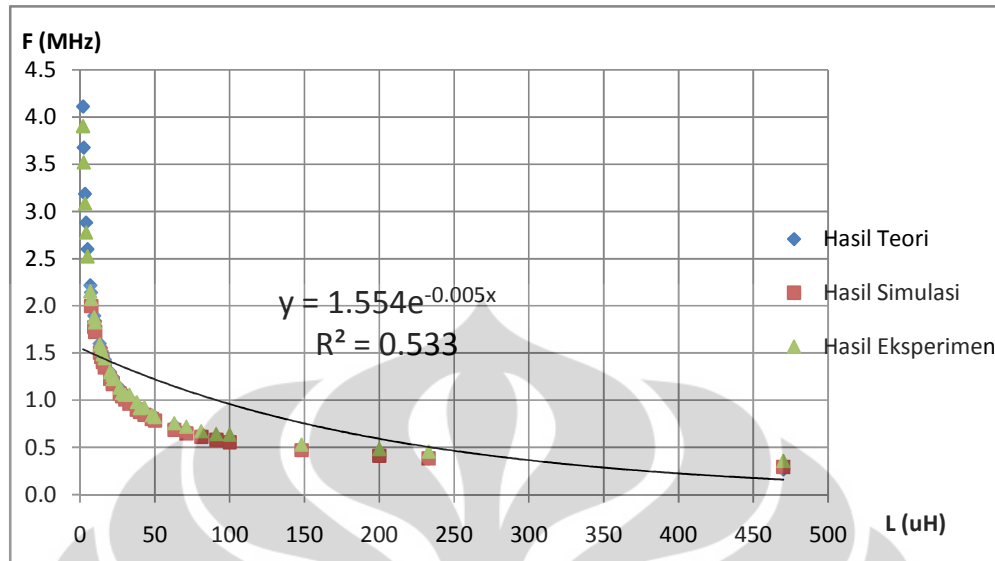
Untuk menentukan linieritas yang baik, penulis mengamati dan membandingkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari grafik yang telah ditentukan *range* nya. Setelah itu, *range* yang akan diambil untuk langkah awal yaitu yang memiliki nilai koefisien korelasi mendekati 1. Nilai koefisien korelasi yang terdapat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

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 sedangkan nilai kapasitor C_1 dan C_2 dibuat tetap.

Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor seperti yang terlampir pada Tabel 1 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.5 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts

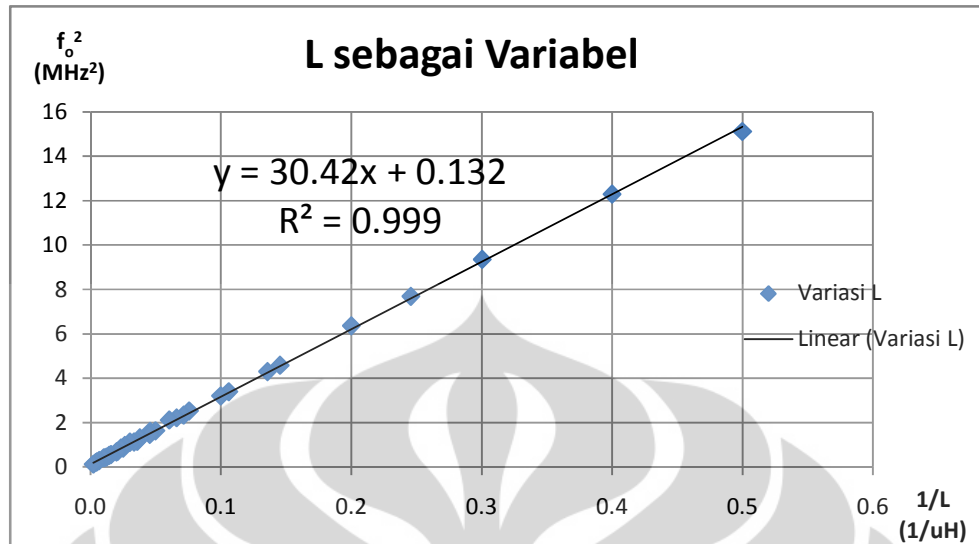
Pada Gambar 4.5, penulis memasukkan data hasil teori, simulasi, dan eksperimen untuk membandingkan hasil respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor. Terlihat bahwa hasil eksperimen yang telah didapat hampir mendekati hasil teori dan simulasi. Dari grafik frekuensi fungsi dari induktor L, didapat grafik eksponensial. Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk L sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

$$f_0^2 = \frac{1}{(4\pi^2) \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right) \left(\frac{1}{L} \right)}$$

$$y = \frac{1}{a} x + b$$

dengan $y = f_0^2$, $x = 1/L$, dan a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.6 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L pada Tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.6 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 0.999. *Range* perubahan induktansi L pada grafik yaitu (2-470) μH dan perubahan frekuensinya yaitu (3.889-0.36) MHz. Kemiringan yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 30.42x + 0.132$$

$$\frac{dy}{dx} = 30.42$$

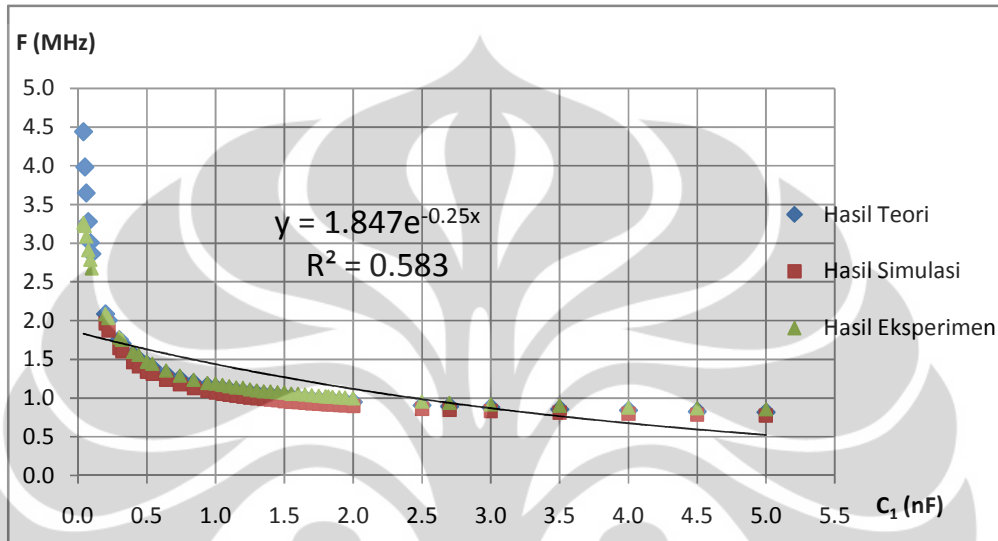
Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/L$ dari komponen induktornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* induktansi 2-40 μH dan didapat sensitivitas sebesar,

$$\frac{\Delta f_0}{\Delta L} = -0.078 \frac{\text{MHz}}{\mu\text{H}} = -78 \frac{\text{kHz}}{\mu\text{H}}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -78 kHz/ μH yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 μH , maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 78 kHz.

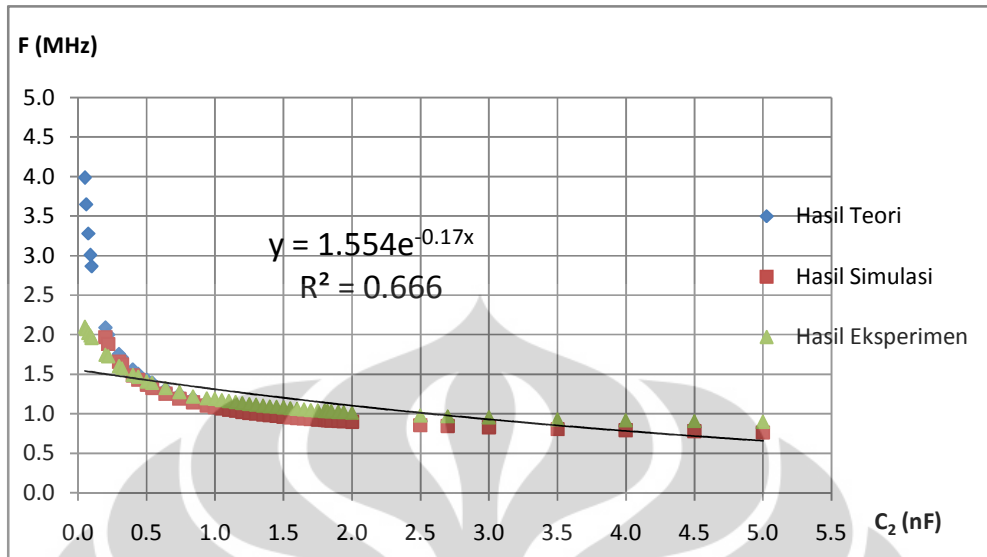
Selanjutnya yaitu mengenai hasil variasi nilai kapasitor akan dibahas dengan menggunakan metode yang sama saat membahas variasi nilai induktor. Ada 2 kapasitor yang akan divariasikan pada resonator yaitu pada C_1 dan C_2 .

Awalnya penulis melakukan eksperimen untuk variasi C_1 sehingga nilai C_2 dan L dibuat tetap. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen kapasitor C_1 seperti yang terlampir pada Tabel 2 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.7 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C_1 pada Tipe Colpitts

Kemudian penulis melakukan eksperimen untuk variasi C_2 sehingga nilai C_1 dan L dibuat tetap. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen kapasitor C_2 seperti yang terlampir pada Tabel 3 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.8 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C₂ pada Tipe Colpitts

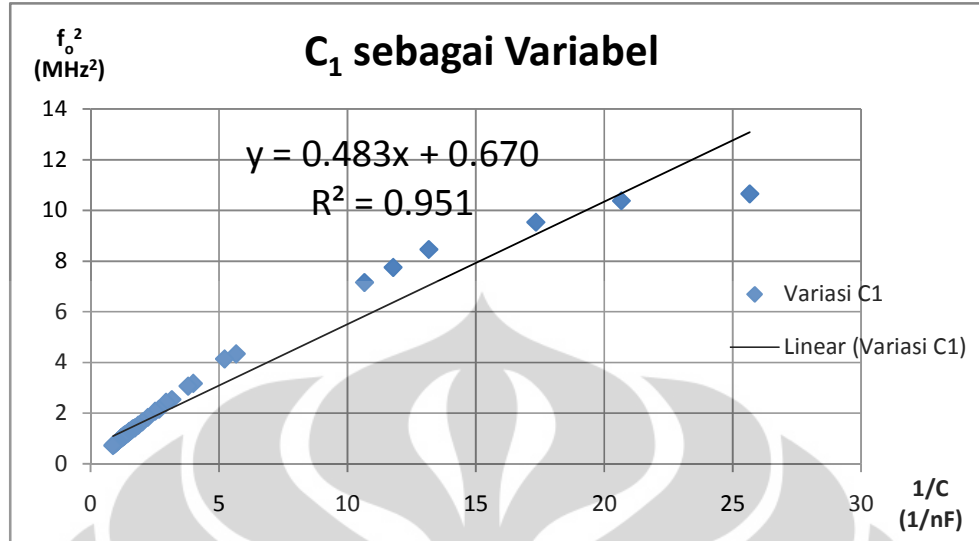
Pada Gambar 4.7 dan 4.8, penulis memasukkan data hasil teori, simulasi, dan eksperimen untuk membandingkan hasil respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen kapasitor C₁ dan C₂. Terlihat bahwa hasil eksperimen yang telah didapat hampir mendekati hasil teori dan simulasi. Dari grafik frekuensi fungsi dari kapasitor C₁ dan C₂ didapat grafik eksponensial. Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk C₁ sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

$$f_0^2 = \left(\frac{1}{(4\pi^2)(L)} \right) \frac{1}{C} \Rightarrow C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \text{ dengan } C_2 \text{ konstan}$$

$$y = a x + b$$

dengan $y = f_0^2$; $x = 1/C$; a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.9 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C_1 pada Tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.9 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 0.951. *Range* perubahan kapasitansi C_1 pada grafik yaitu (40-5000) pF dan perubahan frekuensinya yaitu (3.264-0.855) MHz. Sensitivitas yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 0.483x + 0.670$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.483$$

Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/C$ dari komponen kapasitornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Dengan nilai C merupakan nilai kapasitor C_1 dan C_2 yang dipasang seri. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* kapasitansi 0.04-1.5 nF dan didapat sensitivitas sebesar,

$$\frac{\Delta f_0}{\Delta C_1} = -1.5 \frac{\text{MHz}}{\text{nF}}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -1.5 MHz/nF yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 nF, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 1.5 MHz.

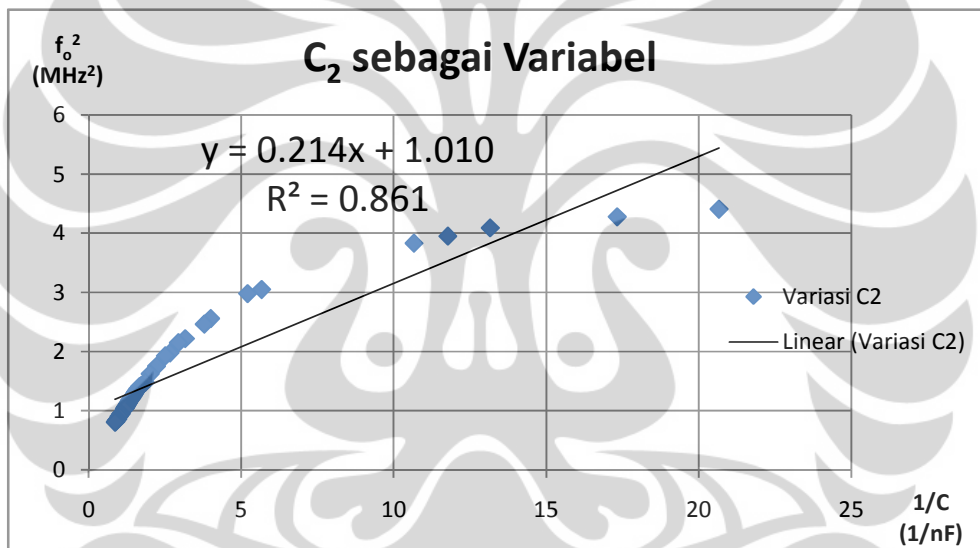
Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk C_2 sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

$$f_0^2 = \left(\frac{1}{(4\pi^2)(L)} \right) \frac{1}{C} \Rightarrow C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \text{ dengan } C_1 \text{ konstan}$$

$$y = a x + b$$

dengan $y = f_0^2$; $x = 1/C$; a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.10 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C_2 pada Tipe Colpitts

Terlihat pada Gambar 4.10 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 0.861. *Range* perubahan kapasitansi C_2 pada grafik yaitu (50-5000) pF dan perubahan frekuensinya yaitu (2.1-0.898) MHz. Kemiringan yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 0.214x + 1.010$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.214$$

Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/C$ dari komponen kapasitornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Dengan nilai C merupakan nilai kapasitor C_1 dan C_2 yang dipasang seri. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* kapasitansi 0.05-1.5 nF dan didapat sensitivitas sebesar,

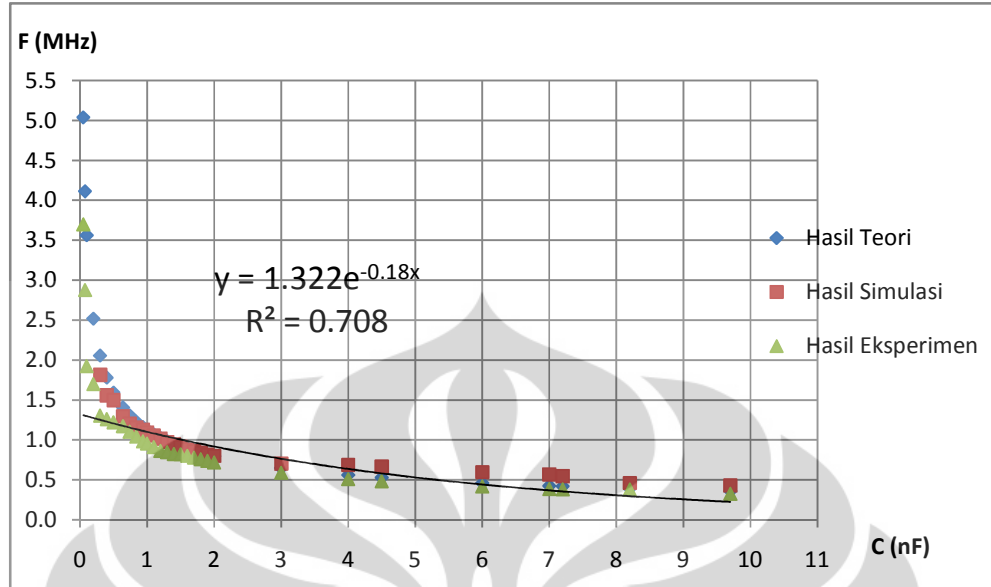
$$\frac{\Delta f_0}{\Delta C_2} = -0.704 \frac{MHz}{nF}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -0.704 MHz/nF yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 nF, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 1.983 MHz.

4.2.2 Osilator-Sensor Tipe Hartley

Percobaan selanjutnya yaitu memvariasikan nilai induktor dan kapasitor pada osilator tipe Hartley. 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. Pada percobaan yang pertama, penulis melakukan variasi nilai kapasitor pada resonatornya sedangkan nilai induktor L_1 dan L_2 dibuat tetap. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen kapasitor sebagai berikut,

Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen kapasitor C seperti yang terlampir pada Tabel 4 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.11 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C pada Tipe Hartley

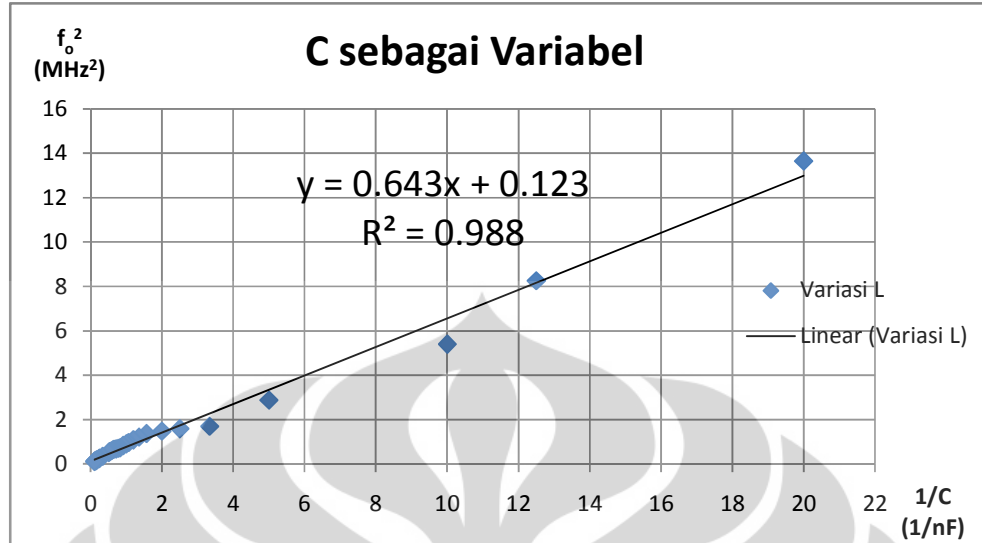
Pada Gambar 4.11, penulis memasukkan data hasil teori, simulasi, dan eksperimen untuk membandingkan hasil respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor. Terlihat bahwa hasil eksperimen yang telah didapat hampir mendekati hasil teori dan simulasi. Dari grafik frekuensi fungsi dari kapasitor C, didapat grafik eksponensial. Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk C sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$$

$$f_0^2 = \frac{1}{(4\pi^2)(L_1 + L_2)} \left(\frac{1}{C}\right)$$

$$y = \frac{a}{x + b}$$

dengan $y = f_0^2$, $x = 1/C$, dan a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.12 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor C pada Tipe Hartley

Terlihat pada Gambar 4.12 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 0.988. *Range* perubahan kapasitansi C pada grafik yaitu (50-9700) pF dan perubahan frekuensinya yaitu (3.695-0.325) MHz. Kemiringan yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 0.643x + 0.123$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.643$$

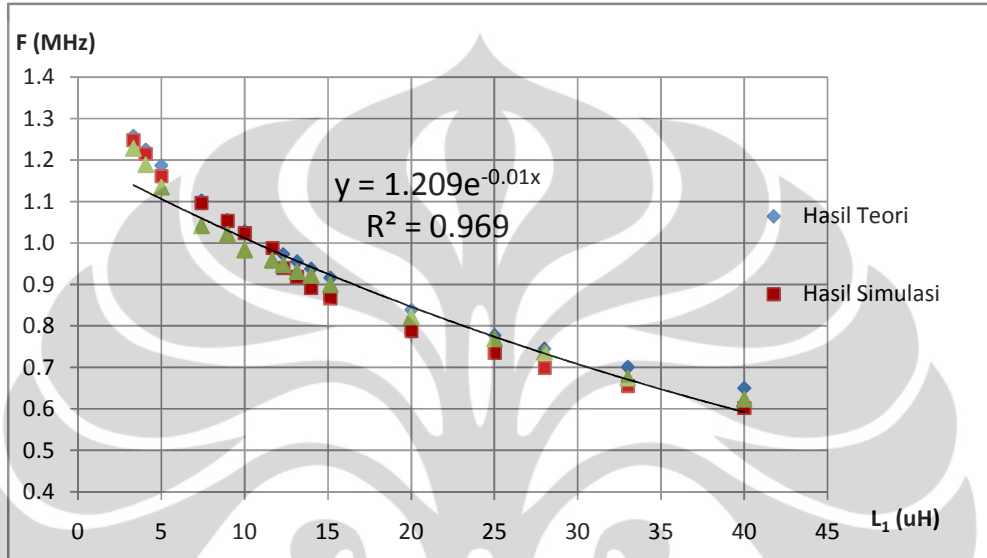
Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/C$ dari komponen kapasitornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* kapasitansi 0.05-1.5 nF dan didapat sensitivitas sebesar,

$$\frac{\Delta f_0}{\Delta C} = -1.983 \frac{\text{MHz}}{\text{nF}}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -1.983 MHz/nF yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 nF, maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 1.983 MHz.

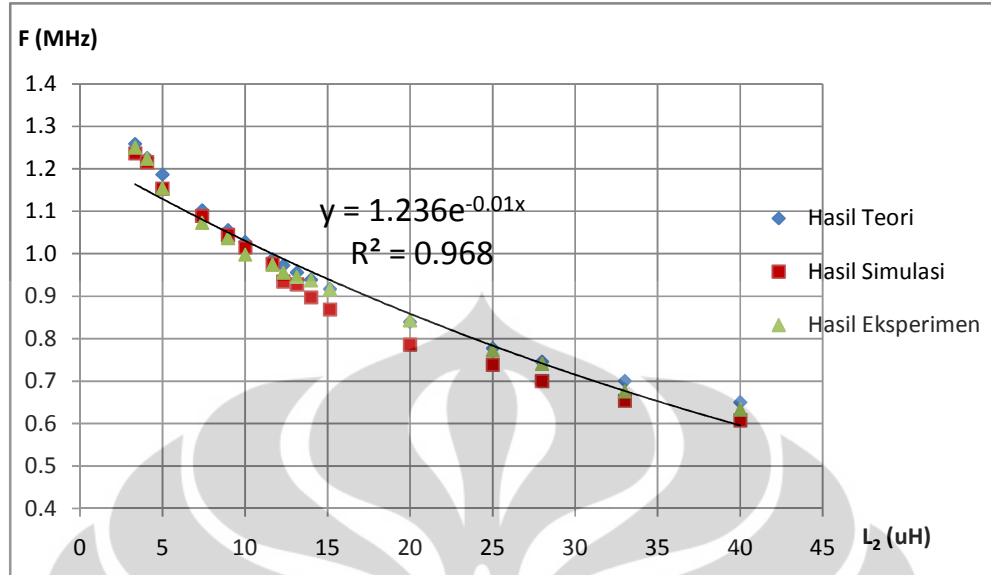
Selanjutnya yaitu mengenai hasil variasi nilai induktor akan dibahas dengan menggunakan metode yang sama saat membahas variasi nilai kapasitor. Ada 2 induktor yang akan divariasikan pada resonator yaitu pada L_1 dan L_2 .

Awalnya penulis melakukan eksperimen untuk variasi L_1 sehingga nilai L_2 dan C dibuat tetap. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor L_1 seperti yang terlampir pada Tabel 4 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.13 Grafik Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L_1 pada Tipe Hartley

Kemudian penulis melakukan eksperimen untuk variasi L_2 sehingga nilai L_1 dan C dibuat tetap. Dari eksperimen yang telah dilakukan, maka didapat data eksperimen respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor L_2 seperti yang terlampir pada Tabel 4 pada lampiran kemudian didapat respon frekuensinya sebagai berikut,



Gambar 4.14 Grafik Linier Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L_2 pada Tipe Hartley

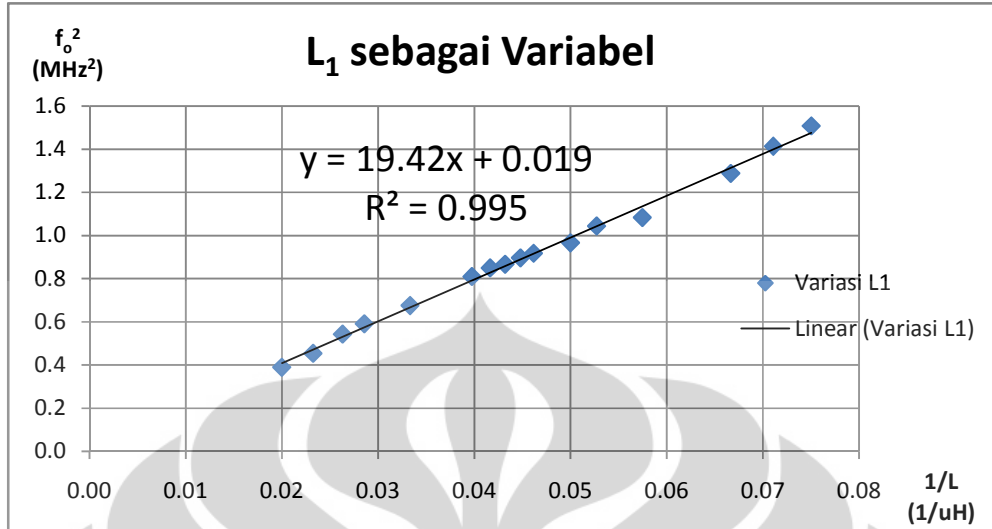
Pada Gambar 4.13 dan 4.14, penulis memasukkan data hasil teori, simulasi, dan eksperimen untuk membandingkan hasil respon frekuensi terhadap variasi nilai komponen induktor L_1 dan L_2 . Terlihat bahwa hasil eksperimen yang telah didapat hampir mendekati hasil teori dan simulasi. Dari grafik frekuensi fungsi dari induktor L_1 dan L_2 didapat grafik eksponensial. Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk L_1 sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$$

$$f_0^2 = \left(\frac{1}{(4\pi^2)(C)} \right) \frac{1}{L} \Rightarrow L = L_1 + L_2, \text{ dengan } L_2 \text{ konstan}$$

$$y = a x + b$$

dengan $y = f_0^2$, $x = 1/L$, dan a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.15 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Induktor L_1 pada Tipe Hartley

Terlihat pada Gambar 4.15 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 19.42. *Range* perubahan kapasitansi L_1 pada grafik yaitu (3.3-40) uH dan perubahan frekuensinya yaitu (1.228-0.624) MHz. Kemiringan yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 19.42x + 0.019$$

$$\frac{dy}{dx} = 19.42$$

Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/L$ dari komponen induktornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Dengan nilai L merupakan nilai induktor L_1 dan L_2 yang dipasang seri. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* induktansi 3.3-40 μH dan didapat sensitivitas sebesar,

$$\frac{\Delta f_0}{\Delta L_1} = -0.016 \frac{\text{MHz}}{\mu\text{H}} = -16 \frac{\text{kHz}}{\mu\text{H}}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -16 kHz/ μH yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 μH , maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 16 kHz.

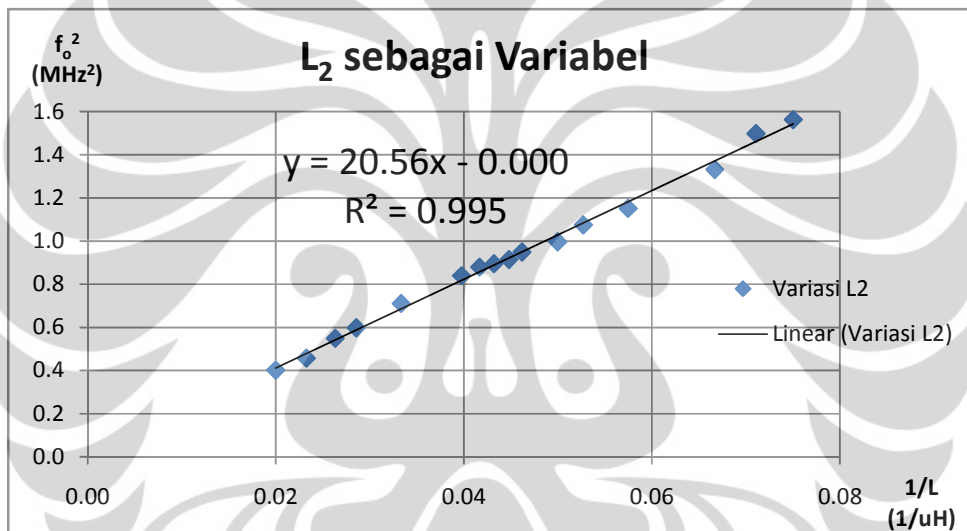
Untuk mendapatkan grafik yang linier, maka persamaan frekuensi osilasi untuk L_2 sebagai variabel harus diubah menjadi persamaan linier $y = ax + b$, yaitu sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$$

$$f_0^2 = \left(\frac{1}{(4\pi^2)(C)} \right) \frac{1}{L} \Rightarrow L = L_1 + L_2, \text{ dengan } L_1 \text{ konstan}$$

$$y = a x + b$$

dengan $y = f_0^2$, $x = 1/L$, dan a dan b adalah konstanta. Sehingga didapat grafik persamaan liniernya sebagai berikut,



Gambar 4.16 Grafik Linieritas Respon Frekuensi terhadap Variasi Kapasitor L_2 pada Tipe Hartley

Terlihat pada Gambar 4.16 memiliki sifat linieritas yang cukup baik karena nilai R^2 yang mendekati 1 yaitu 0.995. *Range* perubahan kapasitansi C_2 pada grafik yaitu (3.3-40) uH dan perubahan frekuensinya yaitu (1.250-0.633) MHz. Kemiringan yang didapat yaitu merupakan turunan pertama dari persamaan *fitting* yang terdapat pada grafik yaitu,

$$y = 20.56x + 0.0$$

$$\frac{dy}{dx} = 20.56$$

Terlihat bahwa nilai dari kuadrat frekuensi osilasinya akan sebanding dengan nilai $1/L$ dari komponen induktornya sehingga grafik yang didapat akan linier. Dengan nilai L merupakan nilai induktor L_1 dan L_2 yang dipasang seri. Kemudian penulis melihat karakteristik pada *range* induktansi 3.3-40 μH dan didapat sensitivitas sebesar,

$$\frac{\Delta f_0}{\Delta L_2} = -0.016 \frac{\text{MHz}}{\mu\text{H}} = -16 \frac{\text{kHz}}{\mu\text{H}}$$

Terlihat bahwa nilai sensitivitasnya bernilai negatif yaitu -16 $\text{kHz}/\mu\text{H}$ yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 μH , maka frekuensi osilasinya akan turun sebesar 16 kHz .

4.2.3 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.

4.2.3.1 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

Karakteristik	Tipe Osilator	
	Colpitts	Hartley
Sensitivitas ($\Delta f/\Delta L$) ($\text{kHz}/\mu\text{H}$)	-78	-16
Range (ΔL) (μH)	2-40	3.3-40
Range (Δf) (MHz)	3.889-0.921	1.250-0.633
Linieritas (R^2)	0.999	0.995

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 cukup dekat. Jadi, untuk mempermudah dalam menentukan karakteristik sensor yang baik, maka dapat dilihat dari sensitivitas, *range*, dan linieritas. Jika dibandingkan dari nilai sensitivitasnya, osilator tipe Colpitts memiliki nilai sensitivitas yang lebih besar dibandingkan tipe Hartley yaitu sekitar $-78 \text{ kHz}/\mu\text{H}$ dengan *range* perubahan frekuensi sekitar 3.889-0.921 MHz dan koefisien korelasi sebesar 0.999. Jadi, dapat disimpulkan bahwa karakteristik sensor induktif yang cukup baik terdapat pada osilator tipe Colpitts pada *range* perubahan induktansi sekitar 2-40 μH .

Untuk osilator tipe Hartley juga masih dapat digunakan sebagai sensor induktif, namun karakteristiknya tidak sebaik pada tipe Colpitts. Terlihat bahwa pada tipe Hartley memiliki nilai sensitivitas yang jauh lebih kecil yaitu sekitar $-16 \text{ kHz}/\mu\text{H}$ dengan *range* perubahan frekuensi sekitar 1.250-0.633 MHz dan koefisien korelasi sebesar 0.995.

4.2.3.2 Osilator-Sensor Kapasitif

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

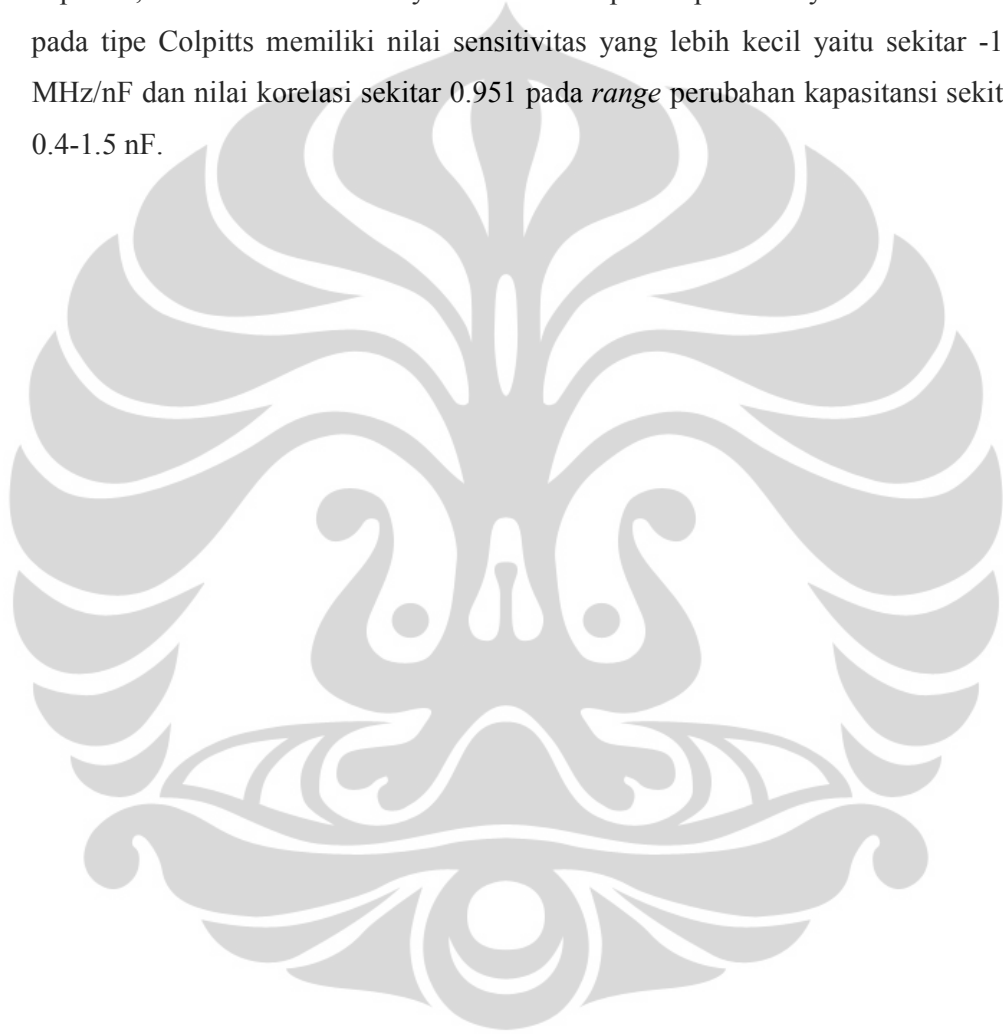
Tabel 4.2 Karakteristik Osilator sebagai Sensor Kapasitif

Karakteristik	Tipe Osilator	
	Colpitts	Hartley
Sensitivitas ($\Delta f/\Delta C$) (MHz/nF)	-1.5	-1.983
Range (ΔC) (nF)	0.04-1.5	0.05-1.5
Range (Δf) (MHz)	3.264-1.074	3.695-0.819
Linieritas (R^2)	0.951	0.988

Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa setiap tipe osilator memiliki nilai sensitivitas, *range*, dan linieritas yang berbeda. Nilai koefisien korelasi pada setiap tipe osilator memiliki perbedaan yang cukup dekat. Jadi, untuk mempermudah dalam menentukan karakteristik sensor yang baik, maka dapat dilihat dari sensitivitas, *range*, dan linieritas. Jika dibandingkan dari nilai sensitivitasnya, osilator tipe Hartley memiliki nilai sensitivitas yang lebih besar dibandingkan tipe Colpitts

yaitu sekitar -1.983 MHz/nF dengan *range* perubahan frekuensi sekitar $3.695\text{-}0.819 \text{ MHz}$ dan koefisien korelasi sebesar 0.988 . Jadi, dapat disimpulkan bahwa karakteristik sensor induktif yang cukup baik terdapat pada osilator tipe Hartley pada *range* perubahan kapasitansi sekitar $0.05\text{-}1.5 \text{ nF}$.

Untuk osilator tipe Colpitts juga masih dapat digunakan sebagai sensor kapasitif, namun karakteristiknya tidak sebaik pada tipe Hartley. Terlihat bahwa pada tipe Colpitts memiliki nilai sensitivitas yang lebih kecil yaitu sekitar -1.5 MHz/nF dan nilai korelasi sekitar 0.951 pada *range* perubahan kapasitansi sekitar $0.4\text{-}1.5 \text{ nF}$.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari yang telah dilakukan oleh penulis mengenai eksperimen osilator sensor tipe Colpitts dan Hartley, 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 0.86 dan 2.17. Pada tipe 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 Hartley, nilai penguatan pada *amplifier CC* dan resonatornya yaitu 0.86 dan 2.14. Pada tipe Hartley 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.
2. Untuk mendapatkan karakteristik osilator-sensor induktif yang baik, dapat menggunakan transduser induktor L pada osilator tipe Colpitts:
 - a) Nilai sensitivitas = $-78 \text{ kHz}/\mu\text{H}$
 - b) Nilai koefisien korelasi = 0.999
 - c) *Range* perubahan nilai induktor = $2\text{-}40 \mu\text{H}$
 - d) *Range* perubahan frekuensi = $3.889\text{-}0.921 \text{ MHz}$
3. Untuk mendapatkan karakteristik osilator-sensor kapasitif yang baik, dapat menggunakan transduser kapasitor C pada osilator tipe Hartley:
 - a) Nilai sensitivitas = $-1.983 \text{ MHz}/\text{nF}$
 - b) Nilai koefisien korelasi = 0.988
 - c) *Range* perubahan nilai kapasitor = $0.05\text{-}1.5 \text{ nF}$
 - d) *Range* perubahan frekuensi = $3.695\text{-}0.819 \text{ MHz}$

5.2 Saran

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

1. Mengaplikasikan osilator-sensor ini untuk mengukur bermacam-macam besaran fisika.
2. Penggunaan IC op-amp atau transistor FET sebagai perbandingan terhadap BJT untuk memvariasikan komponen aktifnya.
3. Studi kestabilan rangkaian Osilator dalam mempertahankan frekuensi output.
4. 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. Besancon : s.n., Juni 26, 1995.
- [10] **Swistida, Dedy.** Perbandingan Karakteristik Rangkaian Osilator Tipe Colpitts, Pierce, dan Clapp untuk Pengkondisi Sinyal Sensor Induktif dan Kapasitif (Skripsi Sarjana). Depok : Departemen Fisika Universitas Indonesia, 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.
- [15] **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.



LAMPIRAN

Data Pengamatan Tipe Colpitts:

Tabel 1. Perubahan frekuensi terhadap perubahan induktansi L

L (μH)	F _{Teori} (MHz)	F _{Eksperimen} (MHz)	V _{Eksperimen} (V _{pp})
2.00	4.111	3.889	1.08
2.50	3.677	3.507	1.08
3.33	3.186	3.060	1.09
4.07	2.882	2.773	1.12
5.00	2.600	2.521	1.12
6.88	2.217	2.142	1.12
7.37	2.142	2.073	1.13
9.43	1.894	1.843	1.13
10.00	1.839	1.791	1.13
13.20	1.600	1.590	1.13
14.00	1.554	1.529	1.14
15.15	1.494	1.489	1.14
16.50	1.431	1.457	1.15
20.00	1.300	1.278	1.16
21.88	1.243	1.265	1.17
22.00	1.240	1.211	1.17
26.43	1.131	1.141	1.18
28.00	1.099	1.077	1.18
30.00	1.062	1.061	1.19
33.00	1.012	1.053	1.19
38.00	0.943	0.984	1.19
40.00	0.919	0.921	1.20
43.00	0.887	0.925	1.22
48.00	0.839	0.841	1.24
50.00	0.822	0.822	1.24
63.00	0.733	0.747	1.27
71.00	0.690	0.720	1.29
81.00	0.646	0.673	1.33
91.00	0.610	0.643	1.36
100.00	0.581	0.641	1.38
148.00	0.478	0.533	1.46
200.00	0.411	0.484	1.55
233.00	0.381	0.457	1.65
470.00	0.268	0.360	1.87

Tabel 2. Perubahan frekuensi terhadap perubahan kapasitansi C_1

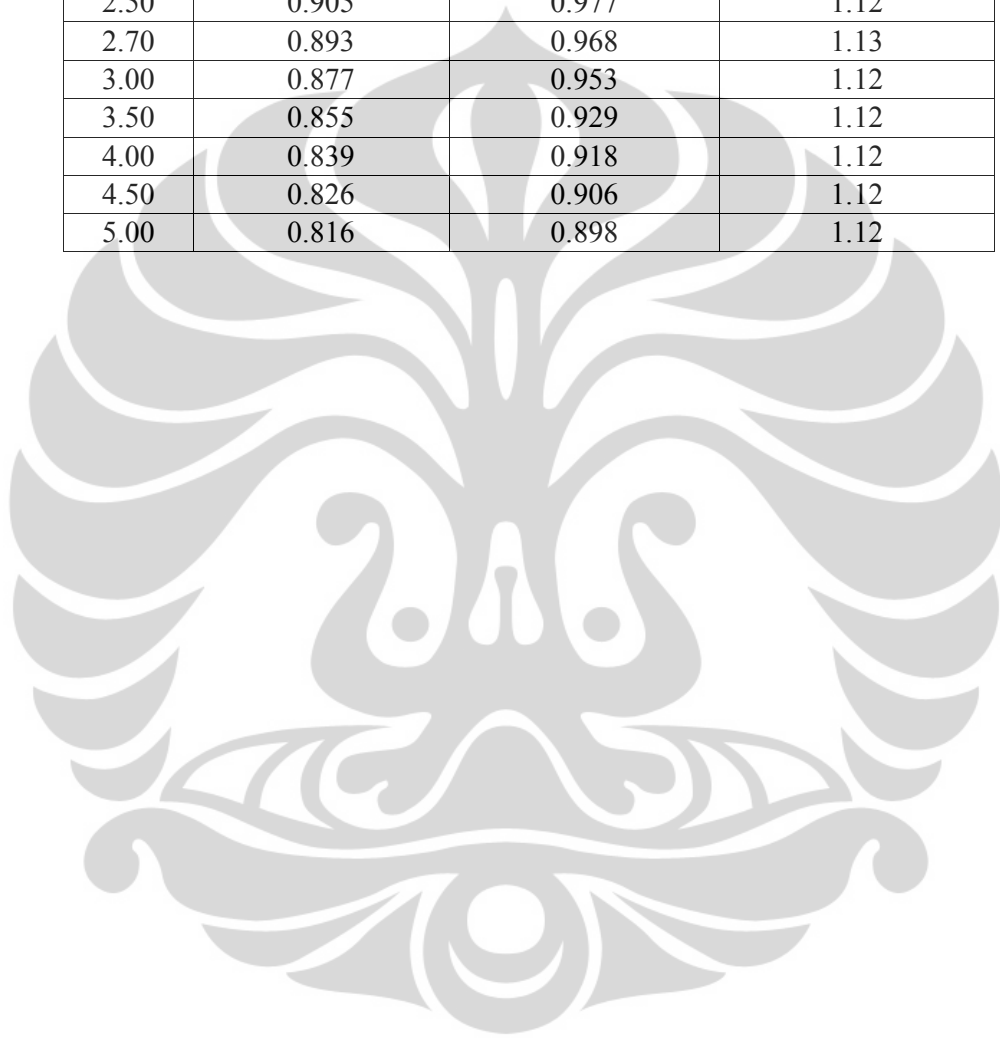
C_1 (nF)	F_{Teori} (MHz)	$F_{\text{Eksperimen}}$ (MHz)	$V_{\text{Eksperimen}}$ (Vpp)
0.04	4.441	3.264	1.01
0.05	3.985	3.222	1.01
0.06	3.649	3.088	1.01
0.08	3.280	2.909	1.01
0.09	3.008	2.784	1.01
0.10	2.863	2.676	1.02
0.20	2.087	2.084	1.02
0.22	2.001	2.035	1.02
0.30	1.753	1.783	1.02
0.32	1.707	1.752	1.02
0.40	1.560	1.595	1.02
0.44	1.503	1.560	1.02
0.50	1.431	1.469	1.04
0.54	1.391	1.443	1.04
0.64	1.309	1.356	1.07
0.74	1.245	1.289	1.08
0.84	1.195	1.237	1.09
0.94	1.153	1.195	1.09
1.00	1.132	1.187	1.10
1.05	1.115	1.170	1.10
1.10	1.100	1.153	1.10
1.15	1.087	1.138	1.11
1.20	1.074	1.134	1.11
1.25	1.062	1.112	1.11
1.30	1.050	1.099	1.11
1.35	1.040	1.088	1.11
1.40	1.030	1.085	1.11
1.45	1.021	1.075	1.11
1.50	1.012	1.074	1.11
1.55	1.004	1.056	1.12
1.60	0.996	1.056	1.12
1.65	0.989	1.047	1.12
1.70	0.982	1.039	1.12
1.75	0.975	1.031	1.12
1.80	0.969	1.024	1.12
1.82	0.967	1.022	1.12
1.85	0.963	1.016	1.12
1.90	0.957	1.011	1.12
1.94	0.953	1.007	1.12
2.00	0.947	0.999	1.12
2.50	0.905	0.955	1.13

2.70	0.893	0.938	1.12
3.00	0.877	0.919	1.12
3.50	0.855	0.901	1.12
4.00	0.839	0.878	1.12
4.50	0.826	0.868	1.12
5.00	0.816	0.855	1.12

Tabel 3. Perubahan frekuensi terhadap perubahan kapasitansi C_2

C_2 (nF)	F_{Teori} (MHz)	$F_{Eksperimen}$ (MHz)	$V_{Eksperimen}$ (Vpp)
0.05	3.985	2.100	1.01
0.06	3.649	2.069	1.01
0.08	3.280	2.023	1.01
0.09	3.008	1.988	1.01
0.10	2.863	1.958	1.01
0.20	2.087	1.747	1.01
0.22	2.001	1.727	1.02
0.30	1.753	1.600	1.02
0.32	1.707	1.570	1.02
0.40	1.560	1.490	1.02
0.44	1.503	1.467	1.02
0.50	1.431	1.407	1.02
0.54	1.391	1.389	1.04
0.64	1.309	1.325	1.05
0.74	1.245	1.274	1.07
0.84	1.195	1.217	1.08
0.94	1.153	1.195	1.09
1.00	1.132	1.187	1.09
1.05	1.115	1.173	1.11
1.10	1.100	1.160	1.11
1.15	1.087	1.147	1.11
1.20	1.074	1.135	1.11
1.25	1.062	1.124	1.11
1.30	1.050	1.113	1.11
1.35	1.040	1.103	1.11
1.40	1.030	1.093	1.11
1.45	1.021	1.089	1.11
1.50	1.012	1.079	1.11
1.55	1.004	1.070	1.11
1.60	0.996	1.061	1.12
1.65	0.989	1.054	1.12
1.70	0.982	1.047	1.12

1.75	0.975	1.041	1.12
1.80	0.969	1.034	1.12
1.82	0.967	1.033	1.12
1.85	0.963	1.029	1.12
1.90	0.957	1.023	1.12
1.94	0.953	1.020	1.12
2.00	0.947	1.013	1.12
2.50	0.905	0.977	1.12
2.70	0.893	0.968	1.13
3.00	0.877	0.953	1.12
3.50	0.855	0.929	1.12
4.00	0.839	0.918	1.12
4.50	0.826	0.906	1.12
5.00	0.816	0.898	1.12



Data Pengamatan Tipe Hartley:**Tabel 4.** Perubahan frekuensi terhadap perubahan kapasitansi C

C (nF)	F _{Teori} (MHz)	F _{Eksperimen} (MHz)	V _{Eksperimen} (Vpp)
0.05	5.036	3.695	15.6
0.08	4.111	2.874	15.0
0.10	3.561	2.323	14.2
0.20	2.518	1.697	14.2
0.30	2.056	1.303	14.2
0.40	1.780	1.259	14.2
0.50	1.592	1.219	14.2
0.64	1.408	1.171	14.2
0.74	1.309	1.100	14.0
0.84	1.229	1.040	14.0
0.94	1.161	0.982	14.0
1.00	1.126	0.953	13.8
1.10	1.074	0.908	13.8
1.20	1.028	0.861	13.3
1.30	0.988	0.845	13.2
1.40	0.952	0.822	13.2
1.50	0.919	0.819	13.0
1.60	0.890	0.799	13.0
1.70	0.864	0.778	13.0
1.80	0.839	0.758	12.8
1.90	0.817	0.737	12.2
2.00	0.796	0.716	11.8
3.00	0.650	0.587	11.6
4.00	0.563	0.507	11.4
4.50	0.531	0.482	10.8
6.00	0.460	0.416	10.6
7.00	0.426	0.383	10.6
7.20	0.420	0.381	10.4
8.20	0.393	0.378	10.4
9.70	0.362	0.325	10.4

Tabel 5. Perubahan frekuensi terhadap perubahan induktansi L_1

L_1 (μH)	F_{Teori} (MHz)	$F_{\text{Eksperimen}}$ (MHz)	$V_{\text{Eksperimen}}$ (Vpp)
3.33	1.259	1.228	14.0
4.07	1.226	1.189	14.0
5.00	1.187	1.135	14.0
7.40	1.102	1.041	14.0
8.97	1.055	1.022	14.2
10.00	1.028	0.983	14.2
11.66	0.988	0.958	14.2
12.32	0.973	0.947	14.2
13.15	0.955	0.931	14.4
14.00	0.938	0.922	14.4
15.15	0.917	0.900	14.4
20.00	0.839	0.822	14.4
25.00	0.777	0.769	14.4
28.00	0.746	0.737	14.8
33.00	0.701	0.674	15.0
40.00	0.650	0.624	15.2

Tabel 6. Perubahan frekuensi terhadap perubahan induktansi L_2

L_2 (μH)	F_{Teori} (MHz)	$F_{\text{Eksperimen}}$ (MHz)	$V_{\text{Eksperimen}}$ (Vpp)
3.33	1.259	1.250	14.8
4.07	1.226	1.224	14.8
5.00	1.187	1.154	14.6
7.40	1.102	1.073	14.4
8.97	1.055	1.037	14.4
10.00	1.028	0.998	14.0
11.66	0.988	0.974	14.0
12.32	0.973	0.956	14.0
13.15	0.955	0.946	14.0
14.00	0.938	0.938	13.8
15.15	0.917	0.916	13.8
20.00	0.839	0.843	13.8
25.00	0.777	0.773	13.8
28.00	0.746	0.741	13.8
33.00	0.701	0.676	13.6
40.00	0.650	0.633	13.6