



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK RESONATOR LC
DAN AMPLIFIER TIPE *BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR*
PADA RANGKAIAN OSILATOR COLPITTS
SEBAGAI PENGKONDISI SINYAL**

SKRIPSI

TAQWA TANJUNG

030502090X

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK RESONATOR LC
DAN AMPLIFIER TIPE *BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR*
PADA RANGKAIAN OSILATOR COLPITTS
SEBAGAI PENGKONDISI SINYAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

TAQWA TANJUNG

030502090X

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Taqwa Tanjung

NPM : 030502090X

Tanda Tangan :

Tanggal : 29 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Taqwa Tanjung
NPM : 030502090X
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Studi Karakteristik Resonator LC dan Amplifier Tipe Bipolar Junction Transistor pada Rangkaian Osilator Tipe Colpitts sebagai Pengkondisi Sinyal

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno ()

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

Penguji II : Dr. rer.nat Martarizal ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

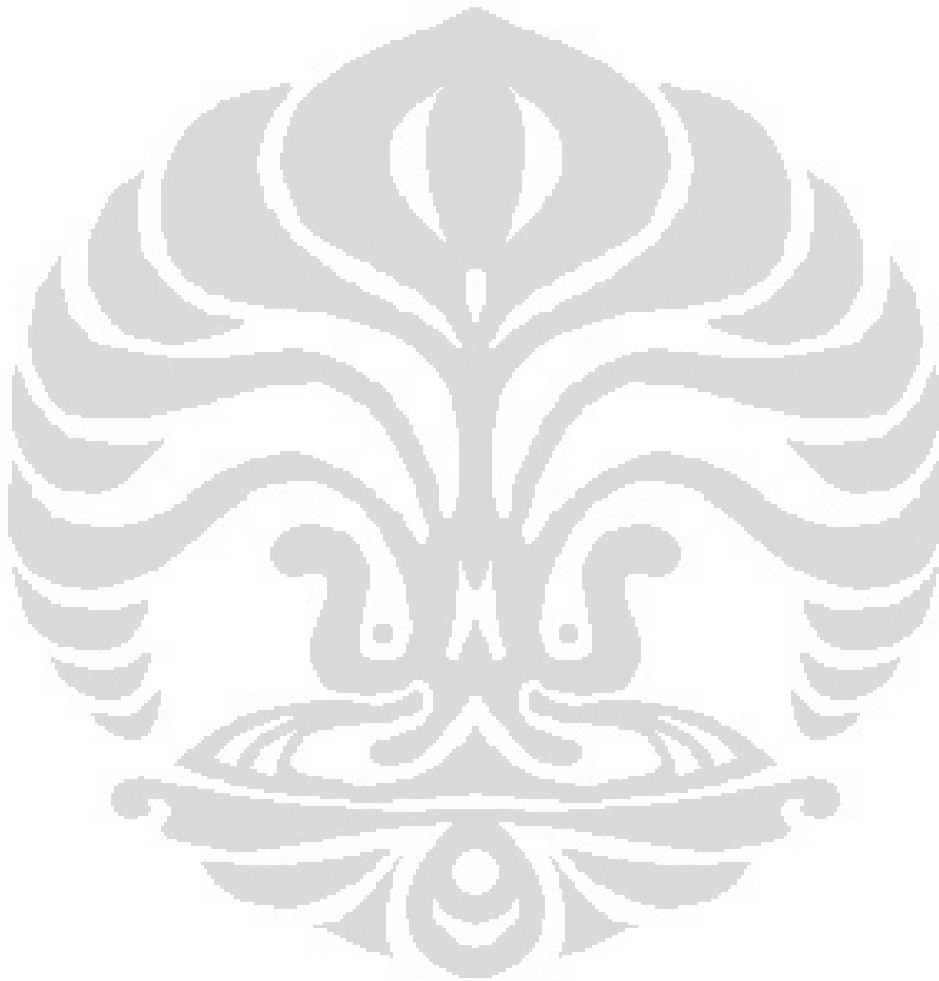
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Santoso Soekirno, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bpk. Sukatman dan Bpk. Budi, selaku laboran laboratorium yang saya gunakan yang telah banyak membantu dalam usaha menyediakan peralatan penelitian saya;
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
4. Vidi Amelia Ratnafury telah banyak memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Dedy Swistida, selaku teman satu perjuangan yang telah memberikan semangat pada saya selama penelitian;
6. Helmi Indra R, Imam Haromain, Fandy Akhmad selaku sahabat yang telah menyediakan waktunya untuk berbagi pengetahuan dalam proses penyelesaian skripsi ini;
7. Sahabat-sahabat saya dari semua angkatan di Jurusan Fisika yang telah memberikan berjuta semangat, terutama angkatan 2005 yang menyediakan tempat naungan selama penelitian;

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

Penulis, 2010



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Taqwa Tanjung
NPM : 030502090X
Program Studi : S1 Reguler
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

Studi Karakteristik Resonator LC dan *Amplifier* Tipe *Bipolar Junction Transistor* Pada Rangkaian Osilator Colpitts Sebagai Pengkondisi Sinyal

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok
Pada Tanggal : 29 Juni 2010
Yang menyatakan

(Taqwa Tanjung)

ABSTRAK

Nama : Taqwa Tanjung
Program Studi : Fisika
Judul : Studi Karakteristik Resonator LC dan *Amplifier Tipe Bipolar Junction Transistor* pada Rangkaian Osilator Colpitts Sebagai Pengkondisi Sinyal

Telah dilakukan studi pengaruh perubahan nilai setiap komponen penyusun rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts pada perubahan Frekuensi Osilasi. Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian sebelumnya yang membahas pengembangan osilator sebagai pengkondisi sinyal sensor pada sistem instrumentasi. Pengamatan menunjukkan elemen induktif pada rangkaian resonan dominan mempengaruhi frekuensi osilasi sehingga jenis transduser yang dikembangkan pada penelitian ini bersifat induktif. Dari pengembangan osilator Colpitts sebagai pengkondisi sinyal dalam sensor pergerakan, terlihat sensitivitas yang dihasilkan 0,0068 MHz/mm.

Kata Kunci: Osilator, Colpitts, Resonator LC, Amplifier BJT

ABSTRACT

Name : Taqwa Tanjung
Program Study : Physics
Title : Study of LC Resonant and BJT-Tuned Amplifier Circuit on Colpitts Oscillator as Signal Conditioning

A study about the effect of frequency changes caused by electric parameter's change on Colpitts oscillator have been done. This research is a continuation of previous studies that discuss about the development of oscillators as signal conditioning on the instrumentation system. This research shows that an inductive element in the dominant resonant series affecting the frequency of oscillation, so the type of transducer that was developed in this study is inductive. By the development of Colpitts' oscillator as the signal conditioning of displacement sensor, the result of the sensitivity is 0,0068MHz / mm.

Keywords: Oscillator, Colpitts, Resonator LC Resonant, BJT-tuned Amplifier

DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PEMBATASAN PENELITIAN.....	1
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 METODOLOGI PENELITIAN.....	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 ELEMEN PENYUSUN RANGKAIAN OSILATOR.....	5
2.1.1 Rangkaian Resonan.....	5
2.1.1.1 Kapasitor.....	5
2.1.1.2 Induktansi.....	7
2.1.1.3 Resonansi pada rangkaian LC.....	8
2.1.1.4 Rangkaian Resonan LC Colpitts.....	9
2.1.2 Rangkaian Penguat.....	10
2.1.2.1 Biasing pada BJT.....	10
2.1.2.2 Model <i>Small-Signal</i>	12
2.1.3 Umpan Balik Positif.....	14
2.2 RANGKAIAN OSILATOR TIPE COLPITTS DENGAN PENGUAT TIPE COMMON-COLLECTOR.....	15

2.3.1 Operasi small-signal pada osilator Colpitts.....	18
2.3 <i>INDUCTION COIL</i>	19
2.3.1 <i>Air-Cored Induction Coil</i>	19
3. PERANCANGAN EKSPERIMEN	22
3.1 DESAIN RANGKAIAN.....	22
3.1.1 Perhitungan bias set point pada rangkaian penguat.....	23
3.2 PARAMETER PADA PENELITIAN.....	24
3.3 DESAIN TRANSDUSER.....	25
3.4 RESPON TRANSDUSER TERHADAP PERUBAHAN POSISI INTI <i>PERMEABLE</i>	27
4. ANALISA	30
4.1 RESPON FREKUENSI.....	30
4.2 VARIASI PERUBAHAN ELEMEN RESONANTOR.....	31
4.2.1 Variasi Perubahan Induktor L.....	32
4.3.2 Variasi Perubahan Kapasitansi C_1	34
4.3.3 Variasi Perubahan Kapasitansi C_2	35
4.3.4 Variasi Perubahan Kapasitor C_C	36
4.3.5 Variasi Perubahan Parameter pada Elemen Amplifier.....	37
4.4 APLIKASI OSILATOR SENSOR TIPE COLPITTS UNTUK MENDETEKSI PERGESERAN (<i>DISPLACEMENT</i>).....	39
5. PENUTUP	41
5.1 KESIMPULAN.....	41
5.2 SARAN.....	42
DAFTAR ACUAN	43
LAMPIRAN 1	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1: Skema Perancangan Alat.....	3
Gambar 2. 1: Kapasitor pelat sejajar.....	5
Gambar 2. 2: Grafik tegangan dan arus pada rangkaian Kapasitor.....	6
Gambar 2. 3: Loop Tunggal Tertutup.....	7
Gambar 2. 4: Grafik tegangan dan arus pada rangkaian induktor.....	8
Gambar 2. 5: Perubahan reaktansi kapasitif dan induktif terhadap frekuensi...	8
Gambar 2. 6: Rangkaian Osilator LC Tipe Colpitts.....	9
Gambar 2. 7: Bentuk umum dari rangkaian pembias pada transistor.....	11
Gambar 2. 8: Diagram load-line pada rangkaian pembias.....	12
Gambar 2. 9: Bentuk rangkaian ekuivalen hybrid- π dari transistor.....	12
Gambar 2. 10: Rangkaian ekuivalen common-collector pada frekuensi rendah	13
Gambar 2. 11: Rangkaian dasar umpan balik positif.....	14
Gambar 2. 12: (a) Osilator Colpitts dengan penguat BJT dan (b) model ac dari osilator Colpitts.....	16
Gambar 2. 13: Rangkaian Open-Loop Osilator Colpitts.....	18
Gambar 2. 14: Air-Cored induction coil pada meda magnet yang berubah terhadap waktu.....	20
Gambar 2. 15: Rangkaian ekuivalen dari Air-Cored induction coil pada frekuensi tinggi.....	20
Gambar 3. 1: (a) Skema rangkaian, (b) bentuk fisik dari osilator Colpitts yang digunakan dalam penelitian.....	22
Gambar 3. 2: Prinsip utama transduser perubahan jarak dengan output perubahan induktansi.....	26
Gambar 3. 3: Transduser dengan output perubahan induktansi.....	26
Gambar 3. 4: Sensor Induktansi.....	27
Gambar 3. 5: Skema rangkaian pengukuran induktansi transduser.....	28
Gambar 4. 1: Hasil output gelombang osilasi pada osiloskop. (a) Frekuensi osilasi 766KHz, (b) Frekuensi osilasi 3,18 MHz.....	34

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3. 1: Perubahan induktansi transduser	29
Grafik 4. 1: Diagram Bode pada rangkaian open-loop osilator Colpitts. (a) Penguatan open-loop, (b) Pergeseran fase.....	31
Grafik 4. 2: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan induktansi L	33
Grafik 4. 3: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan kapasitor C_1	34
Grafik 4. 4: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan kapasitor C_2	35
Grafik 4. 5: Perubahan frekuensi dan tegangan terhadap kapasitansi pada kapasitor C_C	36
Grafik 4. 6: Persentase perubahan frekuensi osilasi nominal terhadap variasi parameter sebesar 20%.....	38
Grafik 4. 7: Perubahan Induktansi (transduser) sebagai fungsi Pergeseran Inti di daerah linier (rentang posisi 1.5 sd 9 mm terhadap titik tengah).....	39
Grafik 4. 8: Perubahan Frekuensi Osilasi Osilator Colpitts terhadap Pergeseran Inti Transduser Induktif.....	40

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pengukuran besaran fisika berperan penting dalam perkembangan teknologi. Tujuan dari pengukuran besaran fisika selain dari bagian kegiatan riset teknologi, juga berperan sebagai penunjang dalam sistem elektronika terapan. Pengembangan sensor salah satunya. Sensor atau transduser adalah elemen pengubah besaran fisika menjadi besaran listrik. Bentuk keluaran besaran listrik dari transduser dalam industri biasanya berupa resistansi, tegangan, kapasitansi, dan induktansi. Seiring perkembangan teknologi, tuntutan akan hasil pengukuran yang lebih sensitif ikut meningkat.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja pengukuran besaran fisika dengan mengkombinasikan antara elemen transduser dan rangkaian osilator [1], [2], [3], [4]. Rangkaian osilator yang digunakan pada penelitian tersebut mempunyai bentuk rangkaian osilator Colpitts. Osilator Colpitts mempunyai keunggulan seperti lebih sederhana dan memiliki *phase noise* yang kecil [5].

Pada penelitian pada [1], [2], [3] belum membahas pengaruh perubahan nilai setiap komponen penyusun rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts pada perubahan Frekuensi Osilasi. Dengan demikian diperlukan penelitian lanjut untuk mengamati pengaruh perubahan nilai setiap komponen penyusun rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts pada perubahan Frekuensi Osilasi. Penelitian ini juga dilakukan sebagai salah satu dokumen untuk memperoleh gelar Sarjana (S-1) di lingkungan Departemen Fisika Universitas Indonesia.

1.2 PEMBATASAN PENELITIAN

Penelitian ini terbatas pada pengamatan pada resonator LC dan Oscillator tipe Colpitts dengan *amplifier* tipe BJT pada osilator sensor dengan *displacement* sebagai besaran fisika yang akan diamati.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

- a. Mempelajari konfigurasi *resonator* dan *amplifier* pada rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts sebagai pengkondisi sinyal melalui perbandingan studi teori dan praktek,
- b. Mengamati pengaruh perubahan nilai setiap komponen penyusun rangkaian Osilator Sensor tipe Colpitts pada perubahan Frekuensi Osilasi,
- c. Aplikasi Osilator-Sensor tipe Colpitts untuk mendeteksi salah satu besaran fisika dengan menggunakan salah satu komponen resonator.

1.4 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan terdiri atas tiga metode utama, antara lain:

a. Studi Literatur

Metode ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan penelitian ini baik dari literatur, internet, data sheet, buku-buku yang berhubungan, serta penjelasan yang diberikan oleh pembimbing penelitian maupun mahasiswa dan alumni yang kompeten dibidang tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

b. Studi Alat dan Komponen

Metode ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik dan spesifikasi alat yang akan digunakan pada saat penelitian baik berdasarkan data sheet maupun uji coba, diantaranya sehingga diperoleh informasi mengenai fungsi dan cara penggunaan dari masing-masing alat tersebut.

c. Penelitian Laboratorium

Metode ini dilakukan untuk membuat alat sesuai dengan hasil perancangan yang telah dibuat, meneliti cara kerjanya, dan mengumpulkan data yang diperoleh pada pengamatan pada alat.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat penelitian antara lain meliputi:

a. Studi Literatur

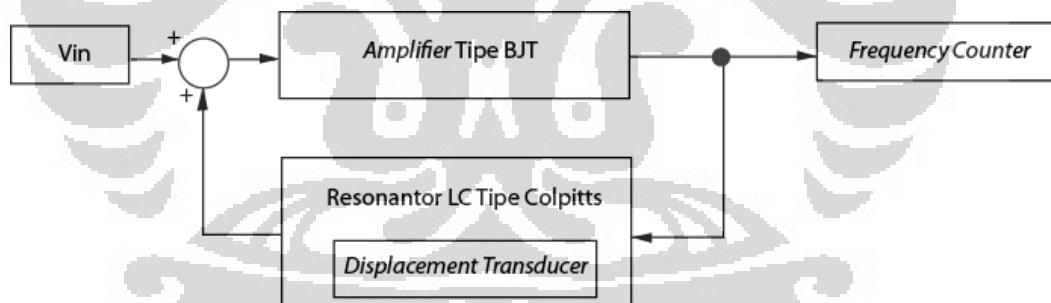
Pada tahap ini digunakan berbagai sumber pustaka seperti buku-buku panduan, artikel-artikel maupun jurnal-jurnal serta informasi yang diperoleh dari internet. Tahap ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh berbagai informasi penting yang berkaitan dengan penelitian.

b. Diskusi

Diskusi bertujuan untuk memperoleh solusi dari berbagai permasalahan yang ditemukan pada saat penelitian berlangsung. Adapun diskusi dilakukan baik dengan pembimbing penelitian maupun mahasiswa yang kompeten dibidang tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

c. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari displacement sensor yang menghasilkan keluaran berupa perubahan induktansi atau kapasitansi, rangkaian osilator tipe Colpitts dan *frequency counter*. Perancangan alat disusun sebagai berikut:



Gambar 1. 1: Skema Perancangan Alat

d. Pembuatan Alat

Alat yang akan digunakan pada saat penelitian dibuat berdasarkan perancangan yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

e. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa alat yang dipakai pada saat penelitian dapat berkerja dengan baik sesuai dengan fungsinya sehingga tidak menimbulkan permasalahan pada saat dilakukan pengambilan data.

f. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah semua alat pada sistem monitoring teruji dengan baik sehingga data yang diperoleh adalah data yang valid. Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan.

g. Pembuatan Laporan Akhir

Laporan akhir dibuat berdasarkan hasil pengujian dan pengambilan data disertai dengan analisa terhadap proses yang berlangsung selama penelitian.

h. Kesimpulan

Kesimpulan secara keseluruhan yang merupakan tahap akhir dari penelitian ini diambil setelah pembuatan laporan akhir selesai beserta hasil analisa mengenai semua proses yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan untuk laporan akhir dari penelitian ini terdiri atas lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

Bab 1: Merupakan pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan dan ruang lingkup pembahasan.

Bab II : Menguraikan tentang teori dasar dari osilator, sensor perpindahan dan teori lain yang terkait dalam penelitian.

Bab III: Menguraikan tentang rancangan alat, meliputi cara kerja rangkaian, metoda pengamatan eksperimen dan hasil atau data yang diperoleh dari eksperimen.

Bab IV: Menguraikan tentang analisis data yang diperoleh.

Bab V: Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran dari pembahasan yang telah diuraikan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ELEMEN PENYUSUN RANGKAIAN OSILATOR

Komponen dasar pada rangkaian osilator berupa penguat, resonan, dan rangkaian umpan balik positif. Rangkaian penguat merupakan komponen yang membatasi amplitudo dari osilasi dan rangkaian resonan berfungsi sebagai komponen yang menentukan frekuensi osilasi. Kedua rangkaian ini digabungkan dengan menggunakan umpan balik positif untuk dapat menghasilkan osilasi. Hal ini dikarenakan sinyal umpan balik pada umpan balik positif memiliki fase yang sama dengan sinyal masukan. Osilasi muncul dengan kondisi demikian [6].

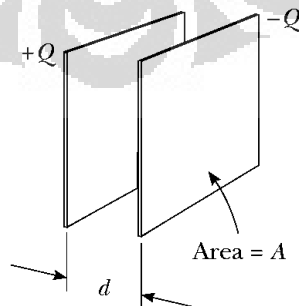
2.1.1 Rangkaian Resonan

2.1.1.1 Kapasitor

Kapasitor merupakan salah satu komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang terisolasi satu dengan yang lain. Bila kita asumsikan medium antara keduanya adalah vakum, dimana kedua konduktor memiliki muatan q yang sama tapi memiliki polaritas berbeda dengan beda potensial V , maka diperoleh hubungan antara beda potensial V dengan beda muatan q

$$q = C \times V \quad (2.1)$$

Dengan C merupakan konstanta proporsional yang sering disebut dengan Kapasitansi



Gambar 2. 1Kapasitor pelat sejajar

Salah satu bentuk nyata dari kapasitor adalah kapasitor pelat sejajar. Sebuah kapasitor pelat sejajar seperti yang terlihat pada Gambar 2. 1, memiliki muatan q pada masing-masing pelat dengan polaritas berlawanan, jarak antara pelat adalah d , dan luas permukaan pelat adalah A . Jarak relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan dimensi pelat, sehingga medan listrik E antara pelat, sehingga medan listrik E diasumsikan *uniform*, kapasitansi dari kapasitor pelat sejajar dapat diformulasikan sebagai

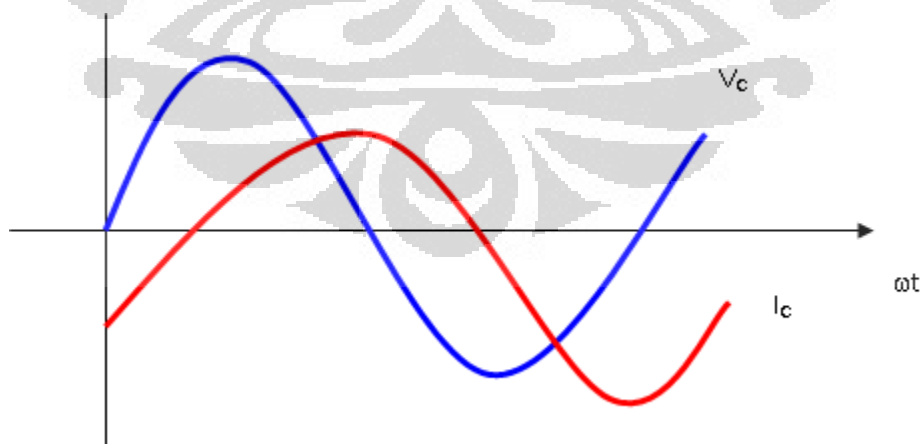
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) menunjukkan bahwa kapasitansi dari kapasitor pelat sejajar pada medium konstan bergantung kepada faktor geometri kapasitor.

Michael Faraday menjelaskan efek penambahan nilai kapasitansi sebagai akibat penyisipan medium dielektrik antara kedua konduktor, hubungan itu secara umum diformulasikan sebagai

$$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

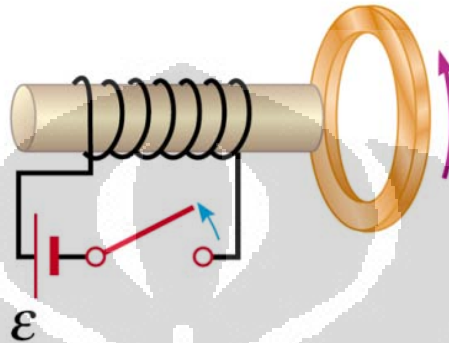
Dengan k merupakan konstanta dielektrik, yang nilainya bergantung jenis material. Bila kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka akan terjadi fenomena dimana arus tertinggal dari tegangan sebesar 90 derajat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2: Grafik tegangan dan arus pada rangkaian Kapasitor

2.1.1.2 Induktansi

Sebuah induktor bentuk umumnya dapat didekati dengan penggambaran sebuah *loop* tunggal seperti yang terlihat pada Gambar 2. 3. Saat saklar S ditutup, arus akan mengalir dan akan menghasilkan fluks magnetik ϕ . Bila arusnya diubah-ubah maka besar fluks akan berubah pula. Konstanta kesebandingan antara fluks magnetik dengan arus disebut induktansi.



Gambar 2. 3: *Loop* Tunggal Tertutup

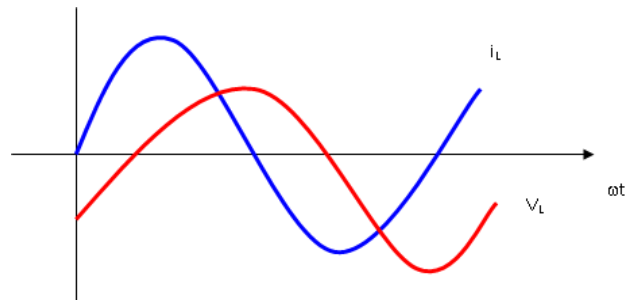
Pada selenoida dengan N buah gulungan *loop*, maka hubungannya menjadi $N\phi=Li$. Selenoida yang memiliki dimensi panjang l , luas penampang lintang (*cross section*) S dan jumlah *loop* per unit panjang n , memiliki formulasi induktansi:

$$L = \mu_0 n^2 S l \quad (2.4)$$

Dimana μ_0 merupakan permeabilitas relatif material.

Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa induktansi selenoida merupakan fungsi dari faktor geometri S dan l . selain itu, induktansi selenoida juga sangat dipengaruhi faktor medium pada rongga selenoida, yaitu parameter permeabilitas bahan medium (μ_0).

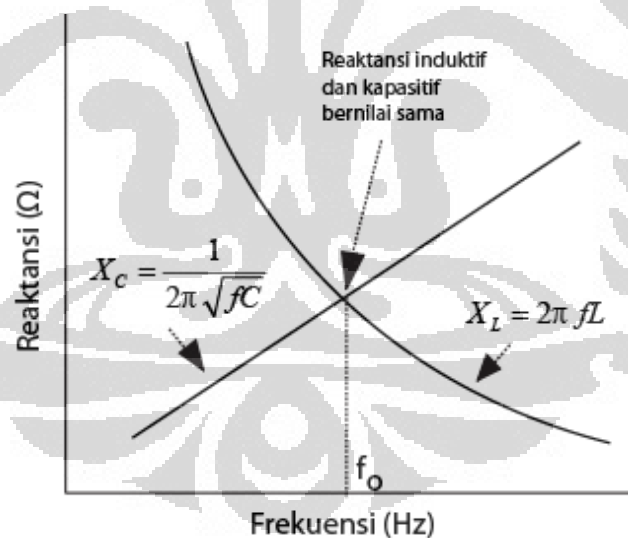
Apabila sebuah induktor dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka arus akan mendahului tegangan sebesar 90 derajat. Hal ini terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4: Grafik tegangan dan arus pada rangkaian induktor

2.1.1.3 Renonansi pada Rangkaian LC

Pada Gambar 2. 2 dan Gambar 2. 4 terlihat terjadinya perbedaan fase antara tegangan dan arus pada kapasitansi dan induktansi ketika dihubungkan dengan sumber tegangan AC. Jika sumber tegangan AC mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi resonansi f_o , maka akan timbul osilasi pada rangkaian LC [7]. Pada saat resonansi, besar reaktansi antara kapasitor dan induktor bernilai sama besar. Dengan demikian tidak ada arus yang mengalir pada saat resonansi.

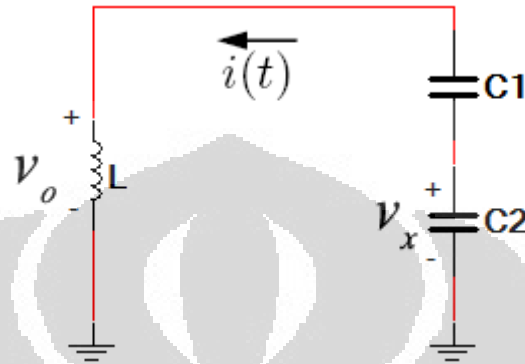


Gambar 2. 5: Perubahan reaktansi kapasitif dan induktif terhadap frekuensi

Dengan membandingkan Gambar 2. 2 dan Gambar 2. 4 ketika arus tidak ada yang mengalir pada resonansi (fase bernilai 90°), terlihat terjadi penjumlahan tegangan antara kapasitor dengan induktor. Pada kondisi ini, amplitudo osilasi bernilai maksimum.

2.1.1.4 Rangkaian Resonan LC Colpitts

Elemen resonan pada penelitian ini adalah rangkaian LC Colpitts dengan konfigurasi seperti Gambar 2. 6.



Gambar 2. 6: Rangkaian Osilator LC Tipe Colpitts

Pada Gambar 2. 6, persamaan *loop* tegangannya adalah:

$$\begin{aligned}
 L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_1} \int idt + \frac{1}{C_1} \int idt &= 0 \\
 L \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C_1} + \frac{i}{C_2} &= 0 \\
 LC \frac{d^2i}{dt^2} + i &= 0
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Solusi dari persamaan diferensial (2.5) adalah:

$$i(t) = k_1 e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + k_2 e^{-\frac{j}{\sqrt{LC}}t} \tag{2.6}$$

dimana konstanta k_1 dan k_2 tergantung kondisi awal. Jika pada kondisi awal dari rangkaian adalah $i(0)=i_0$ dan $\frac{di(0)}{dt} = 0$, maka persamaan (2.6) menjadi:

$$i(t) = \frac{i_0}{2} \left(e^{\frac{j}{\sqrt{LC}}t} + e^{-\frac{j}{\sqrt{LC}}t} \right) = i_0 \cos \frac{1}{\sqrt{LC}}t \tag{2.7}$$

Dengan memasukkan persamaan (2.7) ke persamaan (2.5), akan diperoleh tegangan v_x dan v_o , yaitu:

$$v_x(t) = -\frac{1}{C_2} \int idt = -\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{1} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}}t \tag{2.8}$$

$$v_o(t) = L \frac{di}{dt} = -Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t \quad (2.9)$$

Maka nilai penguatannya:

$$A = \frac{v_o}{v_x} = \frac{-Li_0 \frac{1}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t}{-\frac{1}{C_2} \frac{i_0}{\sqrt{LC}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t} = \frac{LC_2}{LC} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} > 1 \quad (2.10)$$

Rangkaian resonan akan menahan osilasi pada frekuensi $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ dan perbandingan antara tegangan v_o dengan v_x lebih besar dari 1.

2.1.2 Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat merupakan elemen yang berfungsi memberikan penguatan amplitudo pada osilasi tanpa mengubah frekuensinya. Rangkaian penguat juga berfungsi memberikan amplitudo yang konstan pada osilator. Salah satu bentuk rangkaian penguat adalah rangkaian *bipolar-junction transistor* atau BJT.

2.1.2.1 Biasing pada BJT

Rangkaian pembias pada transistor merupakan rangkaian yang berfungsi memastikan transistor bekerja sesuai dengan kondisi operasinya (*operating conditions*) [8]. Bentuk rangkaian pembias sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.7.

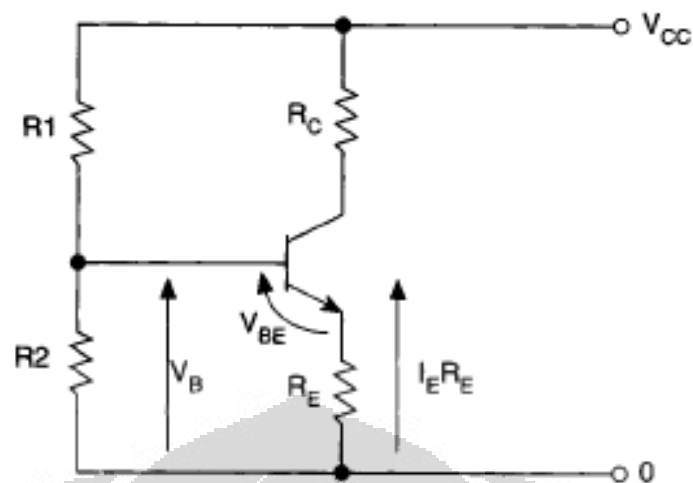
Nilai tegangan base ditentukan pada pembagi tegangan R_1 dan R_2 , yaitu

$$V_B \approx \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.11)$$

Arus I_B mengalir ke *base* dan menghasilkan nilai arus kolektor I_C . Dengan demikian arus pada *emitter* adalah

$$I_E = I_B + h_{FE} I_B \approx h_{FE} I_B \quad (2.12)$$

Arus kolektor I_E akan terus membesar sampai nilai tegangan pada base-emiter pada titik *quiescent* mencapai nilai konstan. Jika nilai I_E tidak cukup memadai, maka tegangan base-emitter V_{BE} akan terus meningkat. Dengan demikian arus kolektor akan terus berada di dekat titik *quiescent* (I_Q). Derajat keberhasilan menahan nilai I_Q disebut *bias stability*.



Gambar 2. 7: Bentuk umum dari rangkaian pembias pada transistor

Pada rangkaian Gambar 2. 7, jika arus I_B berkurang menuju nol, maka nilai I_C juga akan berkurang menuju nol. Hal ini menyebabkan tidak ada tegangan antara R_C dan R_E . Pada kondisi ini dikenal dengan kondisi *cut-off* dimana tegangan V_{CC} mengalir sepanjang transistor.

Jika arus I_B besar, maka I_C akan bernilai besar dan tegangan V_{CC} sepanjang R_C dan R_E akan *drop*. Nilai I_C ditentukan

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (2.13)$$

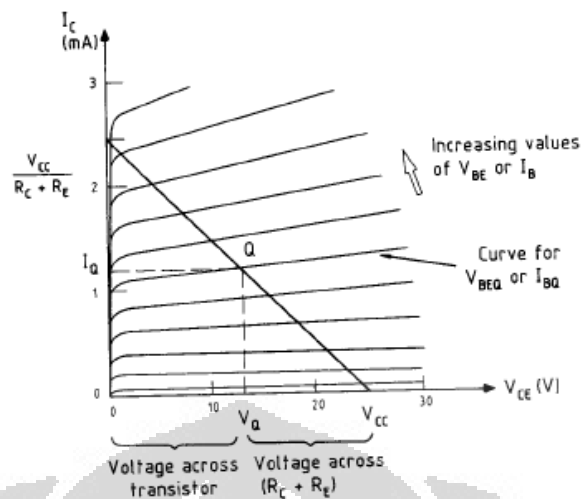
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \quad \text{atau} \quad (2.14)$$

$$I_C = -\frac{V_{CE}}{(R_C + R_E)} + \frac{V_{CC}}{(R_C + R_E)}$$

Karena transistor bersifat non-ohmik, maka tegangan sepanjang pada transistor juga ditentukan dengan tegangan drop sepanjang R_C dan R_E . Tegangan ini pada *quiescent point* ditentukan dengan:

$$V_Q = V_{CC} - \frac{I_Q}{(R_C + R_E)} \quad (2.15)$$

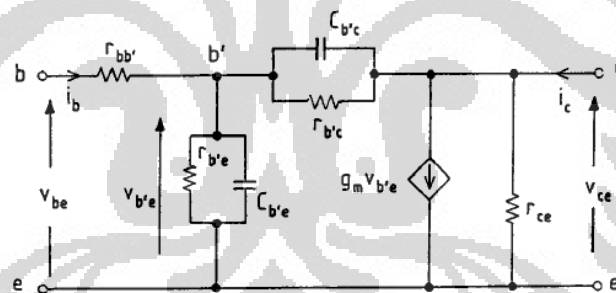
Karakteristik *output* pada transistor ditunjukkan dengan diagram *load-line* pada Gambar 2. 8 [8].



Gambar 2. 8: Diagram *load-line* pada rangkaian pembias

2.1.2.2 Model *Small-Signal*

Model matematika *small-signal* pada BJT memberikan bentuk relatif linear kurva *base* dan *collector* dalam lingkungan *operating point* pada penguat. Model *small-signal* memudahkan analisa untuk sinyal yang memiliki level relatif kecil [9].



Gambar 2. 9: Bentuk rangkaian ekuivalen *hybrid- π* dari transistor

Dari Gambar 2. 9 [8], nilai resistansi antara *b'* dan emitter *e* diberikan

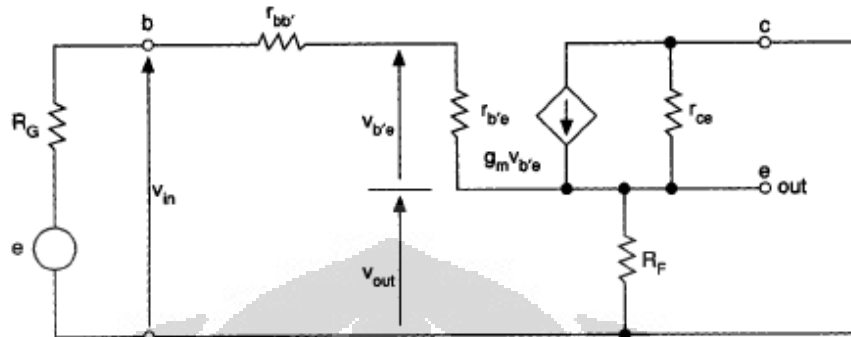
$$r_{b'e} = \frac{v_{b'e}}{i_b} = \frac{v_{b'e}}{i_c} \frac{i_c}{i_b} = \frac{h_{fe}}{g_m} \quad (2.16)$$

Dengan demikian tahanan total dari *base* ke *emitter* adalah

$$R_{in} = r_{bb'} + r_{b'e} = r_{bb'} + \frac{h_{fe}}{g_m} \approx \frac{h_{fe}}{g_m} \quad (2.17)$$

Untuk frekuensi rendah, nilai $C_{b'e}$ dan $C_{b'c}$ sangat kecil dan dapat diabaikan, dengan demikian bentuk rangkaian *hybrid- π* dari Gambar 2. 9 dapat

disederhanakan dan diadaptasi ke dalam rangkaian pembias *common-collector* pada frekuensi rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 10.



Gambar 2. 10 Rangkaian ekuivalen *common-collector* pada frekuensi rendah

Nilai resistansi *output* pada gambar 2.9 adalah

$$R_{out} = \frac{r_{bb'} + r_{b'e}}{h_{fe}} \approx \frac{1}{g_m} \quad (2.18)$$

dan resistansi *input*

$$R_{in} \approx r_{bb'} + r_{bb'} + h_{fe} R_E \approx h_{fe} R_E \quad (2.19)$$

Nilai penguatan pada rangkaian *common-collector* adalah

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{r_{b'e}} + g_m}{\frac{1}{r_{b'e}} + g_m + \frac{1}{R_E}} \approx \frac{g_m R_E}{g_m R_E + 1} \quad (2.20)$$

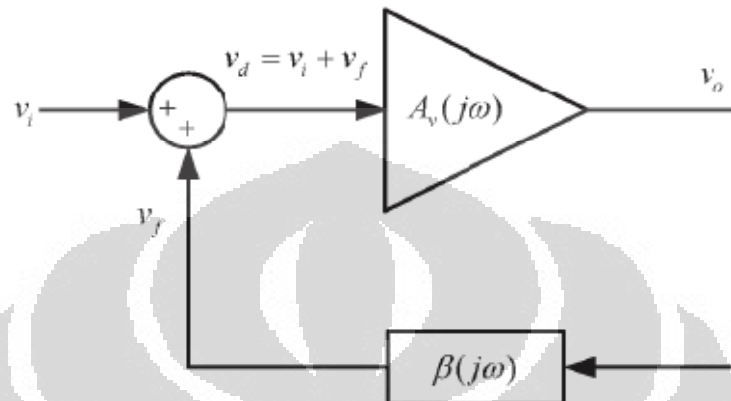
Dimana

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (2.21)$$

Terlihat bahwa rangkaian *common-collector* mempunyai nilai penguatan yang mendekati *unity*.

2.1.3 Umpan Balik Positif

Rangkaian osilator dapat dimodelkan dengan bentuk pemodelan umpan balik positif [10]. Osilasi pada model ini terjadi pada frekuensi resonan dari rangkaian resonan. Blok diagram sederhana osilator dengan umpan balik positif ditunjukkan pada Gambar 2. 11.



Gambar 2. 11: Rangkaian dasar umpan balik positif

Blok penyusun dari umpan balik positif terdiri dari rangkaian penguat dengan nilai penguatan $A_v(j\omega)$ dan rangkaian *feedback* berupa rangkaian resonan dengan fungsi transfer $\beta(j\omega)$ dimana $A_v(j\omega)$ dan $\beta(j\omega)$ merupakan fungsi kompleks untuk semua kondisi. Pada frekuensi osilasi, nilai $A_v(j\omega)$ bersifat konstan (A_{vo}) dan terdiri dari komponen *real*.

Dari Gambar 2. 11, dapat ditulis

$$v_o = A_{vo} v_d \quad (2.22)$$

$$v_f = \beta(j\omega) v_o \quad (2.23)$$

$$v_d = v_i + v_f \quad (2.24)$$

Dari persamaan (2.22), (2.23), dan (2.24), nilai penguatan *closed-loop* $A_{vf}(j\omega)$ diperoleh

$$A_{vf}(j\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_{vo}}{1 - \beta(j\omega) A_{vo}} \quad (2.25)$$

Untuk mendapatkan osilasi, sinyal keluaran harus muncul tanpa perlu diberikan sinyal keluaran. Ketika $v_i = 0$, nilai v_o yang terhingga hanya dapat diperoleh jika nilai penyebut di persamaan (2.25) juga sama dengan nol. Dengan demikian dapat ditulis

$$1 - \beta(j\omega)A_{vo} = 0$$

atau

$$\beta(j\omega)A_{vo} = 1 \quad (2.26)$$

Persamaan (2.26) menunjukkan nilai penguatan sepanjang *loop* harus sama dengan 1. Relasi ini dikenal sebagai kriteria Barkhausen.

Jika rangkaian *feedback* β terdiri dari komponen *real* dan imajiner,

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

Dengan membandingkan

$$\beta_r(\omega)A_{vo} = 1 \rightarrow A_{vo} = \frac{1}{\beta_r(\omega)} \quad (2.27)$$

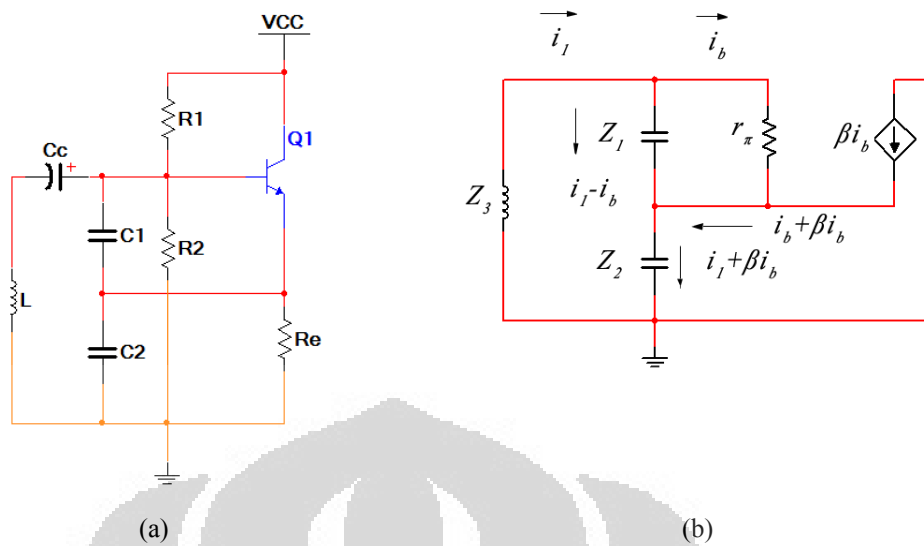
dan

$$\beta_i(\omega)A_{vo} = 0 \rightarrow \beta_i(\omega) = 0 \quad (2.28)$$

Persamaan (2.27) dan (2.28) merupakan kriteria Barkhausen dalam koordinat *rectangular* dimana persamaan (2.27) dikenal dengan kondisi penguatan dan persamaan (2.28) dikenal sebagai kondisi frekuensi osilasi. Dengan demikian kriteria Barkhausen mensyaratkan nilai penguatan gain sepanjang *loop* harus sama dengan 1 dan pergeseran fasenya tepat 360° [10].

2.2 RANGKAIAN OSILATOR TIPE COLPITTS DENGAN PENGUAT TIPE COMMON-COLLECTOR

Rangkaian osilator RLC (*tuned-circuit*) dengan menggunakan penguat transistor sangat populer digunakan untuk frekuensi output diatas 100 kHz [6]. Rangkaian ini dapat menentukan frekuensi dari osilasi dan berperilaku sebagai rangkaian umpan balik. Rangkaian resonan menghasilkan osilasi sinusoidal dengan distorsi yang rendah. Rangkaian penguat yang digunakan kebanyakan berupa *bipolar junction transistor* (BJT) dan *field-effect transistor* (FET). Pada penelitian ini, jenis rangkaian penguat adalah BJT dengan konfigurasi *common-collector*. Hal ini dikarenakan nilai penguatan *common-collector* bersifat unity [11] dan memenuhi persamaan (2.24). Bentuk konfigurasi umum dari osilator BJT [6] ditunjukkan dengan Gambar 2. 12(a) dan model analisa ac pada Gambar 2. 12(b).



Gambar 2. 12: (a) Osilator Colpitts dengan penguat BJT dan (b) model ac dari osilator Colpitts

Pada Gambar 2. 12(b), fungsi transfer dari Z_1 , Z_2 , dan Z_3 adalah $\frac{1}{C_1 s}$, $\frac{1}{C_2 s}$, dan Ls . Rangkaian ekuivalen *hybrid- π* dari rangkaian penguat pada Gambar 2. 12(a) diperoleh dengan persamaan

$$r_{\pi} = h_{ie} = \frac{h_{fe}}{g_m} \quad \text{dimana} \quad (2.29)$$

$$g_m = \frac{qI_C}{V_T} = \frac{q \left(-\frac{V_{CE}}{(R_E)} + \frac{V_{CC}}{(R_E)} \right)}{25mA}$$

dan

$$\beta i_b = g_m V_{BE} = \frac{q \left(-\frac{V_{CE}}{(R_E)} + \frac{V_{CC}}{(R_E)} \right) \left(\frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} - I_E R_E \right)}{25mA} \quad (2.30)$$

Pada Gambar 2. 12(b), berlaku

$$0 = i_1 (Z_1 + Z_2 + Z_3) + i_b (\beta Z_2 - Z_1) \quad (2.31)$$

$$0 = i_1 Z_1 - i_b (Z_1 + r_{\pi}) \quad (2.32)$$

$$\begin{vmatrix} Z_1 + Z_2 + Z_3 & \beta Z_2 - Z_1 \\ Z_1 & -(Z_1 + r_{\pi}) \end{vmatrix} = 0$$

atau

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3)r_\pi + \beta Z_1 Z_2 + Z_1(Z_2 + Z_3) = 0 \quad (2.33)$$

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0$$

atau

$$-\frac{1}{\omega_0 C_1} - \frac{1}{\omega_0 C_2} + \omega_0 L = 0 \quad (2.34)$$

Dengan demikian, frekuensi osilasinya adalah

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_T}} \quad (2.35)$$

Dimana

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

Dengan memberikan nilai nol pada bagian *real* dari persamaan (2.32) maka didapatkan

$$Z_1 Z_2 (\beta + 1) + Z_1 Z_3 = 0$$

Dapat ditulis menjadi

$$\beta + 1 > -\frac{Z_3}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

atau

$$\beta > \frac{C_2}{C_1} \quad (2.36)$$

Persamaan (2.36) merupakan kondisi awal osilasi.

Dengan menambahkan *coil losses* pada salah satu impedansi, maka pada bagian *real* persamaan (2.32) menjadi

$$\left(-\frac{1}{\omega_0 C_1} - \frac{1}{\omega_0 C_2} + \omega_0 L \right) r_\pi - \frac{R_s}{\omega_0 C_1} = 0 \quad (2.37)$$

Dan bagian imajiner persamaan (2.30) adalah

$$R_s r_\pi - \frac{\beta}{\omega_0^2 C_1 C_2} + \frac{L}{C_1} = 0 \quad (2.38)$$

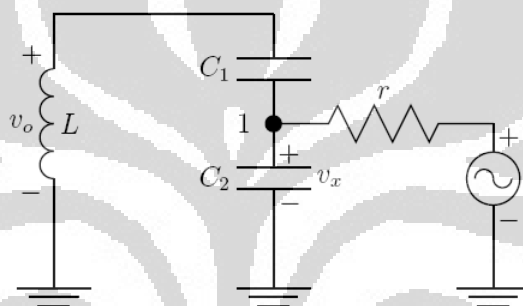
Karena βX_{C_2} memiliki nilai yang sangat besar daripada X_L , maka persamaan (2.38) menjadi

$$\frac{g_m}{\omega_0^2 R_s C_1 C_2} > 1 \quad (2.39)$$

Persamaan (2.39) menunjukkan nilai g_m minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan osilasi [6].

2.3.1 Operasi *small-signal* pada osilator Colpitts

Estimasi frekuensi osilasi dari rangkaian osilator Colpitts dapat dilakukan dengan melakukan analisa operasi *small-signal* pada *open-loop*. Bentuk rangkaian ekuivalen *small-signal open-loop* dari osilator Colpitts [12] ditunjukkan pada Gambar 2. 13.



Gambar 2. 13: Rangkaian Open-Loop Osilator Colpitts

Pada Gambar 2. 13, terlihat rangkaian bersifat *open-loop* dan rangkaian penguat disubstitusi dengan bentuk sumber sinyal dengan mempunyai tahanan r , dimana r adalah tahanan Thevenin.

Persamaan arus Kirchoff pada titik 1 adalah

$$\frac{V_x(s) - V_i(s)}{r} + V_x(s)C_2s + \frac{V_x(s)C_1s}{1 + C_1s^2} = 0 \quad (2.40)$$

Dan disederhanakan menjadi

$$\frac{V_x(s)}{V_i(s)} = \frac{1 + LC_1s^2}{1 + LC_1s^2 + rs(LC_1C_2s^2 + C_1 + C_2)} \quad (2.41)$$

Persamaan tegangan output dituliskan dengan

$$V_o(s) = \frac{V_x(s)LC_1s^2}{1 + LC_1s^2} \quad (2.42)$$

Dengan menuliskan kembali persamaan (2.41) dan (2.42) didapatkan

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{LC_1s^2}{1 + LC_1s^2 + rs(LC_1C_2s^2 + C_1 + C_2)} \quad (2.43)$$

Pada saat terjadi osilasi pada frekuensi ω , bagian imajiner dari persamaan (2.43) sama dengan nol [12]. Dengan mensubstitusi $s=j\omega$ pada persamaan (2.43), maka didapatkan bagian imajineranya. Dengan demikian didapatkan

$$-LC_1C_2\omega^2 + C_1 + C_2 = 0 \rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (2.44)$$

Dari persamaan (2.44), terlihat frekuensi osilasi dari osilator Colpitts hanya dipengaruhi oleh elemen resonan.

2.3 INDUCTION COIL

Induction coil merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan dalam pengukuran medan magnet. Sensor ini bekerja dengan menggunakan prinsip hukum induksi Faraday

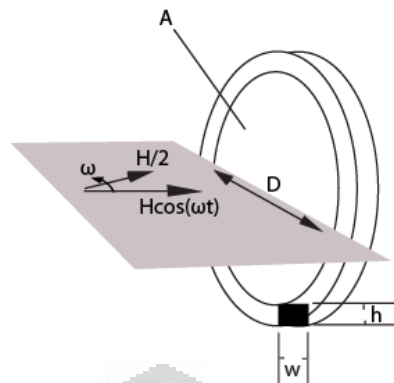
$$\oint E \cdot ds = -\frac{d}{dt} \iint_A B \cdot dA \quad (2.45)$$

Tegangan induksi pada lilitan tertutup dari *coil* proporsional terhadap laju perubahan fluks yang terkait dengan *coil*. Ada dua jenis sensor dari *induction coil* yang memiliki sedikit perbedaan [13]:

- Sensor dengan *coil* yang hanya cocok untuk pengukuran medan magnet, dimana bervariasi terhadap waktu atau medan magnet AC
- Sensor dengan *coil* yang berpindah dimana medan magnet DC juga ikut diukur.

2.3.1 Air-Cored Induction Coil

Salah satu bentuk dasar dari *induction coil* adalah *air-cored coil*. Pada Gambar 2.14, *coil* dikelilingi fluks medan magnet ϕ karena medan magnet H yang berubah terhadap waktu. Jika medan magnet berubah secara sinusoidal, maka dapat diasumsikan medan magnet terdiri dari dua komponen dengan amplitudonya sebesar setengah $\frac{H}{2}$, berotasi dengan bidang yang sama namun dengan arah yang berlawanan dengan kecepatan angular sebesar ω .

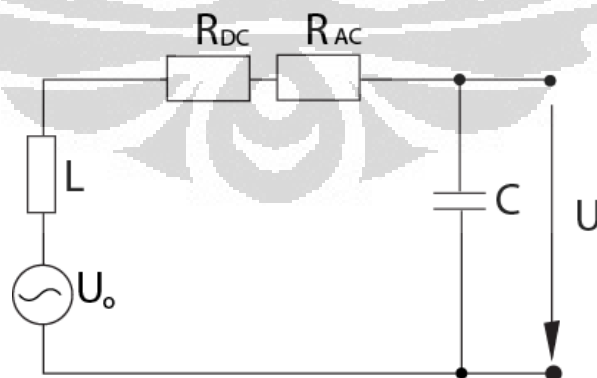


Gambar 2. 14: Air-cored induction coil pada medan magnet yang berubah terhadap waktu (13)

Tegangan induksi pada *coil* sebesar $u_i = -n \cdot \frac{d\phi_i}{dt}$, dengan banyak lilitan n . Jika perubahan fluks sinusoidal dengan $\phi_i = \phi_{max} \cos(\omega t)$, maka tegangan induksinya:

$$U_0 = \omega \cdot n \cdot \Phi_{max} = \omega \cdot n \cdot A \cdot \mu_0 \cdot H = \frac{\pi^2}{2} \cdot n \cdot D^2 \cdot \mu_0 \cdot f \cdot H \quad (2.46)$$

Persamaan (2.40) hanya berlaku untuk frekuensi rendah. Pada frekuensi tinggi, *air-cored induction coil* memiliki parameter induktansi L , resistansi AC R_{AC} , dan konduktansi AC C yang harus diperhitungkan. Gambar 2. 15 menunjukkan bentuk rangkaian ekuivalen dari *air-cored induction coil* pada frekuensi tinggi.



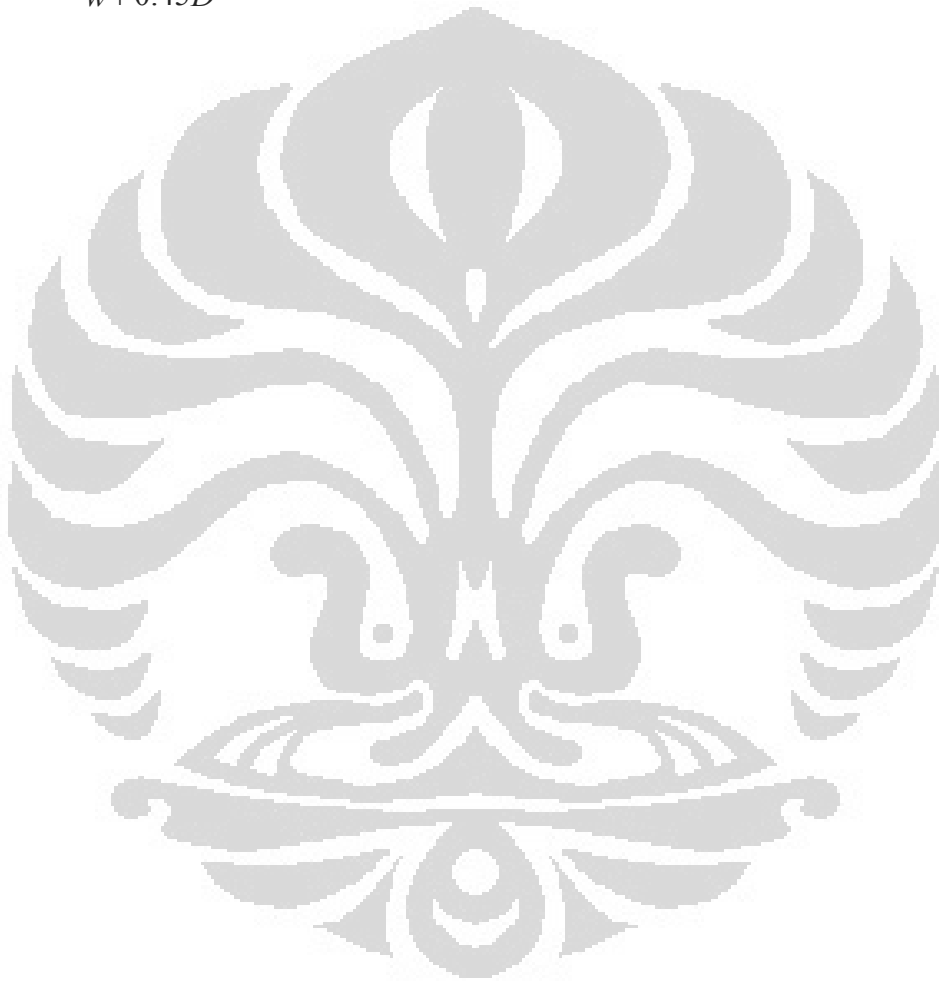
Gambar 2. 15: Rangkaian ekuivalen dari *air-cored induction coil* pada frekuensi tinggi [13]

Jika *induction coil* memiliki panjang yang sangat kecil ($w > 1.6D$) maka induktansinya adalah [13]:

$$L = \frac{n^2 D^2}{46D + 101w} \mu H \quad (2.47)$$

Atau juga dapat diformulasikan dengan [14]:

$$L = \frac{n^2 D^2}{w + 0.45D} \mu H \quad (2.48)$$

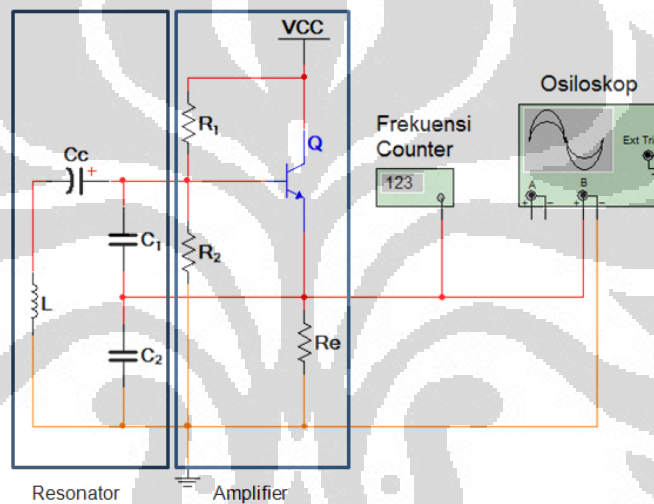


BAB 3 PERANCANGAN EKSPERIMEN

3.1 DESAIN RANGKAIAN

Penelitian ini mengamati perubahan frekuensi dan amplitudo yang timbul akibat perubahan nilai besaran listrik pada salah satu komponen osilator. Nilai perubahan frekuensi ini didapatkan dari *frequency counter* dan bentuk tegangan keluaran diamati dengan bantuan osiloskop.

Gambar 3. 1 memperlihatkan skema rangkaian dan bentuk fisik osilator Colpitts yang digunakan dalam penelitian ini.



(a)



(b)

Gambar 3. 1: (a) Skema rangkaian,
(b) bentuk fisik dari osilator Colpitts yang digunakan dalam penelitian

Pada Gambar 3. 1 (a), elemen resonan dan *amplifier* disusun dengan model umpan balik positif sesuai dengan Gambar 2. 11. Elemen resonan dengan konfigurasi Colpitts dihubungkan dengan rangkaian penguat *common-collector* (*emitter-follower*) dimana tegangan keluaran dari resonan dihubungkan kembali ke rangkaian *amplifier*. Keluaran dari *amplifier* dihubungkan ke rangkaian umpan balik (resonan). Penjumlahan tegangan secara terus menerus akan memberikan osilasi sesuai dengan model umpan balik positif dimana amplitudo osilasi dibatasi oleh nilai *quiescent point* dari amplifier [3].

3.1.1 Perhitungan *bias set point* pada rangkaian penguat

Untuk dapat menghasilkan osilasi, rangkaian pembias harus diatur sedemikian rupa untuk bekerja pada kondisi operasi tertentu pada *bias set point* yang telah ditetapkan sebelumnya.

Perhitungan nilai-nilai besaran listrik yang mempengaruhi *bias point* pada rangkaian penguat menghasilkan nilai resistansi pada R_1 , R_2 dan R_E .

Misal rangkaian penguat diatur bekerja dengan nilai *bias point* pada titik V_Q dan I_Q , maka

$$R_E = \frac{V_{CC} - V_Q}{I_Q} \quad (3.1)$$

Jika

$$I_B = \frac{I_Q}{h_{FE}} \quad (3.2)$$

dan

$$I_{R_1} = I_{R_2} = 10I_B$$

Maka

$$R_1 = \frac{V_Q - V_{BE}}{I_{R_1}} \quad (3.3)$$

Dan

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_Q + V_{BE}}{I_{R_2}} \quad (3.4)$$

Nilai transkonduktansi g_m diperoleh

$$g_m = \frac{I_Q}{25mA} \quad (3.5)$$

Nilai g_m harus memenuhi persamaan (2.33) untuk dapat menghasilkan osilasi. Untuk mendapatkan nilai g_m yang diberikan ketika mendapatkan bentuk rangkaian, terlebih dahulu menghitung kembali nilai *bias set point* yang didapatkan dari konfigurasi rangkaian

$$V_{BB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (3.6)$$

$$R_B = R_1 \parallel R_2 \quad (3.7)$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} \quad (3.8)$$

$$I_Q = I_C = h_{FE} I_B \quad (3.9)$$

dan

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \left(\frac{h_{FE} + 1}{h_{FE}} R_E \right)$$

3.2 PARAMETER PADA PENELITIAN

Pada penelitian ini, beberapa parameter fisika divariasikan untuk mengamati pengaruh perubahan parameter pada setiap komponen osilator terhadap frekuensi dan amplitudo dari osilasi yang dihasilkan.

Untuk mengamati pengaruh perubahan parameter terhadap frekuensi osilasi, sebuah nilai konstanta dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar perubahan frekuensi yang dihasilkan. Nilai konstanta ini selanjutnya disebut dengan istilah *frekuensi nominal*.

Nilai frekuensi nominal yang diinginkan adalah 1,14 MHz. Dengan menggunakan persamaan (2.29), (3.1), (3.2), dan (3.3), maka nilai parameter nominal pada setiap komponen dapat dilihat pada Tabel 3. 2. Tabel 3. 2 berisi nilai parameter keseluruhan yang digunakan dalam pengamatan.

Tabel 3. 1: Parameter yang digunakan untuk menghasilkan frekuensi nominal sebesar 1,14 MHz

Parameter	Nilai
C_C	1 μ F
C_I	10 nF
C_2	10 nF
R_I	1.8 k Ω
R_2	3.2 k Ω
R_E	250 Ω
L	3,9 μ H

Tabel 3. 2: Variasi parameter pada komponen osilator

	C_1 (nF)	C_2 (nF)	C_c (nF)	L (μ H)	R_I (k Ω)	R_2 (k Ω)	R_E (Ω)
1	1-100	10	10000	3.9	1.8	3.2	250 Ω
2	10	1-100	10000	3.9	1.8	3.2	250
3	10	10	1-100	3.9	1.8	3.2	250
4	10	10	10000	0.58-470	1.8	3.2	250
5	10	10	10000	3.9	0.2-3.44	3.2	250
6	10	10	10000	3.9	1.8	0.62-4,07	250
7	10	10	10000	3.9	1.8	3.2	27-570

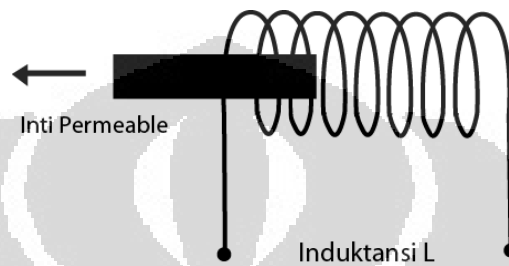
3.3 DESAIN TRANSDUSER

Transduser yang digunakan dalam penelitian ini berupa transduser dengan output perubahan induktansi L . Ketika inti *permeable* dimasukkan kedalam induktor seperti Gambar 3. 2, maka akan terjadi perubahan induktansi pada rangkaian ekuivalen *induction coil* pada Gambar 2. 15.

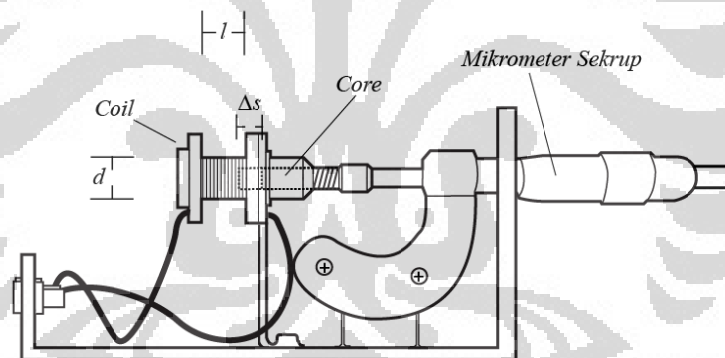
Inti *permeable* memberikan distorsi pada medan magnet di sekitar *induction coil*. Inti *permeable* mengkonsentrasikan fluks magnet di dalam *coil* dan tegangan

induksi pada *coil* oleh medan magnet AC tergantung dari geometri dari inti *permeable*.

Perubahan tegangan induksi ini mempengaruhi besar induktansi pada rangkaian ekuivalen dari *induction coil*. Setiap posisi dari inti *permeable* terhadap *coil* menghasilkan induktansi yang berbeda-beda [13], [15]. Hal ini menjadi prinsip dasar dari transduser perubahan jarak dengan output perubahan induktansi.



Gambar 3. 2: Prinsip utama transduser perubahan jarak dengan *output* perubahan induktansi



Gambar 3. 3: Transduser dengan *output* perubahan induktansi

Gambar 3.3 menunjukkan sketsa dasar dari transduser dengan *output* perubahan induktansi. Pergeseran dari inti *permeable* dapat diketahui dengan bantuan mikrometer sekrup.

Nilai induktansi pada transduser diperoleh dengan persamaan sederhana untuk *radio coil* (14):

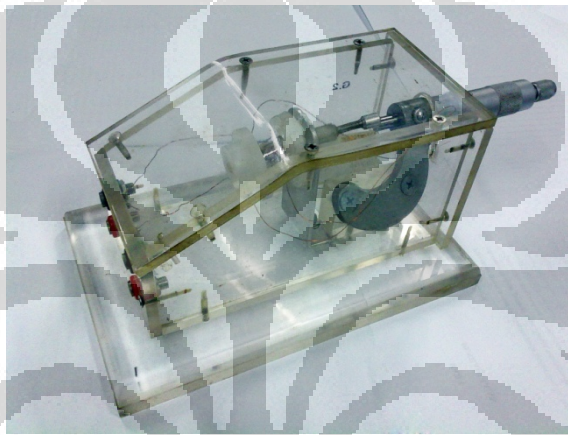
$$L = \frac{n^2 d^2}{l + 0.45d} \mu H \quad (3.10)$$

Pada penelitian ini, variabel yang diberikan untuk mendesain sensor induktansi terdapat pada Tabel 3. 3.

Tabel 3. 3 Variabel geometri

Diameter (d)	9 mm
Panjang <i>coil</i> (l)	14 mm
Banyak lilitan	50
Panjang Inti	7 mm

Gambar 3. 4 memperlihatkan bentuk dari transduser induktansi.

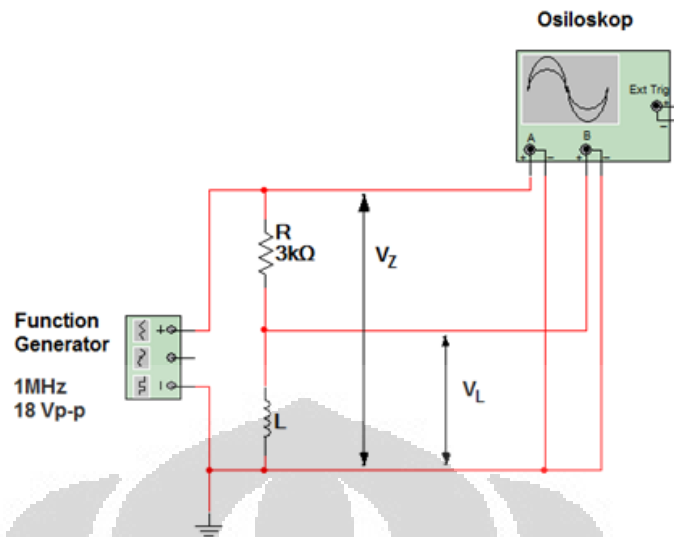


Gambar 3. 4: Sensor Induktansi

3.4 RESPON TRANSDUSER TERHADAP PERUBAHAN POSISI INTI PERMEABLE

Untuk mengetahui respon transduser terhadap perubahan posisi inti *permeable*, dilakukan pengukuran induktansi dengan cara membandingkan tegangan melewati resistor R dan transduser L pada rangkaian LR [16].

Skema rangkaian pada pengukuran induktansi transduser dapat dilihat pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5: Skema rangkaian pengukuran induktansi transduser

Dari Gambar 3. 5,

$$V_L = IX_L$$

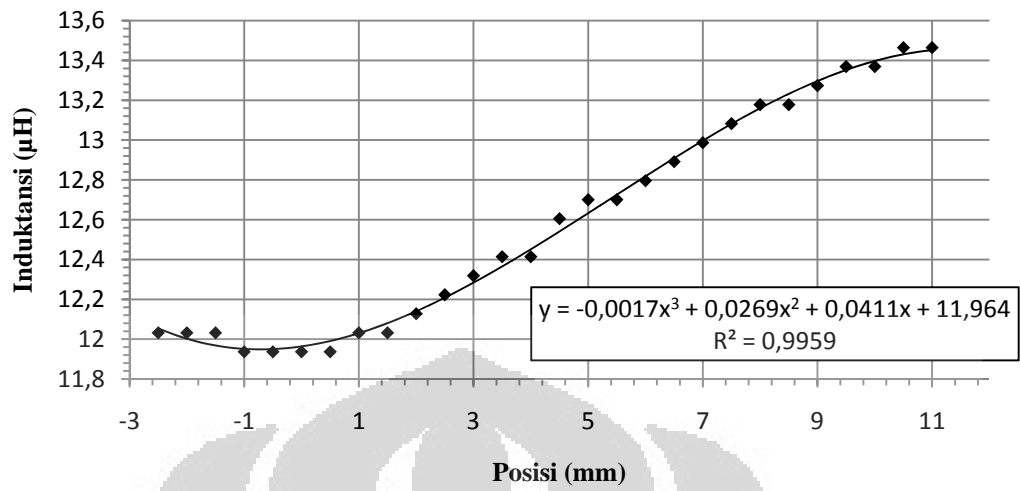
$$V_L = \frac{V_Z}{Z} \omega L = \frac{V_Z \omega L}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \approx \frac{V_Z}{R} \omega L \quad (3.11)$$

$$L = \frac{V_L R}{V_Z \omega} \quad (3.12)$$

Rangkaian RL diberikan sinyal tegangan dari *function generator* dengan frekuensi ω . Nilai tegangan pada resistor V_L dan transduser V_Z dibandingkan dengan menggunakan persamaan (3.11) untuk mendapatkan nilai induktansi L . Nilai induktansi L didapatkan dengan persamaan (3.12).

Nilai induktansi transduser yang diperoleh pada persamaan (3.10) dengan nilai parameter dari Tabel 3. 3 sebesar 11,29 μH , sedangkan nilai induktansi yang diperoleh pada pengukuran didapatkan sebesar 13,3 μH dengan induktansi transduser tidak dipengaruhi inti *permeable*.

Respon transduser terhadap perubahan posisi inti *permeable* diperoleh dengan memvariasikan posisi inti *permeable* terhadap *coil* dan nilai induktansinya dihitung dengan menggunakan persamaan (3.12). Grafik 3. 1 menunjukkan respon transduser terhadap perubahan posisi inti *permeable*.



Grafik 3. 1: Perubahan induktansi (transduser) sebagai fungsi Pergeseran Inti

BAB IV ANALISA

4.1 RESPON FREKUENSI

Pada persamaan (2.41), telah didapatkan persamaan fungsi transfer pada rangkaian osilator Colpitts. Persamaan ini dibutuhkan untuk mengamati grafik Bode dari respon frekuensi rangkaian osilator. Dengan grafik Bode, nilai frekuensi yang akan muncul dapat diestimasi.

Pada persamaan (2.41), diberikan parameter sebagai berikut:

Tabel 4. 1: Paramater untuk Bode plot

Variabel	L	C1	C2	gm
Nilai	3.79 μ H	10nF	10nF	112

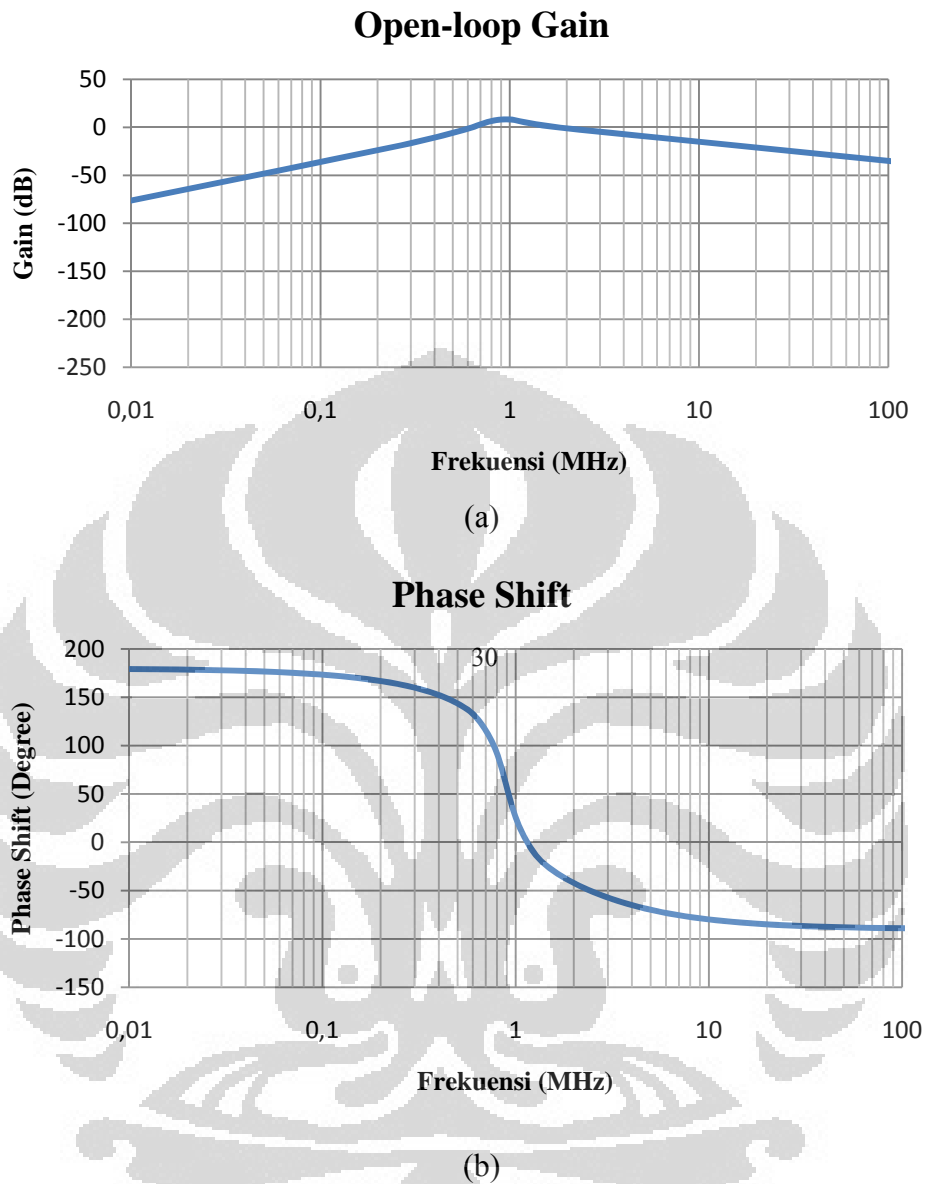
Open-loop gain dan pergeseran fase dari diagram Bode didapatkan dengan

$$Gain = LogModulus = 20 \log_{10} \left(\left| \frac{LC_1 s^2}{1 + LC_1 s^2 + rs(LC_1 C_2 s^2 + C_1 + C_2)} \right| \right) dB \quad (4.1)$$

$$PergeseranFase = \arg \left(\frac{LC_1 s^2}{1 + LC_1 s^2 + rs(LC_1 C_2 s^2 + C_1 + C_2)} \frac{180^\circ}{\pi} \right) \quad (4.2)$$

Dengan memasukkan variabel pada tabel 4.2 maka diagram Bode yang dihasilkan terlihat pada grafik 4.2

Dari Grafik 4. 1(a) dan Grafik 4. 1(b), terlihat frekuensi yang muncul sekitar 1 MHz dimana syarat kondisinya memenuhi kriteria Barkhausen, yaitu nilai penguatan total pada *open-loop* > 0 dB (Grafik 4. 1(a)) dan pada sumbu fasenya tidak ada pergeseran fase (Grafik 4. 1(b)). Meski demikian, syarat pertama dari kriteria Barkhausen (penguatan total *pada open-loop* > 0 dB) dipenuhi pada beberapa frekuensi disekitar 1 MHz, dengan demikian ada kemungkinan terjadi pergeseran frekuensi pada osilasi yang dihasilkan meski nilai variabel pada tabel 4.1 tetap konstan.



Grafik 4. 1: Diagram Bode pada rangkaian *open-loop* osilator Colpitts.

(a) Penguatan *open-loop*, (b) Pergeseran fase

4.2 VARIASI PERUBAHAN ELEMEN OSILATOR

Elemen resonantor merupakan elemen yang menghasilkan frekuensi osilasi. Perubahan pada salah satu komponennya, maka akan menghasilkan perubahan frekuensi dari osilasi keluaran. Penelitian ini akan mengamati perubahan frekuensi

dari frekuensi nominal terhadap perubahan parameter pada salah satu elemen resonan. Selain itu pengaruh perubahan elemen pada amplifier juga diamati.

Tabel 4.2 menunjukkan parameter dari setiap elemen yang digunakan dalam osilator dengan frekuensi nominal 1,134MHz.

Tabel 4. 2: Parameter komponen yang digunakan dalam aplikasi osilator sensor

Parameter	Nilai
C_C	1 μ F
C_1	10 nF
C_2	10 nF
R_1	1.8 k Ω
R_2	3.2 k Ω
R_E	250 Ω
L	3,9 μ H

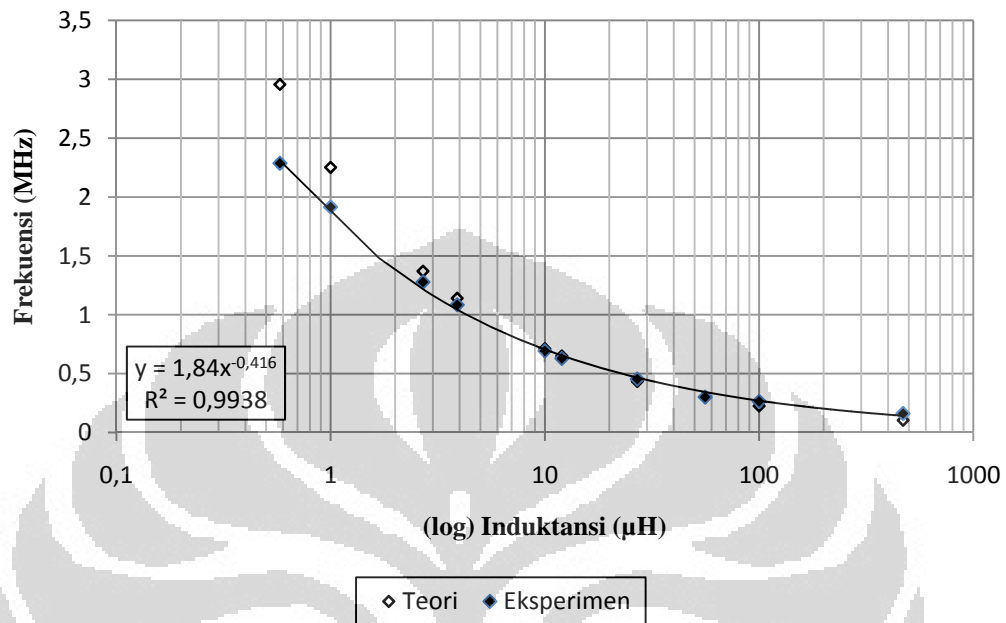
4.2.1 Variasi Perubahan Induktor L

Induktor L pada rangkaian osilator divariasikan pada rentang 0,58 μ H-470 μ H dengan menggunakan nilai induktansi tetap. Perubahan frekuensi terhadap perubahan induktansi L dapat dilihat pada Grafik 4. 2.

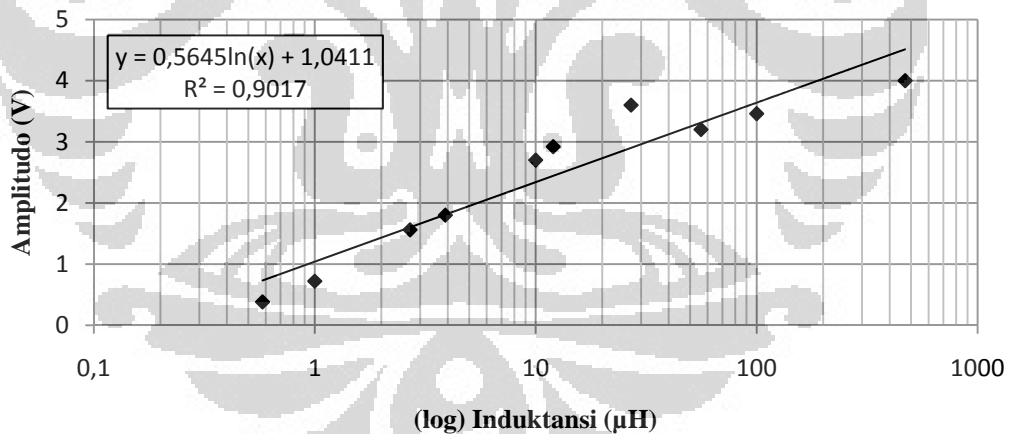
Dari Grafik 4. 2 (a), terlihat bentuk perubahan frekuensi terhadap perubahan induktansi tidak linear. Untuk rentang induktansi yang lebih besar dari 100 μ H, terlihat frekuensi output yang dihasilkan akan menuju nilai konstan dengan sensitivitas yang rendah. Hal ini menjadikan induktansi besar tidak cocok digunakan sebagai elemen sensor osilator karena respon frekuensi yang dihasilkan rendah.

Sedangkan untuk induktansi yang lebih kecil dari 100 μ H, terlihat sensitivitas yang dihasilkan bervariasi. Pada Grafik 4. 2 (a), untuk rentang induktansi yang kecil dari 10 μ H, terlihat frekuensi yang didapatkan antara eksperimen dengan teori mengalami deviasi yang semakin membesar. Hal ini karena tegangan output yang

dihasilkan semakin kecil ketika frekuensi osilasi bertambah. Grafik 4. 2 (b) menampilkan perubahan tegangan terhadap perubahan frekuensi.



(a)



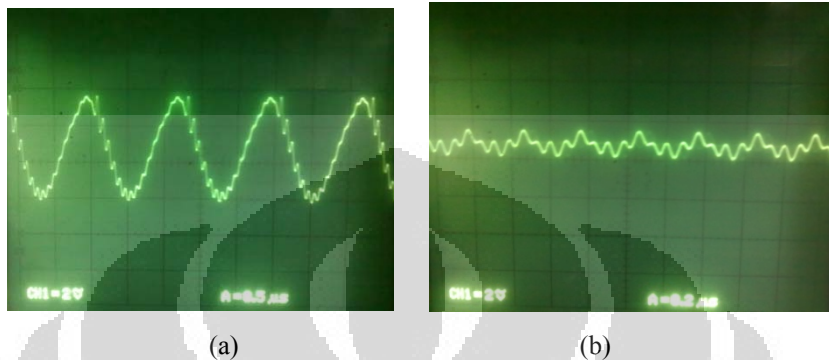
(b)

Grafik 4. 2: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan induktansi L

Rendahnya tegangan yang dihasilkan dapat mempengaruhi frekuensi osilasi karena sinyal osilasi tidak lagi berbentuk gelombang sinusoidal, melainkan bercampur dengan sinyal *noise*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. 1 (b).

Besarnya nilai pengaruh perubahan induktansi terhadap frekuensi pada frekuensi nominal didapatkan dari persamaan:

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta f}{\Delta s} = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}(1,84x^{-0,416}) = -0,111\text{MHz} / H \quad (4.3)$$

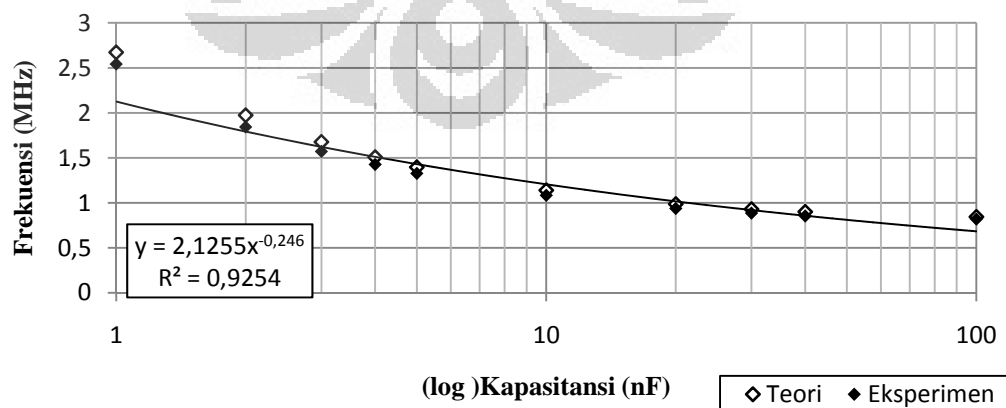


Gambar 4. 1: Hasil output gelombang osilasi pada osiloskop.
(a) Frekuensi osilasi 766KHz, (b) Frekuensi osilasi 2,28 MHz

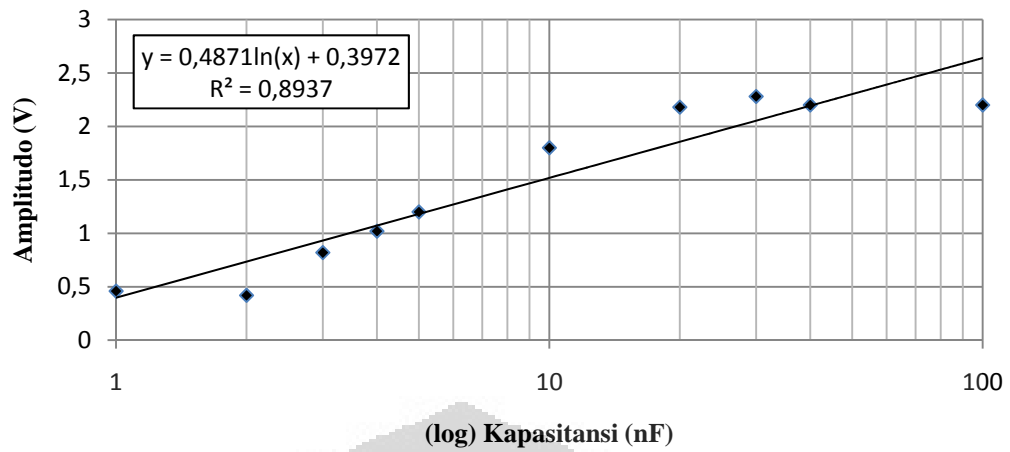
4.3.2 Variasi Perubahan Kapasitansi C_1

Kapasitansi C_1 divariasikan dengan untuk mengetahui perubahan frekuensi yang dihasilkan. Grafik 4. 3 menunjukkan perubahan frekuensi kapasitansi C_1 .

Dari Grafik 4. 3 (a), terlihat kapasitansi yang semakin kecil akan menghasilkan sensitivitas tinggi akan perubahan frekuensi. Namun, dengan kapasitansi yang kecil, frekuensi osilasi yang dihasilkan rentan dapat dipengaruhi temperatur mengingat kapasitansi internal rangkaian penguat harus lebih kecil daripada kapasitansi C_1 dan C_2 [8], [17].



(a)



(b)

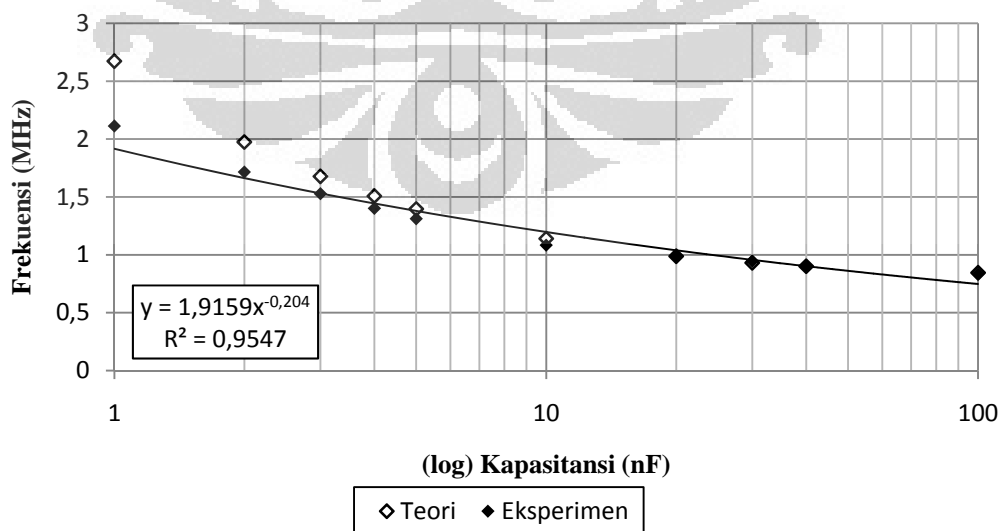
Grafik 4. 3: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan kapasitor C₁

Besarnya nilai pengaruh perubahan kapasitansi terhadap frekuensi pada frekuensi nominal didapatkan dari persamaan:

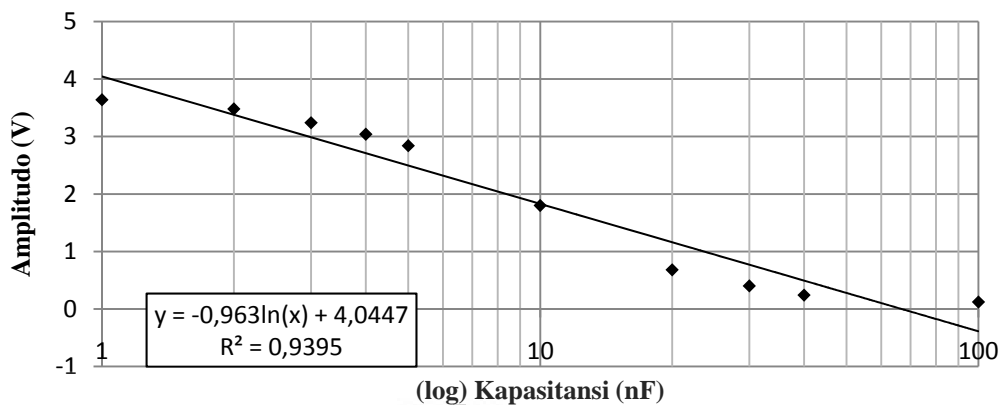
$$Sensitivitas = \frac{\Delta f}{\Delta s} = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} (2,125x^{-0,246}) = -0,029MHz / F \quad (4.4)$$

4.3.3 Variasi Perubahan Kapasitansi C₂

Kapasitansi C₂ divariasikan dengan untuk mengetahui perubahan frekuensi yang dihasilkan. Grafik 4. 3 menunjukkan perubahan frekuensi kapasitansi C₂.



(a)



(b)

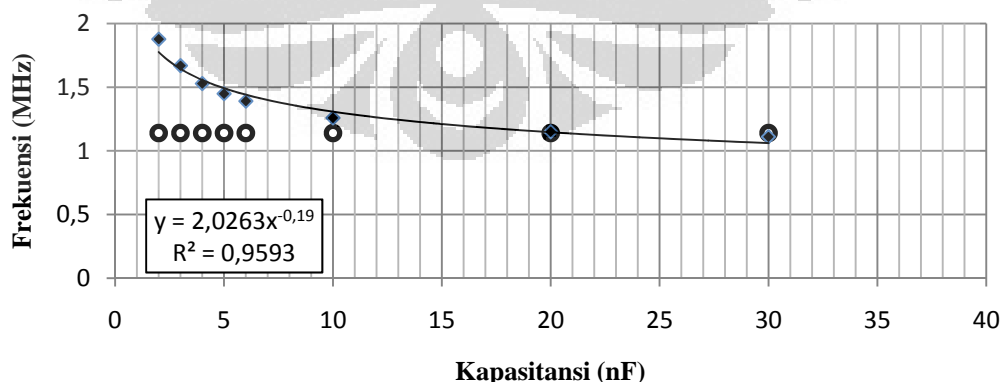
Grafik 4. 4: (a) Perubahan frekuensi, (b) amplitudo osilasi terhadap perubahan kapasitor C_2

Dari Grafik 4. 4 (a), terlihat kapasitor C_2 mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan kapasitor C_2 dalam perubahan frekuensi osilasi. Namun, amplitudo yang dihasilkan akibat variasi kapasitansi pada kapasitor C_2 berbeda dengan pengaruh yang ditimbulkan oleh kapasitansi pada kapasitor C_2 .

$$Sensitivitas = \frac{\Delta f}{\Delta s} = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} (1,91x^{-0,204}) = -0,0243MHz / F \quad (4.5)$$

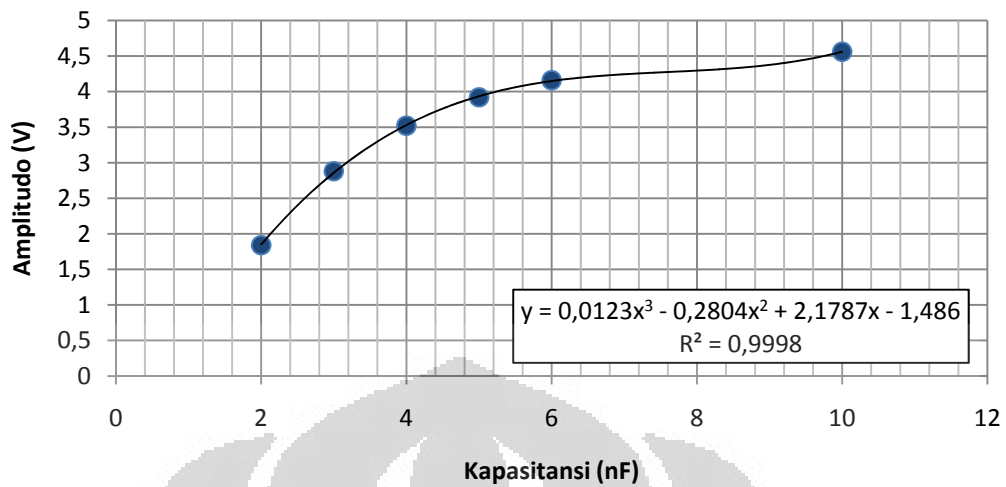
4.3.4 Variasi Perubahan Kapasitor C_c

Grafik 4. 5 menunjukkan perubahan frekuensi terhadap perubahan kapasitansi C_c .



● Teori ◆ Eksperimen

(a)



(b)

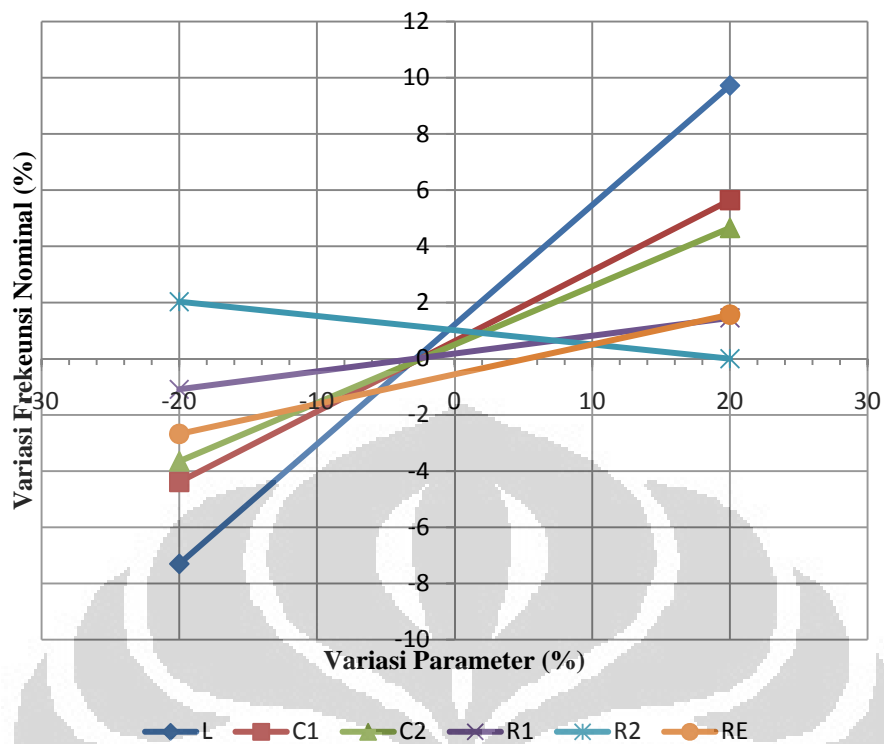
Grafik 4. 5: Perubahan frekuensi dan tegangan terhadap kapasitansi pada kapasitor C_c

Dari Grafik 4. 5 (a), terlihat deviasi frekuensi osilasi ketika nilai kapasitansi C_c mendekati nol. Mengingat fungsi kapasitor C_c menjaga impedansi masukan pada amplifler tetap besar, maka dapat diambil kesimpulan jika kapasitansi dari kapasitor C_c sebaiknya bernilai besar untuk menjaga frekuensi osilasi tidak memberikan deviasi dengan frekuensi estimasi pada persamaan (2.29).

Perubahan frekuensi yang ditimbulkan oleh perubahan kapasitor C_c mempunyai kecenderungan yang sama dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya (3) dimana kapasitor C_c merupakan bagian dari rangkaian resonan.

4.3.5 Variasi Perubahan Parameter pada Elemen Amplifier

Elemen pada amplifler diberi variasi dan diamati pengaruh perubahan frekuensi osilasi dari frekuensi nominalnya. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 1. Sesuai dengan teori, dengan perubahan parameter pada elemen amplifler tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan frekuensi nominal yang diinginkan. Tabel 4.3 menunjukkan pengaruh perubahan frekuensi terhadap perubahan parameter pada setiap elemen pada osilator.



Grafik 4. 6: Persentase perubahan frekuensi osilasi nominal terhadap variasi parameter sebesar 20%

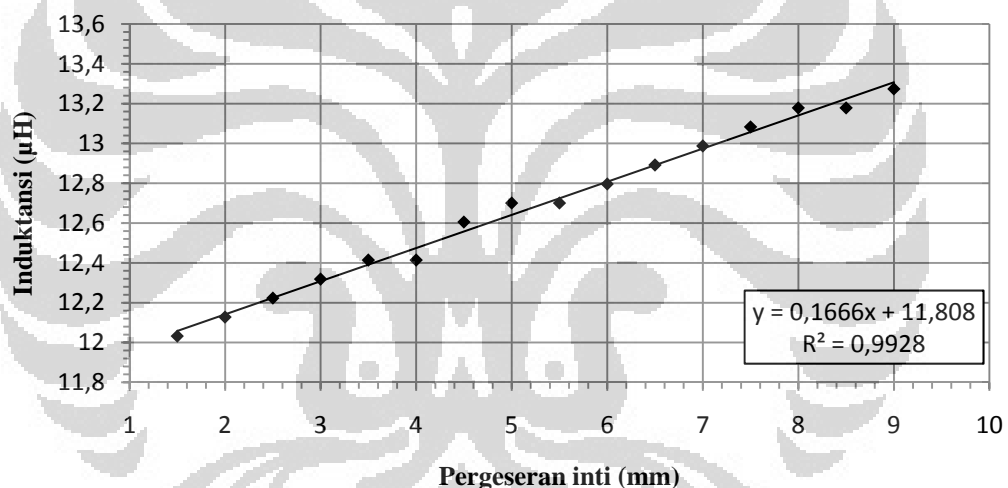
Tabel 4. 3: Persentase perubahan frekuensi osilasi nominal terhadap variasi parameter sebesar 20%

Perubahan Parameter nominal 20%	Perubahan dari frekuensi nominal (%)
$L=3,9\mu\text{H}$	42,57
$C_1=10\text{nF}$	25,07
$C_2=10\text{nF}$	20,77
$R_1=1,8\text{k}\Omega$	6,35
$R_2=3,2\text{k}\Omega$	5,069
$R_E=250\Omega$	10,60

4.4 APLIKASI OSILATOR SENSOR TIPE COLPITTS UNTUK MENDETEKSI PERGESERAN (*DISPLACEMENT*)

Dengan membandingkan hasil yang diperoleh antara persamaan (4.3), (4.4) dan (4.5), maka hasil kuantitas dari sensitivitas tinggi diberikan pada komponen induktor. Dengan demikian, elemen resonan yang akan dijadikan transduser pada Osilator Sensor adalah elemen induktor. Desain dari rancangan transduser induktor dibahas pada sub-bab 3.3.

Dari Grafik 3. 1, terlihat linearitas yang baik pada transduser berada ketika posisi inti *permeable* antara 1,5 sampai dengan 9 mm. Dengan demikian *range* masukan pada transduser berada pada 1,5 sampai dengan 9 mm. Grafik 4. 7 menunjukkan karakteristik linearitas transduser dengan *range* masukan berada pada 1,5-9 mm.

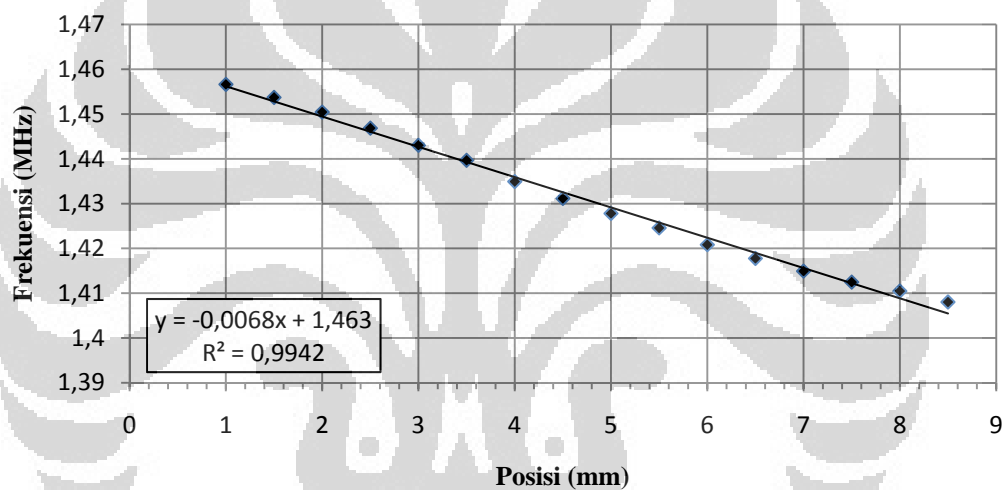


Grafik 4. 7: Perubahan induktansi (transduser) sebagai fungsi Pergeseran Inti di daerah linier (rentang posisi 1,5 sd 9 mm terhadap titik tengah)

Tabel 4.3 menunjukkan nilai besaran elektronik dari setiap komponen yang digunakan dalam aplikasi osilator sensor. Nilai induktansi dari rangkaian osilator divariasikan sesuai dengan pergeseran *core* yang melewati *coil* dalam setiap 0.5 mm dan nilai perubahan frekuensi dicatat. Hasil perubahan frekuensi sebagai output pada osilator sensor terlihat pada Grafik 4. 7.

Tabel 4. 3: Parameter komponen yang digunakan dalam aplikasi osilator sensor

Parameter	Nilai
C	1 μF
C_1	2.2 nF
C_2	2.2 nF
R_1	1.8 k Ω
R_2	3.2 k Ω
R_E	250 Ω
L_0	13,36 μH



Grafik 4. 8: Perubahan Frekuensi Osilasi Osilator Colpitts terhadap Pergeseran Inti Transduser Induktif

Dari Grafik 4. 8 terlihat bahwa osilator sensor juga menghasilkan perubahan frekuensi yang mendekati linear pada posisi inti berada pada 1 sd 8,5 mm dari titik tengah *coil*, dengan demikian sensitivitasnya didapatkan:

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\Delta f}{\Delta s} = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}(-0,006884x + 1,4291) = -0,0068\text{MHz} / \text{mm} \quad (4.6)$$

BAB 5 PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Pada penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan teori dan eksperimen menunjukkan ketergantungan frekuensi osilasi terhadap perubahan elemen resonan kapasitansi dan induktansi dimana frekuensi osilasi menurut perhitungan teori sebesar 1,8 MHz dan hasil eksperimen sebesar 1,08 MHz pada parameter nominal.
2. Pengaruh perubahan parameter pada setiap elemen osilator sebesar 20% terhadap perubahan frekuensi nominal:

Perubahan Parameter nominal 20%	Perubahan dari frekuensi nominal (%)
$L=3,9\mu\text{H}$	42,57
$C_1=10\text{nF}$	25,07
$C_2=10\text{nF}$	20,77
$R_1=1,8\text{k}\Omega$	6,35
$R_2=3,2\text{k}\Omega$	5,069
$R_E=250\Omega$	10,60

Elemen induktansi pada parameter nominal memiliki pengaruh terbesar dalam mempengaruhi frekuensi osilasi.

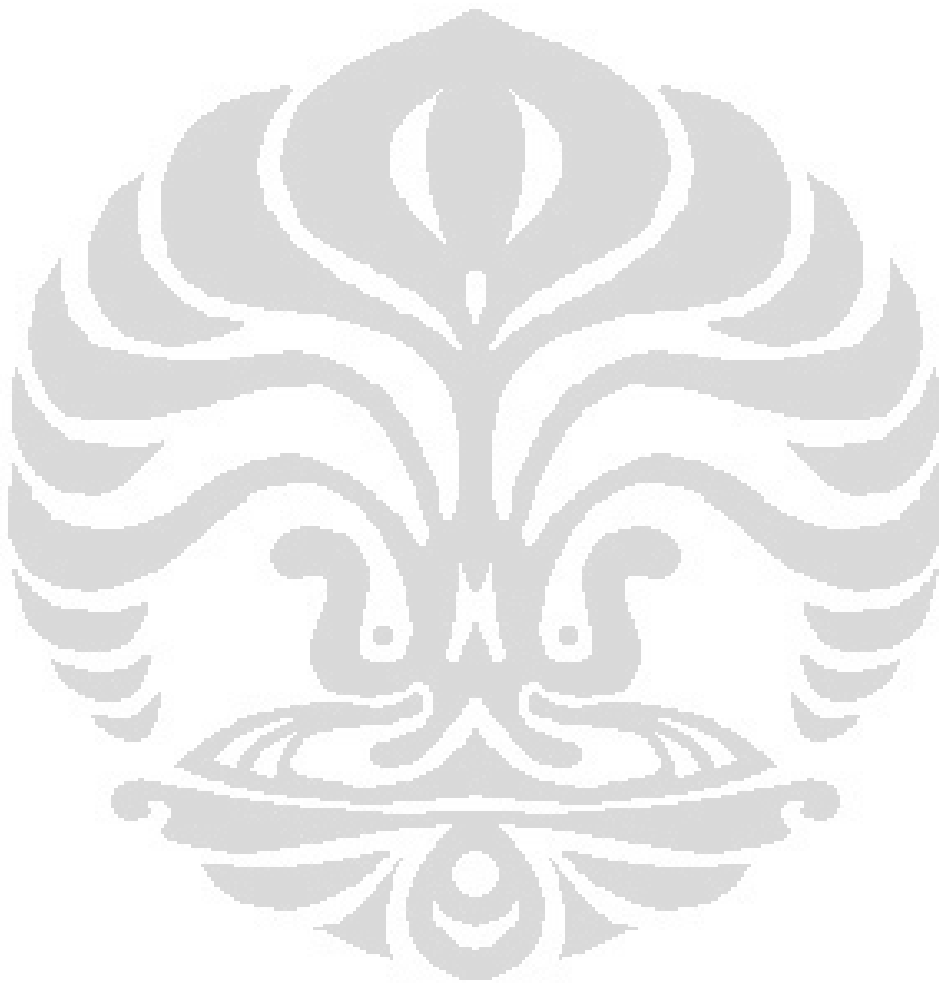
3. Sensitivitas dari aplikasi Osilator Sensor tipe Colpitts untuk mendeteksi pergeseran (*displacement*) dengan menggunakan salah satu komponen resonator (induktor) sebesar 0,0068 MHz/mm.

5.2 SARAN

Dibawah ini beberapa saran yang sekiranya dapat dilakukan untuk peningkatan bobot penelitian selanjutnya:

1. Penggunaan transistor jenis MOS sebagai perbandingan terhadap BJT

2. Studi kestabilan rangkaian Osilator dalam mempertahankan frekuensi output
3. Pengukuran frekuensi output dengan menggunakan spectrum analyzer untuk memudahkan analisa domain frekuensi



DAFTAR ACUAN

- [1] **Santoso.** *Paramaters de reglage de la frequence d'un Oscillateur – Capteurs. Etude de Dispositifs LC (Tesis).* Besancon : Universite De Franche-Comte, 1995.
- [2] **Muzakir, I and Hidayat, Taufik.** *Sistem Pengukuran Parameter Kerentanan Magnetik Bahan dengan Menggunakan Osilator Colpitts.* 2000.
- [3] **Hidayat, Taufik.** *Studi Teori, Simulasi, dan Eksperimen Rangkaian Osilator-Sensor Tipe Colpitts (Skripsi Sarjana).* Depok : Departemen Fisika Universitas Indonesia, 1999.
- [4] **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.
- [5] **Steinkamp, J, et al.** *A Colpitts Oscillator Design for a GSM Base Station Synthesizer.* IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. 2007, pp. 405-408.
- [6] **Gonzales, Guilermo.** *Foundations of Oscillator Circuit Design.* Norwood, MA : Artech House, 2007.
- [7] **Gottlieb, Irving M.** *Practical Oscillator Handbook.* Oxford : Newnes, 1997.
- [8] **Watson, Joseph.** *Bipolar Transistors.* [ed.] Richard C Dorf. The Electrical Engineering Handbook. s.l. : CRC Press, 2000, pp. 644-666.
- [9] **Rizzoni, Giorgio.** *Transistor Amplifiers and Switches.* s.l. : McGraw-Hill, 2003.
- [10] **Hegaz, E, Rael, J and Abidi, A.** *The designer's Guide to High-purity Oscillators.* New York : Kluwer Academic Publisher, 2005.
- [11] **James, Mike and Amos, Stan.** *Principles of Transistor Circuits. 9th Edition.* Oxford : Newnes, 2000.
- [12] **Rohde, Ulrich L.** *Microwave and Wireless Synthesizers - Theory and Design.* Brisbane : John Wiley & Sons, 1997.

- [13] **Dehmel, Gunther.** *Magnetic Field Sensors: Induction Coil (Search Coil) Sensors.* [ed.] W Gopel, J Hesse and J Zemel. *Sensors: A Comprehensive Survey.* New York : VCH Publishers, 1989, Vol. 5, pp. 206-237.
- [14] **Wheeler, H.A.** *Simple Inductance Formulas for Radio Coils.* 1928. *Proceeding Of The IEEE.* Vol. 16, pp. 1398-1400.
- [15] **Decker, Walter and Kostka, Peter.** *Inductive and Eddy Current Sensors.* [ed.] W Gopel, J Hesse and J Zemel. *Sensors: A Comprehensive Survey.* New York : VCH Publishers, 1989, Vol. 5, pp. 278-182.
- [16] **Mak, Se-yuen.** *Six ways to measure inductance.* *Physics Education.* 2002, Vol. 37, 5.
- [17] **Chen, Y. and Mouthaan, K.** *Performance Enhancement of Colpitts Oscillators by Parasitic Cancellation.* *IEEE Transactions on Circuits and Systems.* 2008, Vol. 55, 11.
- [18] **Gray, Paul R, et al.** *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits.* 3rd Edition. Brisbane : John Wiley & Sons, 2001.
- [19] **Fox, R. M, et al.** *Circuit for Monitoring BJT FR Performance Using DC Measurements.* 9, s.l. : *IEEE Journal of Solid-State Circuits,* 2002, Vol. 37.

LAMPIRAN 1

DATA PENGAMATAN

Tabel 1: Perubahan frekuensi dan tegangan terhadap perubahan induktansi L

L (μH)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	$V_{\text{eksperimen}}$ (V)	f_{teori} (MHz)
0,58	2,2871	0,38	2,955433
1	1,915	0,72	2,250791
2,7	1,278	1,56	1,369788
3,9	1,084	1,8	1,139732
10	0,693	2,7	0,711763
12	0,6285	2,92	0,649747
27	0,4534	3,6	0,433165
56	0,3007	3,2	0,300775
100	0,2639	3,46	0,225079
470	0,1611	4	0,103821

Tabel 2: Perubahan frekuensi dan tegangan terhadap perubahan kapasitansi C_1

C (nF)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	Amplitudo _{eksperimen} (V)	f_{teori} (MHz)
1	2,543	0,46	2,672909
2	1,8436	0,42	1,974074
3	1,5718	0,82	1,67764
4	1,4273	1,02	1,507724
5	1,3275	1,2	1,395881
10	1,084	1,8	1,139732
20	0,9377	2,18	0,987037
30	0,8862	2,28	0,930587
40	0,8543	2,2	0,901037
100	0,82	2,2	0,845248
1000	0,868	1,84	0,809932

Tabel 3: Pengaruh perubahan kapasitansi pada kapasitor C_2 terhadap frekuensi dan amplitudo osilasi output

C (nF)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	Amplitudo _{eksperimen} (V)	f_{teori} (MHz)
1	2,113	3,64	2,672909
2	1,715	3,48	1,974074
3	1,528	3,24	1,67764
4	1,4014	3,04	1,507724
5	1,3118	2,84	1,395881
10	1,0832	1,8	1,139732
20	0,9886	0,68	0,987037
30	0,94469	0,4	0,930587
40	0,907	0,24	0,901037
100	0,83418	0,12	0,845248
1000	0,875	0,08	0,809932

Tabel 4: Pengaruh perubahan kapasitansi pada kapasitor C_c terhadap frekuensi dan amplitudo osilasi output

C	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	Amplitudo _{eksperimen} (V)	f_{teori} (MHz)
2	1,8775	1,84	1,139732
3	1,6695	2,88	1,139732
4	1,529	3,52	1,139732
5	1,449	3,92	1,139732
6	1,391	4,16	1,139732
10	1,259	4,56	1,139732
20	1,1505	4,64	1,139732
30	1,111	4,64	1,139732
100	1,0505	4,48	1,139732
200	1,041	4,48	1,139732
300	1,038	4,48	1,139732
1000	1,0305	4,32	1,139732
2000	1,0305	4,32	1,139732

Tabel 5: Pengaruh perubahan resistansi R_1 terhadap frekuensi dan amplitudo osilasi output

R_1 (k Ω)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	$V_{\text{eksperimen}}$ (V)	% variasi terhadap R_1 nominal	% variasi terhadap frekuensi nominal
3,44	1,117	1,44	90,06	1,453224
3,23	1,114	1,54	78,45	1,180745
3,02	1,117	1,64	66,85	1,453224
2,83	1,114	1,68	56,35	1,180745
2,66	1,111	1,74	46,96	0,908265
2,52	1,111	1,76	39,23	0,908265
2,34	1,108	1,78	29,28	0,635786
2,17	1,108	1,76	19,89	0,635786
1,98	1,104	1,74	9,39	0,27248
1,81	1,101	1,72	0,00	0
1,62	1,092	1,7	-10,50	-0,81744
1,43	1,092	1,68	-20,99	-0,81744
1,27	1,089	1,64	-29,83	-1,08992
1,08	1,086	1,6	-40,33	-1,3624
0,89	1,086	1,54	-50,83	-1,3624
0,71	1,081	1,44	-60,77	-1,81653
0,52	1,078	1,34	-71,27	-2,08901
0,36	1,084	1,2	-80,11	-1,54405
0,2	1,089	1,04	-88,95	-1,08992

Tabel 6: Pengaruh perubahan resistansi R_2 terhadap frekuensi dan amplitudo osilasi output

R_2 (k Ω)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	$V_{\text{eksperimen}}$ (V)	% variasi terhadap R_2 nominal	% variasi terhadap frekuensi nominal
4,07	1,089	1,68	27,1875	0
3,84	1,089	1,68	20	0
3,51	1,098	1,72	9,6875	0,826446
3,2	1,089	1,72	0	0
2,88	1,101	1,72	-10	1,101928
2,56	1,101	1,74	-20	1,101928
2,22	1,108	1,66	-30,625	1,74472
1,92	1,111	1,46	-40	2,020202
1,58	1,12	1,22	-50,625	2,846648
1,2	1,108	0,9	-62,5	1,74472
0,97	1,111	0,7	-69,6875	2,020202
0,62	1,261	0,34	-80,625	15,79431

Tabel 7: Pengaruh perubahan resistansi R_e terhadap frekuensi dan amplitudo osilasi output

R_e (Ω)	$f_{\text{eksperimen}}$ (Mhz)	$V_{\text{eksperimen}}$ (V)	% variasi terhadap R_e nominal	% variasi terhadap frekuensi nominal
570	1,111	0,9	128	2,490775
475	1,101	1,12	90	1,568266
450	1,101	1,2	80	1,568266
427	1,117	1,24	70,8	3,04428
403	1,114	1,4	61,2	2,767528
379	1,101	1,44	51,6	1,568266
3,44	1,101	1,54	-98,624	1,568266
3,2	1,104	1,58	-98,72	1,845018
3,06	1,092	1,62	-98,776	0,738007
2,84	1,098	1,68	-98,864	1,291513
250	1,084	1,72	0	0
222	1,086	1,88	-11,2	0,184502
209	1,092	1,96	-16,4	0,738007
170	1,081	2,16	-32	-0,27675
146	1,075	2,34	-41,6	-0,83026
126	1,075	2,5	-49,6	-0,83026
96	1,069	2,78	-61,6	-1,38376
72	1,066	3,06	-71,2	-1,66052
49	1,066	3,34	-80,4	-1,66052
27	1,055	3,48	-89,2	-2,67528

Tabel 8: Karakteristik transduser dengan mengamati pengaruh perubahan posisi inti *permeable* terhadap induktansi output

s (mm)	L (μ H)
-2,5	12,03211
2	12,03211
-1,5	12,03211
-1	11,93662
-0,5	11,93662
0	11,93662
0,5	11,93662
1	12,03211
1,5	12,03211
2	12,12761
2,5	12,2231
3	12,31859
3,5	12,41409
4	12,41409
4,5	12,60507
5	12,70056
5,5	12,70056
6	12,79606
6,5	12,89155
7	12,98704
7,5	13,08254
8	13,17803
8,5	13,17803
9	13,27352
9,5	13,36902
10	13,36902
10,5	13,46451
11	13,46451

Tabel 9: Karakteristik osilator-sensor dengan mengamati pengaruh perubahan posisi inti *permeable* terhadap frekuensi output

s (mm)	f (Mhz)
1	1,4566
1,5	1,4537
2	1,45042
2,5	1,44684
3	1,44302
3,5	1,43966
4	1,43492
4,5	1,43115
5	1,4278
5,5	1,42457
6	1,42082
6,5	1,41777
7	1,41493
7,5	1,41248
8	1,41048
8,5	1,40804