



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH
SEBAGAI PEMBACA KELUARAN
DARI SENSOR KELEMBABAN DAN KONDUKTIVITAS ELEKTRIK
DENGAN *OPERATIONAL AMPLIFIER* LT1807**

TUGAS AKHIR

BAMBANG HERMANTO

08 06 36 5532

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI, 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH
SEBAGAI PEMBACA KELUARAN
DARI SENSOR KELEMBABAN DAN KONDUKTIVITAS ELEKTRIK
DENGAN *OPERATIONAL AMPLIFIER* LT1807**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

BAMBANG HERMANTO

08 06 36 5532

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI, 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bambang Hermanto

NPM : 0806365532

Tanggal : Juni, 2010

HALAMAN PENGESAHAN

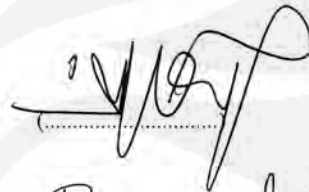
Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Bambang Hermanto
NPM : 0806365532
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rangkaian detektor Fasa Frekuensi Rendah
Sebagai Pembaca Keluaran Dari Sensor
Kelembaban Dan Konduktivitas Dielektrik Dengan
Operational Amplifier LT 1807

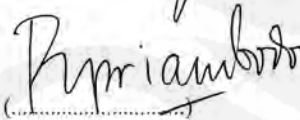
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir MT.



Penguji : Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc., Ph.D.



Penguji : Chairul Huda ST, M.Sc.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas segala Karunia dan Rahmat-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada::

1. Bapak, ibu dan adik-kakakku dan segenap keluarga atas segala dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
2. Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Rekan-rekan satu atap kostan Joglo (Joglo Instrument)
4. Mas Taufik Alif, Sakti Setyawan, mba Anita dan Alto yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan Skripsi ini.
5. Pak Arief Sudarmadji yang banyak membantu dalam memecahkan masalah-masalah rangkaian.
6. Rekan-rekan extensi elektro angkatan 2008.
7. Rekan-rekan D3 Instrumentasi yang banyak mendoakan dan memberikan *support*.

Tiada kata yang mampu melukiskan rasa terima kasih yang demikian besar, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 8 Juni 2010.

Penulis

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

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

Nama : Bambang Hermanto
NPM : 0806365532
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir

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 :

**” RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH SEBAGAI
PEMBACA KELUARAN DARI SENSOR KELEMBABAN DAN
KONDUKTIVITAS ELEKTRIK DENGAN *OPERATIONAL AMPLIFIER*
LT1807 ”**

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 tanpa meminta izin dari 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 : 8 Juni 2010
Yang menyatakan

(Bambang Hermanto)

ABSTRAK

Nama : Bambang Hermanto
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Elektrik dengan Operational amplifier LT1807

Tugas akhir ini membahas mengenai perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas dielektrik dengan menggunakan *Operational amplifier* LT 1807. Perancangan dilakukan dengan simulasi menggunakan multisim 10.0.1 dan menerapkan hasil simulasi di papan *protoboard*. Berdasarkan implementasi dan pengujian rangkaian detektor fasa hasil kajian ini, didapatkan hasil yang lebih baik pada rangkaian rangkaian Pcb. Hal ini disebabkan karena *capacitance stray* menjadi lebih besar karena penggunaan *protoboard* dan *noise* yang disebabkan oleh adanya kabel jumper. Berdasarkan pengujian hasil optimisasi terhadap tiga nilai resistansi diatas 1 KiloOhm yang dibandingkan dengan hasil rangkaian sebelumnya didapatkan lebar pulsa beda fasa dengan margin kesalahan terhadap perhitungan sebesar 0.508° .

Kata kunci:

Konduktivitas dielektrik, *Capacitance stray*, *protoboard*, *Operational amplifier*.

ABSTRACT

Name : Bambang Hermanto
Study Program: Electrical Engineering
Title : Low Frequency Phase Detector Circuit as Read-Out Circuit of
Moisture and Electric Conductivity Sensor using Operational
amplifier LT1807

This project discusses about the design of output circuits readers conductivity and dielectric humidity sensor using Operational amplifier LT1807. The design was simulated using Multisim 10.0.1 and applying the simulation results in protoboard. Based on the implementation and testing phase detector circuit results of this study, obtained better results in the pcb board. This is because the stray capacitance becomes larger as the use protoboard and noise caused by the presence of jumper cables. Based on the testing results of the optimization of the three above 1 KiloOhm resistance value that is compared with the previous set of results obtained with the phase shift between pulse width to the calculation of margin of error of 0.508o.

Key words:

Conductivity dielectric, Capacitance stray, protoboard, Operational amplifier.

DAFTAR ISI

<u>HALAMAN JUDUL</u>	i
<u>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</u>	ii
<u>HALAMAN PENGESAHAN</u>	iii
<u>KATA PENGANTAR</u>	iv
<u>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</u>	vi
<u>ABSTRAK</u>	vii
<u>ABSTRACT</u>	viii
<u>DAFTAR ISI</u>	ix
<u>DAFTAR TABEL</u>	xi
<u>DAFTAR GAMBAR</u>	xii
<u>DAFTAR LAMPIRAN</u>	xiv
<u>1. PENDAHULUAN</u>	
1.1 Latar belakang.....	1
1.1.1 Perumusan masalah.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Sistematika Penulisan.....	3
1.4 Metode Penulisan Skripsi.....	3
<u>2. LANDASAN TEORI</u>	
2.1 Rangkaian Ganti Impedansi Tanah.....	4
2.2 Blok Diagram Detektor Frekuensi Rendah.....	8
2.3 Komponen yang Digunakan untuk Perancangan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	9
2.3.1 <i>Operational Amplifier</i>	9
2.3.1.1 Pengertian Dasar.....	9
2.3.1.2 Karakteristik Ideal <i>Operating Amplifier</i>	10
2.3.1.3 Parameter-Parameter Penting Dalam <i>Operational Amplifier</i>	13
2.4 CMOS X-OR Logic gates [4] [9].....	17
2.5 Transmisi Daya dan Karakteristik Rugi Daya Pada Saluran Transmisi.....	18
<u>3. SIMULASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH</u>	
3.1 Rangkaian Detektor Fasa dengan <i>Delay</i> Sebesar 2 <i>microsecond</i>	20
3.2 Sinyal Keluaran <i>Oscilloscope</i> Hasil Rangkaian Simulasi.....	20
<u>4. ANALISA PEMILIHAN KOMPONEN UNTUK PERANCANGAN RANGKAIAN DETEKTOR FASA</u>	
4.1 Analisis Ketersediaan Komponen di Indonesia.....	28

4.2	<u>Analisa Datasheet Komponen <i>Operational Amplifier</i></u>	<u>28</u>
4.2.1	<u>IC CLC440.....</u>	<u>30</u>
4.2.2	<u>IC OPA190</u>	<u>31</u>
4.2.3	<u>IC LTC1051</u>	<u>31</u>
4.2.4	<u>IC LT1807</u>	<u>32</u>
4.2.5	<u>IC LT1886</u>	<u>33</u>
4.3	<u>Analisa Menggunakan <i>Software</i> Multisim 10.0.1.....</u>	<u>34</u>
4.3.1	<u>IC CLC440.....</u>	<u>35</u>
4.3.2	<u>IC OPA190</u>	<u>38</u>
4.3.3	<u>IC LTC1051.....</u>	<u>40</u>
4.3.4	<u>IC LT1807</u>	<u>41</u>
4.3.5	<u>IC LTC1051</u>	<u>43</u>
5. IMPLEMENTASI DAN OPTIMISASI RANGKAIAN DETEKTOR		
FASA FREKUENSI RENDAH		
5.1.1	Implementasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah	47
5.1.2	Desain Dengan Protel	47
5.1.3	Implementasi Desain pada PCB (<i>Printed Circuit Board</i>) dan Proto board	53
5.1.4	Rangkaian Power Supply.....	54
5.1.5	Pengujian Alat	55
5.1.5.1	Pengujian Sinyal dari RC Generator	55
5.1.5.2	Pengujian Sinyal Masukan dan keluaran Sensor.....	56
5.2	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah	57
5.2.1	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah	58
5.2.2	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah	68
6. KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	KESIMPULAN	73
6.2	SARAN	74
DAFTAR ACUAN		75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		77

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakteristik logika XOR	26
Tabel 4.1	Perbandingan <i>datasheet operational amplifier</i> uji	30
Tabel 4.2	Pemilihan <i>operational amplifier</i> berdasarkan parameter <i>datasheet</i> pada frekuensi 30 kHz.....	35
Tabel 4.3	Data keluaran hasil simulasi dengan lebar fasa 30°	37
Tabel 4.4	Perbandingan data keluaran beda fasa <i>operational amplifier</i>	44
Tabel 4.5	Data keluaran spectrum Analyzer	46
Tabel 5.1	Hasil pengukuran arus pada masukan kaki <i>operational amplifier</i>	51
Tabel 5.2	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan resistor diatas1 KiloOhm.....	58
Tabel 5.3	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807 (lebar fasa).....	58
Tabel 5.4	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807 (sudut fasa).....	59
Tabel 5.5	Hasil rangkuman pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807.....	60
Tabel 5.6	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 saudara Taufik(lebar fasa).....	64
Tabel 5.7	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 saudara Taufik(sudut fasa).....	64
Tabel 5.8	Rangkuman hasil pengujian simulasi rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 [3].....	65
Tabel 5.9	Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807(simulasi).....	66
Tabel 5.10	Hasil rangkuman pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807(simulasi).....	67

Tabel 5.11 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807(simulasi).....	68
Tabel 5.12 Hasil rangkuman pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807(praktek).....	68
Tabel 5.13 Hasil rangkuman pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1886[3].....	..68
Tabel 5.14 Data perbandingan rangkaian detektor fasa dengan Op-amp 1807 dan 1886.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rangkaian ganti sensor.....	2
Gambar 2.1	Rangkaian ganti impedansi tanah yang dibaca sensor Kelembaban dan konduktivitas elektrik.....	4
Gambar 2.2	Grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh Dr.Ir.Agus Santoso Tamsir, M.T.....	5
Gambar 2.3	Blok diagram sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik dan detektor fasa	8
Gambar 2.4	Simbol <i>operational amplifier</i>	9
Gambar 2.5	Grafik penguatan tegangan terhadap frekuensi <i>operational amplifier</i>	14
Gambar 2.6	Tabel fungsi XOR Gate CMOS	17
Gambar 2.7	Diagram fungsional dan diagram <i>logic XOR Gate CMOS</i>	17
Gambar 2.8	Model berbasis elemen padu sebuah saluran transmisi.....	18
Gambar 3.1a	Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan <i>operational amplifier</i> LT 18086CS8.....	20
Gambar 3.1b	Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan <i>operational amplifier</i> LT 1807CMS8.....	21
Gambar 3.2a	Grafik sinyal keluaran rangkaian detektor fasa <i>operational amplifier</i> LT 1807CMS8	22
Gambar 3.2b	Grafik sinyal keluaran rangkaian detektor fasa <i>operational amplifier</i> LT 18086CS8.....	23
Gambar 3.3a	Grafik sinyal keluaran dan masukan rangkaian detektor fasa <i>operational amplifier</i> LT 18086CS8.....	23
Gambar 3.3b	Grafik sinyal keluaran dan masukan rangkaian detektor fasa <i>operational amplifier</i> LT 1807CMS8	24
Gambar 3.4	Kurva perbandingan <i>slew rate</i> dan FPBW	25
Gambar 3.5	Hasil sinyal pencuplikan gerbang XOR	26
Gambar 4.1	Kurva CMRR vs frekuensi pada OPA2277PA.....	31
Gambar 4.2	Simulasi rangkaian dengan menggunakan OPA2277PA.....	37
Gambar 4.3	Hasil pengamatan sinyal keluaran dengan <i>oscilloscope</i>	37
Gambar 4.4	Hasil pengamatan sinyal keluaran <i>dengan spectrum analyzer</i>	39
Gambar 4.5	Grafik pengamatan sinyal keluaran <i>op-amp</i> yang berfungsi sebagai komparator	39
Gambar 4.6	Grafik pengamatan sinyal keluaran <i>op-amp</i> yang berfungsi sebagai komparator	39
Gambar 5.1	Desain rangkaian menggunakan Protel.....	47
Gambar 5.2	Desain PCB rangkaian menggunakan Protel 99SE.....	48
Gambar 5.3	Rangkaian single 12 V supply ADSL Modem Line Driver	48
Gambar 5.4	Desain rangkaian detektor fasa dengan rangkaian kompensasinya.....	49
Gambar 5.5	Nilai arus masukan kaki positif dan negatif <i>operational amplifier</i> tanpa kompensasi	50
Gambar 5.6	Rangkaian kompensasi yang disederhanakan	51

Gambar 5.7	Rangkaian kompensasi yang disederhanakan	51
Gambar 5.8	Tipe kaki dual LT1886CS8	53
Gambar 5.9	Tipe kaki IC XOR 74HC86N	54
Gambar 5.10	Rangkaian sensor pada <i>Proto board</i>	54
Gambar 5.11	Rangkaian sensor pada <i>PCB</i>	55
Gambar 5.12	Rangkaian suplai tegangan	55
Gambar 5.13	Sinyal masukan detektor fasa dari RC Generator	56
Gambar 5.14	Sinyal keluaran detektor fasa	57
Gambar 5.15	<i>Quasi static electric field</i>	61
Gambar 5.16	Kedalaman penetrasi garis medan listrik	62
Gambar 5.17	<i>Interdigital dielectrometry sensor</i>	62
Gambar 5.18	Rangkaian simulasi <i>LT1807</i>	66
Gambar 5.19	Grafik perbandingan standar deviasi	70
Gambar 5.20	Grafik perbandingan persentase kesalahan	70
Gambar 5.21	Grafik LT1886 dan LT1807 secara terhadap teori	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Perbandingan FPBW dan <i>Slew Rate</i> untuk frekuensi rendah
Lampiran 2	Perbandingan kurva CMRR pada frekuensi 30 kHz.....
Lampiran 3	Gambar rangkaian simulasi, dan hasil pengamatan menggunakan oscilloscope dan spectrum analyzer
Lampiran 4	Data Pengukuran Hasil Simulasi dan Praktek
Lampiran 5	Pengujian Rangkaian Detektor Fasa Hasil Optimisasi
Lampiran 6	<i>Datasheet</i> LT1886CS8.....
Lampiran 7	<i>Datasheet</i> 74HC86.....

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

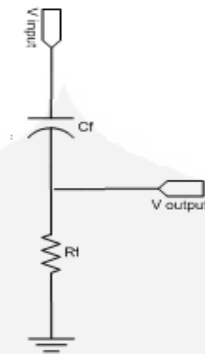
1.1.1 Perumusan Masalah

Dalam dunia pertanian, sebaiknya petani memperhitungkan keadaan konduktivitas elektrik pada tanah yang akan digunakan untuk bercocok tanam. Hal ini penting untuk menentukan perlakuan pada tanah tersebut, misalnya berapa kadar pemupukan yang tepat dan berapa kadar air yang digunakan untuk pengairan. Keadaan konduktivitas elektrik pada tanah dapat diukur dengan menggunakan sensor .

Salah satu parameter penting yang terdapat pada sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik adalah perbedaan fasa antara tegangan *input* dan tegangan *output*nya. Perbedaan fasa adalah salah satu parameter dalam menghitung nilai konduktivitas elektrik di tanah, disamping dua parameter yang lain yakni besarnya tegangan input dan tegangan output sensor [2]

Konduktivitas elektrik adalah kemampuan larutan untuk menghantarkan arus listrik. Arus listrik bergerak dengan efisien melalui air yang mempunyai kadar garam tinggi (konduktivitas elektrik tinggi), dan bergerak dengan resistansi lebih melalui air murni (konduktivitas rendah). Konduktivitas elektrik mengindikasikan berapa banyak garam yang terlarut dalam suatu sampel. Hal ini mengapa konduktivitas elektrik sering disebut sebagai TDS (*total dissolved salts*) atau *salinitas* (jumlah garam dalam larutan). Semua nutrisi dalam tanah adalah garam-garaman, sehingga mengukur nilai konduktivitas elektrik sama dengan mengukur jumlah total nutrisi dalam tanah. Dengan mengetahui tingkat konduktivitas elektrik dalam tanah, akan membantu dalam perencanaan produksi dan memonitor input yang masuk kedalamnya. [1]

. Penelitian yang telah dilakukan adalah penelitian untuk menghitung perbedaan fasa antara tegangan *input* dan tegangan *output* pada suatu sensor yang digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas elektrik. Secara umum gambar rangkaian ganti dari sensor tersebut adalah sebagai berikut,



Gambar 1.1 Rangkaian ganti sensor

Dari gambar terlihat adanya input sensor, output sensor, kapasitor dan resistor, pada rangkaian ganti tersebut nilai R dan C merupakan nilai variabel atau berubah-ubah tergantung konduktivitas elektrik dari tanah yang diukur, sehingga menyebabkan ada perbedaan fasa antara V_{input} dan V_{output} . Nilai resistansi terkait dengan besarnya kadar ion, sedangkan nilai kapasitansi terkait dengan kadar air dalam tanah. Perbedaan fasa inilah yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengukur besarnya konduktivitas elektrik tersebut. Adapun frekuensi kerja dari sensor ini yaitu pada rentang 30 – 100 KHz.

1.1.2 Tujuan Penulisan Skripsi

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan,

- a. Perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang keluarannya berupa nilai beda fasa antara tegangan masukan dan keluaran sensor dengan metode *Zero crossing detector*.
- b. Melakukan perbandingan data hasil keluaran sensor dari beberapa rangkaian yang digunakan, dalam hal ini menggunakan op-amp yang berbeda menurut data percobaan dan simulasi.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada perbandingan keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik, untuk menentukan hasil yang paling baik dan yang akan digunakan dalam penelitian selanjutnya, dengan batasan sebagai berikut:

- a. Detektor fasa bekerja pada frekuensi 30 kHz.
- b. Perancangan simulasi rangkaian dan desain pcb (*printed circuit board*) dilakukan dengan menggunakan multisim 10.0.1 dan Protel 99SE
- c. Nilai beda fasa yang dibaca adalah sebesar $0^\circ - 90^\circ$.
- d. Pengujian hasil perancangan dilakukan dengan menggunakan nilai kapasitor dan resistor sebagai pengganti nilai kapasitansi dan resistansi tanah.
- e. Hasil keluaran rangkaian detektor fasa adalah lebar pulsa sinyal yang merepresentasikan beda fasa dalam domain waktu yang diamati dengan menggunakan *Oscilloscope*.

1.3 Sistematika Penulisan

Bab satu meliputi latar belakang, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab dua menjelaskan mengenai rangkaian ganti impedansi tanah, blok diagram perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, komponen yang digunakan untuk perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah. Bab tiga adalah penjelasan simulasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah yang dibangun dengan menggunakan *software* multisim 10.0.1 . Bab empat adalah implementasi dan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah serta perbandingan hasil dari beberapa tipe op-amp yang digunakan. Bab lima adalah kesimpulan dan saran.

1.4 Metode Penulisan Seminar

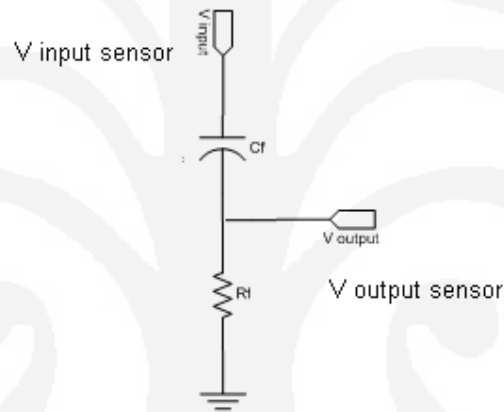
Skripsi ini disusun dengan melakukan studi literatur, kajian simulasi pada multisim dan mengimplementasikan dan menguji hasil simulasi dengan membuat model rangkaian di pcb. Sedangkan untuk melihat hasil pembacaan digunakan *Oscilloscope Storage* sehingga data tersebut dapat lebih mudah diambil untuk di analisa.

BAB 2

LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang terdiri dari rangkaian ganti impedansi tanah, blok diagram perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, komponen yang digunakan untuk perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah.

2.1 Rangkaian Ganti Impedansi Tanah



Gambar 2.1 Rangkaian ganti impedansi tanah yang dibaca sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik

Gambar rangkaian 2.1 diatas merupakan rangkaian impedansi pada tanah yang terdiri dari resistansi dan kapasitansi. Kombinasi kapasitansi dan resistansi yang disusun seperti gambar tersebut akan menyebabkan terjadinya beda fasa antara tegangan masukan sensor (*V input sensor*) dan tegangan keluaran sensor (*V output sensor*)[3]. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi tanah diukur dengan menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi yang berbeda-beda untuk setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai konduktivitas elektriknya di dalam tanah.

Secara matematis rangkaian sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik diatas dapat dijabarkan sebagai berikut,

Tegangan masukan dari sensor, sesuai dengan gambar rangkaian ganti diatas, adalah *V input* dan tegangan keluaran dari sensor adalah *V output*. Oleh

karena tegangan yang digunakan adalah tegangan bolak-balik maka nilai V_{input} dan V_{output} nya dapat dituliskan sebagai berikut,

$$V_{input} = v_i = V_i \sin \omega t \quad (2.1)$$

$$V_{output} = v_o = V_o \sin \omega t \quad (2.2)$$

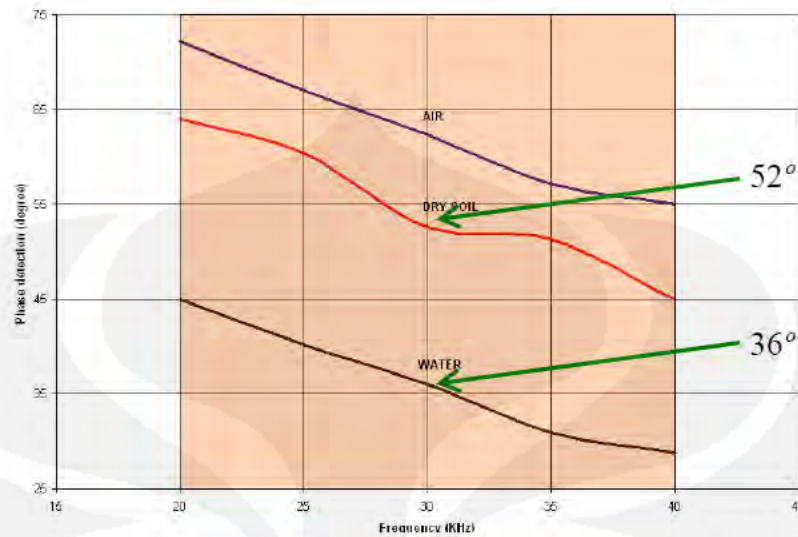
Tegangan *input* dan *output* dipisahkan oleh impedansi (Z) yang terdiri dari komponen resistor (R) dan kapasitor (C).

$$Z = \sqrt{(R)^2 + (X_c)^2} \quad (2.3)$$

X_c merupakan resistansi kapasitif yang besarnya

$$X_c = \frac{1}{j\omega C}, \quad \omega = 2\pi f \quad (2.4)$$

nilai frekuensi yang digunakan untuk menghitung besarnya ω tergantung dari spesifikasi dari sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik yang digunakan. Dalam perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik, nilai frekuensi yang digunakan adalah sebesar 30 kHz. Penggunaan frekuensi ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Dr.Ir.Agus Santoso Tamsir, M.T. Hasil dari penelitiannya adalah bahwa pengukuran beda fasa akibat pengaruh kapasitansi dan resistansi tanah menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik akan stabil pada frekuensi 30 kHz ke atas.



Gambar 2. 2 Grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh Dr.Ir.Agus Santoso Tamsir,M.T.

Pada frekuensi dibawah 30 kHz, nilai beda fasa antara tegangan masukan dan keluaran sensor karena pengaruh kapasitansi dan resistansi di tanah berubah-ubah. Nilai beda fasa tersebut akan stabil ketika frekuensi tegangan masukan bernilai 30 kHz keatas.

Dengan persamaan 2.2 dan 2.3 diatas maka dapat dihitung nilai arus yang mengalir pada rangkaian, yaitu :

$$i = \frac{v_o}{Z} = \frac{V_o \sin(\omega t + \varphi)}{\sqrt{(R)^2 + (Xc)^2}} \quad (2.5)$$

$$I = \frac{V_o}{Z} \quad (2.6)$$

Selain menggunakan persamaan $Z = \sqrt{(R^2) + (Xc^2)}$ untuk menghitung besarnya impedansi rangkaian, nilai impedansi rangkaian dapat dihitung melalui persamaan

$$Z = \frac{V_o - V_i}{i} \quad (2.7)$$

$$Z = \frac{V_o - V_i}{I} \angle \varphi \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan 2.8 dan 2.6 dapat diturunkan persamaan menggunakan nilai admitansi (Y),

$$Y = \left\{ \frac{(V_o - V_i)V_o}{Z} \right\} \angle \varphi \quad (2.9)$$

$$Y = \left\{ \frac{(V_o - V_i)V_o}{Z} \right\} (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (2.10)$$

Nilai dari admitansi itu sendiri jika dijabarkan akan didapatkan dua komponen yakni

$$Y = G + j\omega C \quad (2.11)$$

Nilai G dapat dihitung dengan menggunakan persamaan nilai konduktivitas tanah,

$$G = \sigma \frac{A}{L} \quad (2.12)$$

keterangan:

- L = panjang media yang diukur (m)
- A = luas media yang diukur (m²)
- σ = nilai konduktivitas tanah (ohm/m)

Dengan demikian, berdasarkan persamaan 2.10 dan 2.11 akan didapatkan nilai G dan ωC sebagai berikut,

$$G = \left\{ \frac{(V_o^2 - V_o V_i)}{Z} \right\} \cos \varphi \quad (2.12)$$

$$\omega C = \omega \left(\varepsilon_o \varepsilon_r \frac{A}{L} \right) = \left\{ \frac{(V_o^2 - V_o V_i)}{Z} \right\} \sin \varphi \quad (2.13)$$

$$C = \varepsilon_o \varepsilon_r \frac{A}{L} \quad (2.14)$$

keterangan:

- ε_o = permitivitas udara
- ε_r = permitivitas relative bahan
- A = luas penampang dielektrik (m²)
- L = jarak pisah dielektrik (m)

Berdasarkan persamaan 2.12 maka nilai konduktivitas (σ) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{GL}{A} \quad (2.15)$$

Jika digabungkan dengan persamaan 2.12 maka akan didapatkan nilai konduktivitas sebesar,

$$\sigma = \frac{L.(V_o^2 - V_o V_i). \cos \varphi}{A.Z} \quad (2.16)$$

Dari persamaan 2.13 dan 2.14 akan didapatkan nilai permitivitas relatif tanah (ϵ_r),

$$\epsilon_r = \frac{(V_o^2 - V_o V_i)L. \sin \varphi}{Z.A.\epsilon_o.\omega} \quad (2.17)$$

Berdasarkan persamaan 2.17, beda fasa antara tegangan output dan tegangan input sensor(φ) dapat dirumuskan,

$$\varphi = \arcsin \left(\frac{Z.A.\epsilon_o.\epsilon_r.\omega}{(V_o^2 - V_o V_i)L} \right) \quad (2.18)$$

Ketiga parameter dalam persamaan 2.16 sampai 2.18 tersebut yang nantinya akan digunakan menganalisa keadaan tanah yang diukur dengan menggunakan sensor ini.

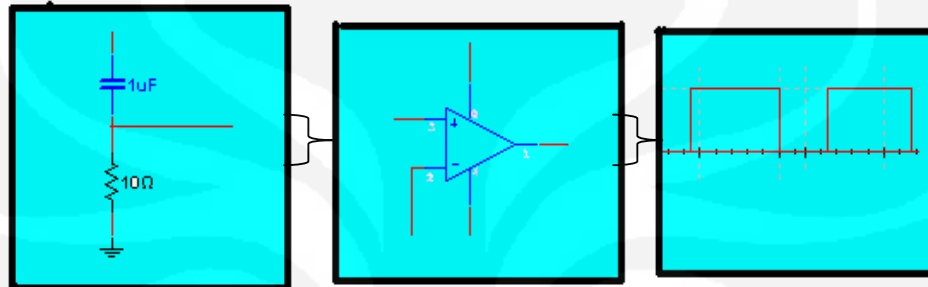
2.2 Blok Diagram Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik dan detektor fasa merupakan satu kesatuan rangkaian yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain dalam menjalankan fungsinya untuk membaca nilai konduktivitas elektrik di tanah. Perbedaan fasa antara tegangan masukan dan keluaran sensor karena pengaruh kapasitansi dan resistansi tanah akan dibaca dan ditampilkan oleh rangkaian detektor fasa frekuensi rendah.

Secara umum pengertian rangkaian detektor fasa adalah rangkaian analog yang menghasilkan sinyal keluaran yang merepresentasikan perbedaan fasa diantara dua sinyal masukan. Pendeteksian perbedaan fasa sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti pengontrolan motor, radar, sistem telekomunikasi, mekanisme *servo* dan *demodulator*.

Secara umum, blok diagram dari sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik dan detektor fasa ditunjukkan pada gambar 2.3. Bagian ujung dari sensor

kelembaban dan konduktivitas elektrik akan dimasukkan kedalam sampel tanah yang akan diukur. Sesuai dengan rangkaian ganti pada gambar 2.1, sensor ini disuplai oleh tegangan masukan (V_i) dan akan mengeluarkan tegangan keluran (V_o). Tegangan masukan dan tegangan keluaran sensor yang berupa tegangan AC ini akan dibandingkan nilai fasanya (φ) oleh detektor fasa. Selanjutnya nilai beda fasa ini akan ditampilkan pada *oscilloscope*.



Gambar 2.3 Blok diagram sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik dan detektor fasa

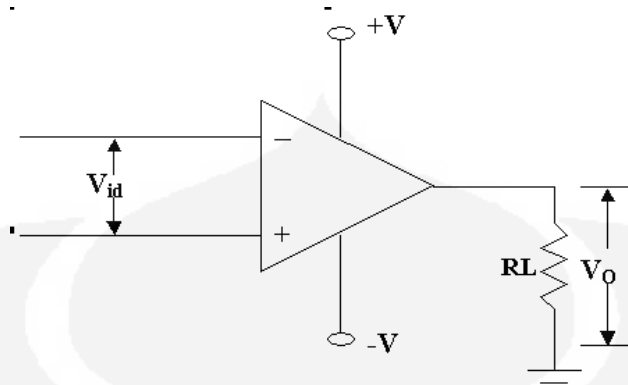
2.3 Komponen yang Digunakan untuk Perancangan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Dalam melakukan perancangan rangkaian detektor fasa pada sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik ini, penulis menggunakan beberapa komponen elektronika. Komponen-komponen tersebut adalah:

2.1 *Operational Amplifier* [4][5][7][8]

2.1.1 Pengertian Dasar

Operational amplifier (Op Amp) adalah suatu rangkaian terintegrasi yang berisi beberapa tingkat dan konfigurasi penguat diferensial. *Operational amplifier* memiliki dua masukan dan satu keluaran serta memiliki penguatan DC yang tinggi. Untuk dapat bekerja dengan baik, *operational amplifier* memerlukan tegangan catu yang simetris yaitu tegangan yang berharga positif (+V) dan tegangan yang berharga negatif (-V) terhadap tanah (*ground*). Berikut adalah simbol dari *operational amplifier*:

Gambar 2.4 Simbol *operational amplifier*

2.1.2 Karakteristik Ideal *Operating Amplifier*

Operational amplifier banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena mempunyai beberapa keunggulan, seperti penguatan yang tinggi, impedansi masukan yang tinggi, dan impedansi keluaran yang rendah. Berikut ini adalah beberapa karakteristik dari *operational amplifier* ideal:

- a. Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open-loop voltage penguatan*)

$$A_{VOL} = \infty$$

Penguatan tegangan lingkaran terbuka (*open loop voltage penguatan*) adalah penguatan diferensial *operational amplifier* pada kondisi dimana tidak terdapat umpan balik (*feedback*) yang diterapkan padanya seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Secara ideal, penguatan tegangan lingkaran terbuka adalah:

$$A_{VOL} = \frac{V_o}{V_{id}} = -\infty \quad (2.20)$$

$$A_{VOL} = \frac{V_o}{V_1 - V_2} = -\infty \quad (2.21)$$

Tanda negatif menandakan bahwa tegangan keluaran V_o berbeda fasa dengan tegangan masukan V_{id} . Konsep tentang penguatan tegangan tak berhingga tersebut sukar untuk divisualisasikan dan tidak mungkin untuk diwujudkan. Suatu hal yang perlu untuk dimengerti adalah bahwa tegangan keluaran V_o jauh lebih besar daripada tegangan masukan V_{id} . Dalam kondisi praktis, harga A_{VOL} adalah antara 5000 (sekitar 74 dB) hingga 100000 (sekitar 100 dB).

Tetapi dalam penerapannya tegangan keluaran V_O tidak lebih dari tegangan catu yang diberikan pada *operational amplifier*. Karena itu *operational amplifier* baik digunakan untuk menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil.

- b. Tegangan *offset* keluaran (*output offset voltage*) $V_{OO} = 0$

Tegangan *offset* keluaran (*output offset voltage*) V_{OO} adalah harga tegangan keluaran dari *operational amplifier* terhadap tanah (*ground*) pada kondisi tegangan masukan $V_{id} = 0$. Secara ideal, harga $V_{OO} = 0$ V. *Operational amplifier* yang dapat memenuhi harga tersebut disebut sebagai *operational amplifier* dengan CMR (*common mode rejection*) ideal.

Akan tetapi dalam kondisi praktis, akibat adanya ketidakseimbangan dan ketidakidentikan dalam penguat diferensial dalam *operational amplifier* tersebut, maka tegangan ofset V_{OO} biasanya berharga sedikit di atas 0 V. Apalagi apabila tidak digunakan umpan balik maka harga V_{OO} akan menjadi cukup besar untuk menimbulkan saturasi pada keluaran. Untuk mengatasi hal ini, maka perlu diterapkan tegangan koreksi pada *operational amplifier*. Hal ini dilakukan agar pada saat tegangan masukan $V_{id} = 0$, tegangan keluaran V_O juga = 0.

- c. Hambatan masukan (*input resistance*) $R_i = \infty$

Hambatan masukan (*input resistance*) R_i dari *operational amplifier* adalah besar hambatan di antara kedua masukan *operational amplifier*. Secara ideal hambatan masukan *operational amplifier* adalah tak berhingga. Tetapi dalam kondisi praktis, harga hambatan masukan *operational amplifier* adalah antara 5 k Ω hingga 20 M Ω , tergantung pada tipenya. Harga ini biasanya diukur pada kondisi tanpa umpan balik. Apabila suatu umpan balik negatif (*negative feedback*) diterapkan, maka hambatan masukan *operational amplifier* akan meningkat.

Dalam suatu penguat, hambatan masukan yang besar adalah suatu hal yang diharapkan. Semakin besar hambatan masukan suatu penguat, semakin baik penguat tersebut dalam menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil. Dengan hambatan masukan yang besar, maka sumber sinyal masukan tidak terbebani terlalu besar.

d. Hambatan keluaran (output resistance) $R_O = 0$

Hambatan Keluaran (*output resistance*) atau R_O dari *operational amplifier* adalah besarnya hambatan dalam yang timbul pada saat *operational amplifier* bekerja sebagai pembangkit sinyal. Secara ideal harga hambatan keluaran R_O adalah $= 0$. Apabila hal ini tercapai, maka seluruh tegangan keluaran akan timbul pada beban keluaran (R_L), sehingga dalam suatu penguat, hambatan keluaran yang kecil sangat diharapkan.

Dalam kondisi praktis harga hambatan keluaran *operational amplifier* adalah antara beberapa ohm hingga ratusan ohm pada kondisi tanpa umpan balik. Dengan diterapkannya umpan balik, maka harga hambatan keluaran akan menurun hingga mendekati kondisi ideal.

e. Lebar pita (*band width*) $BW = \infty$

Lebar pita (*band width*) BW dari *operational amplifier* adalah lebar frekuensi tertentu dimana tegangan keluaran tidak jatuh lebih dari 0,707 dari harga tegangan maksimum pada saat amplitudo tegangan masukan konstan. Secara ideal, *operational amplifier* memiliki lebar pita yang tak terhingga. Tetapi dalam penerapannya, hal ini jauh dari kenyataan.

Sebagian besar *operational amplifier* serba guna memiliki lebar pita hingga 1 MHz dan biasanya diterapkan pada sinyal dengan frekuensi beberapa KiloHertz. Tetapi ada juga yang khusus dirancang untuk bekerja pada frekuensi beberapa MegaHertz. *Operational amplifier* jenis ini juga harus didukung komponen eksternal yang dapat mengkompensasi frekuensi tinggi agar dapat bekerja dengan baik.

f. Waktu tanggapan (*respon time*) $= 0$ detik

Waktu tanggapan (*respon time*) dari *operational amplifier* adalah waktu yang diperlukan oleh keluaran untuk berubah setelah masukan berubah. Secara ideal harga waktu respon *operational amplifier* adalah $= 0$ detik, yaitu keluaran harus berubah langsung pada saat masukan berubah.

Tetapi dalam prakteknya, waktu tanggapan dari *operational amplifier* memang cepat tetapi tidak langsung berubah sesuai masukan. Waktu tanggapan pada umumnya adalah beberapa mikro detik hal ini disebut juga *slew rate*. Perubahan keluaran yang hanya beberapa mikrodetik setelah

perubahan masukan tersebut umumnya disertai dengan *overshoot* yaitu lonjakan yang melebihi kondisi *steady state*. Tetapi pada penerapan biasa, hal ini dapat diabaikan.

g. Karakteristik tidak berubah dengan suhu

Sebagaimana diketahui, suatu bahan semikonduktor akan berubah karakteristiknya apabila terjadi perubahan suhu yang cukup besar. Pada *operational amplifier* yang ideal, karakteristiknya tidak berubah terhadap perubahan suhu. Tetapi dalam prakteknya, karakteristik sebuah *operational amplifier* pada umumnya sedikit berubah, walaupun pada penerapan biasa, perubahan tersebut dapat diabaikan.

2.1.3 Parameter-Parameter Penting Dalam *Operational Amplifier*

a. CMRR (*Common Mode Rejection Ratio*)

Parameter CMRR merupakan parameter dalam *operational amplifier* yang menunjukkan perbandingan antara tegangan *offset* masukan dengan tegangan masukan *common mode*.

$$\text{CMRR} = \frac{V_{io}}{V_{cm}} \quad (2.22)$$

Keterangan :

V_{io} = Tegangan *offset* masukan

V_{cm} = Tegangan masukan *common mode*

Atau *Common Mode Rejection Ratio* dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan antara level tegangan keluaran dengan perubahan tegangan masukan *common mode*.

$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_{cm}} \quad (2.23)$$

$$\text{CMRR}_{(\log)} = 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_{cm}} \text{ (dB)} \quad (2.24)$$

$A_d = A_{vol}$

$$A_{cm} = \frac{V_{ocm}}{V_{cm}} \quad (2.25)$$

Keterangan :

$A_d=A_{vol}$ = Penguatan *operational amplifier* Lingkar terbuka

A_{cm} = Penguatan *operational amplifier* pada *common mode*

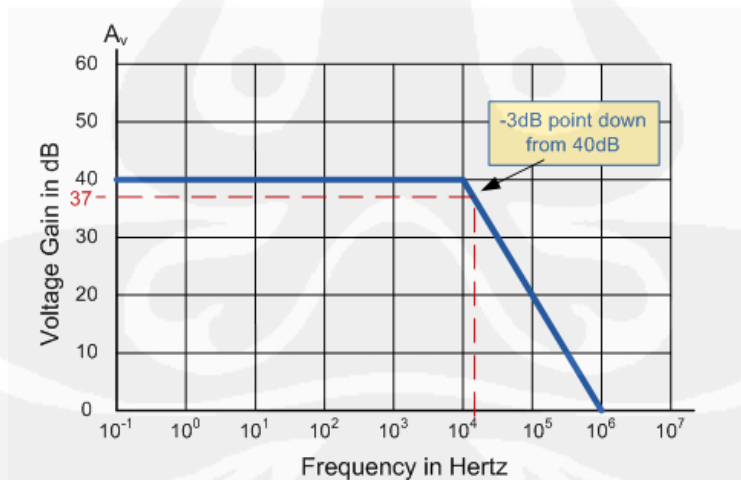
V_{ocm} = Tegangan keluaran *common mode*

V_{cm} = Tegangan masukan *common mode*

CMRR berbanding terbalik dengan V_{ocm} , padahal semakin tinggi V_{ocm} mengindikasikan ketidakseimbangan antara dua terminal input *operational amplifier*. Dengan demikian, semakin tinggi nilai CMRR maka nilai kedua kaki input *operational amplifier* akan seimbang. Disamping itu, nilai CMRR yang tinggi juga menunjukkan bahwa *operational amplifier* mempunyai kemampuan yang baik untuk menolak tegangan *common mode*, seperti 60 Hz noise. Besar kecilnya nilai CMRR yang dimiliki oleh *operational amplifier* berpengaruh pada tingkat akurasinya.

b. Lebar Bandwidth

Bandwidth dari *operational amplifier* adalah lebar frekuensi tertentu dimana tegangan keluaran tidak jatuh lebih dari 0,707 atau -3 dB dari harga tegangan maksimum pada saat amplitudo tegangan masukan konstan.



Gambar 2. 5 Grafik penguatan tegangan terhadap frekuensi operational amplifier

Menurut pembahasan dalam *Aplication report* yang dikeluarkan oleh Texas Instrumen, *bandwidth* merupakan aspek yang penting untuk membuat

operational amplifier frekuensi tinggi dapat bekerja dengan praktis dan untuk meningkatkan ketepatan penguatan sinyal [8]. Idealnya *bandwidth* yang dimiliki oleh *operational amplifier* tidak terhingga, sehingga dapat menguatkan sinyal frekuensi apapun.

Apabila dilihat dari grafik penguatan tegangan terhadap frekuensi diatas, maka *operational amplifier* tersebut mempunyai *bandwidth* sebesar 14 kHz, dengan penguatan sebesar 40 dB. Cara menentukan *bandwidth* suatu *operational amplifier* adalah sebagai berikut,

-3 dB dari 40 dB adalah 37 dB, lalu tarik garis kebawah saat 37 dB berpotongan dengan garis kerja karakteristik *operational amplifier*. Didapatkan nilai dari frekuensi saat penguatan tegangannya 37 dB adalah 14 kHz.

c. *Input offset*

Parameter yang ikut menentukan kehandalan dari sebuah *operational amplifier* yang digunakan sebagai komparator adalah nilai dari *input offset* nya. *Input offset* sendiri terdiri dari dua yakni arus *input offset* (I_{i0}) dan tegangan *input offset* (V_{i0}). Tegangan *input offset* adalah turunan tegangan masukan yang berada diantara dua terminal masukan dari *operational amplifier* tanpa pengaplikasian input eksternal lainnya. Dengan kata lain, tegangan *input offset* adalah jumlah tegangan masukan yang seharusnya diaplikasikan diantara dua terminal masukan dengan tujuan untuk memaksa tegangan keluaran menjadi nol. Semakin besar nilai tegangan *input offset*, maka ketidakseimbangan antara dua terminal *operational amplifier* semakin besar. Sedangkan arus *input offset* digunakan sebagai indikator derajat ketidakseimbangan diantara dua arus bias. Nilai arus *input offset* (I_{i0}) pada *data sheet* menunjukkan jumlah maksimum perbedaan diantara dua arus *input bias* (I_{B1} dan I_{B2}). I_{B1} merupakan arus bias yang mengalir kedalam masukan *non inverting*, sedangkan I_{B2} adalah arus bias yang mengalir kedalam masukan *inverting*. Meskipun nilai dari arus bias sangat kecil, arus bias (I_B) menyebabkan tegangan offset keluaran yang cukup signifikan dalam rangkaian yang menggunakan *feedback resistor* yang besar atau pada rangkaian yang tidak menggunakan *feedback resistor*.

d. *Thermal Drift*

Suhu mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai V_{io} , I_B dan I_{io} . Dalam *data sheet*, pengaruh perubahan suhu terhadap ketiga nilai tersebut dinotasikan dirumuskan sebagai berikut,

$$\frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} = \text{Penyimpangan tegangan masukan offset karena pengaruh suhu } \left(\frac{\mu V}{^\circ C} \right)$$

$$\frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} = \text{Penyimpangan arus masukan offset karena pengaruh suhu } \left(\frac{pA}{^\circ C} \right)$$

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta T} = \text{Penyimpangan arus masukan bias karena pengaruh suhu } \left(\frac{pA}{^\circ C} \right)$$

e. *Slew Rate*

Slew Rate suatu amplifier adalah rata-rata perubahan tegangan maksimum keluarannya setiap detik. *Slew rate* dinotasikan dalam V/s atau bahkan sering digunakan notasi V/ μ s. Jika kita punya gelombang sinusoidal dengan tegangan puncak ke puncaknya sebesar $2 V_p$ dan frekuensinya f , maka tegangannya dinotasikan dalam bentuk sinus adalah :

$$V(t) = V_p \sin 2\pi ft \quad (2.26)$$

Gelombang sinus tersebut mempunyai kecepatan perubahan maksimum (*slope*) saat *zero crossing*. Nilai kecepatan perubahan maksimumnya adalah:

$$\left. \frac{dV}{dt} \right|_{\max} = 2\pi fV_p \quad (2.27)$$

Untuk menghasilkan gelombang tersebut tanpa *distorsi*, *operational amplifier* harus dapat merespon nilai tegangan keluarannya pada nilai rata-rata kecepatannya atau lebih cepat. Saat *operational amplifier* mencapai nilai kecepatan respon maksimum, dikatakan bahwa *operational amplifier* tersebut mencapai batas *slew* (sering juga disebut sebagai batas kecepatan respon). Semakin tinggi nilai *slew rate* suatu *operational amplifier* maka semakin cepat *operational amplifier* tersebut dalam merespon perubahan tegangan keluaran setiap detik.

Kita dapat menghitung nilai frekuensi kerja maksimum *operational amplifier* agar nilai keluarannya bagus atau tidak mencapai nilai batas *slew ratenya*. Nilai frekuensi kerja maksimum ini disebut sebagai *full power bandwidth* (FPBW).

$$FPBW = \frac{\text{Slew Rate}}{2\pi V_p} \quad (2.28)$$

2.4 CMOS X-OR Logic Gates [4][9]

CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) digital logic sekarang banyak digunakan karena mereka mempunyai keuntungan dimana tidak ada disipasi daya diantara logika 0 atau logika 1. Dalam perancangan detektor fasa ini penulis menggunakan *Exclusive-OR (XOR) Gate CMOS*.

Output dari 2-input *exclusive-OR* akan bernilai 1 apabila hanya satu input yang mempunyai nilai 1. Dalam notasi *boolean*, nilai logika dari *exclusive-OR* ditunjukkan sebagai berikut,

$$Y = (A + B)(\overline{AB}) \quad (2.29)$$

Dalam aplikasinya di rangkaian, *XOR Gate CMOS* berfungsi untuk mendapatkan sinyal keluaran dari dua sinyal input tegangan yang berbentuk pulsa.

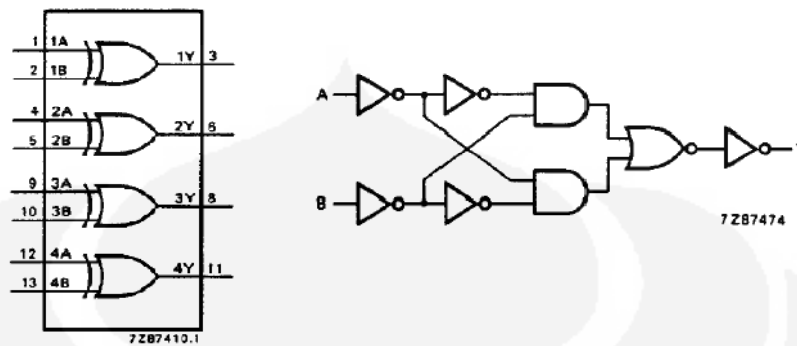
Salah satu *XOR gate CMOS* yang tersedia di pasaran dan sering digunakan dalam membuat suatu rancangan elektronika adalah 74HC/HCT86 dan 74LS86. Cmos yang penulis pakai adalah 74HC86. CMOS ini adalah *Si-gate CMOS* yang berkecepatan tinggi dengan *low power Schottky TTL (LSTTL)*.

INPUTS		OUTPUTS
nA	nB	nY
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Gambar 2.6 Tabel fungsi XOR Gate CMOS

Keterangan:

L = Level tegangan rendah
H = Level tegangan tinggi

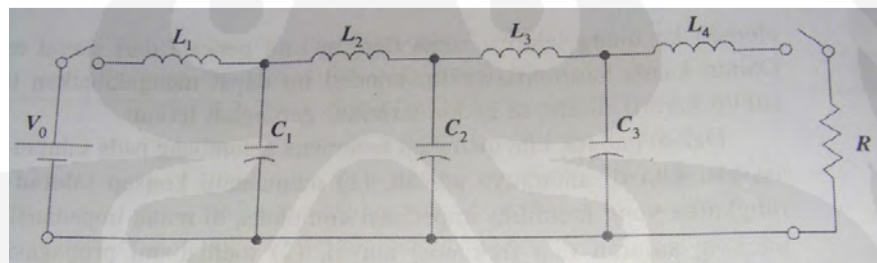


Gambar 2.7 Diagram fungsional dan digram logic XOR Gate CMOS

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai CMOS 74HC/HCT86 terdapat pada *data sheet* yang terdapat di lampiran.

2.5 Transmisi Daya dan Karakteristik Rugi Daya Pada Saluran Transmisi [5]

Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam mendesain rangkaian detektor fasa yang bekerja pada frekuensi 30 kHz adalah karakteristik transmisi daya dan rugi daya yang timbul saat menghantarkan daya dari *RC generator* ke detektor fasa.



Gambar 2. 8 Model berbasis elemen padu sebuah saluran transmisi

Jika saklar pada gambar 2.8 ditutup maka arus akan mengisi L_1 , dan pada gilirannya memungkinkan C_1 menyimpan muatan. Ketika C_1 hampir penuh, arus di L_2 mulai naik dan berikutnya memungkinkan pengisian C_2 . Pengisian induktor-kapasitor secara bertahap ini akan terus berlanjut hingga akhir rangkaian, dimana dalam kasus ini ketiga kapasitor telah terisi penuh. Di dalam rangkaian, lokasi "muka gelombang" dapat diketahui sebagai sebuah titik diantara dua

kapasitor yang bersebelahan, dimana tingkat pengisian kedua kapasitor bersangkutan menunjukkan selisih terbesar. Seiring dengan berjalannya proses pengisian bertahap ini, muka gelombang akan bergerak dari kiri ke kanan. Kecepatan pergerakan, atau perambatan atau propagasi, tersebut ditentukan oleh seberapa cepatnya tiap-tiap induktor dapat mencapai tegangan penuhnya. Sinyal akan merambat lebih cepat jika nilai L_i dan C_i lebih kecil. Sehingga, kita dapat menyimpulkan adanya hubungan berbanding terbalik antara kecepatan sinyal dengan suatu fungsi yang melibatkan hasil kali induktansi dan kapasitansi. Dalam sebuah saluran transmisi tanpa rugi-rugi, kita dapat mengetahui bahwa kecepatan gelombang adalah $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, dimana L dan C dinyatakan untuk per satuan panjang. Akhirnya dari sini kita dapat menegaskan bahwa keberadaan arus dan tegangan pada konduktor saluran transmisi mengimplikasikan adanya medan-medan listrik dan magnet di daerah sekitar konduktor tersebut, dimana medan-medan ini terkait dengan sinyal-sinyal arus dan tegangan di dalam konduktor. [5].

Menurut Hayt (2006), besarnya daya yang hilang karena ketidakselarasan antara impedansi saluran transmisi dan impedansi jalur tembaga di detektor fasa, dapat diturunkan dengan menggunakan rasio amplitudo tegangan pantul terhadap amplitudo tegangan datang (koefisien pantul Γ):

$$\Gamma \equiv \frac{V_{or}}{V_{oi}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = |\Gamma| e^{j\phi_r} \quad (2.28)$$

Bagian daya yang terpantul di impedansi jalur tembaga (beban) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{\langle P_r \rangle}{\langle P_i \rangle} = \Gamma \Gamma = |\Gamma|^2 \quad (2.29)$$

Sedangkan bagian yang diterima beban (terdisipasi beban) adalah:

$$\frac{\langle P_t \rangle}{\langle P_i \rangle} = 1 - |\Gamma|^2 \quad (2.30)$$

BAB 3

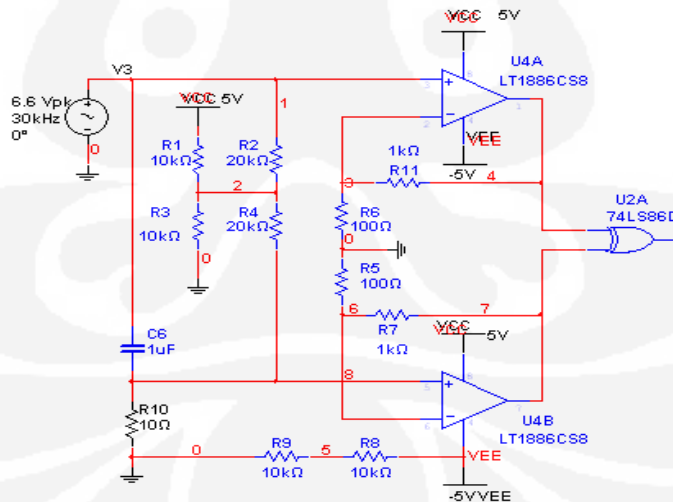
SIMULASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH

Karena dalam penelitian ini menggunakan rangkaian yang sama, maka disini akan dibandingkan keluaran dari rangkaian detektor fasa menggunakan dua komponen operational amplifier yang berbeda yaitu menggunakan LT1886CS8 dan LT1807CS8.

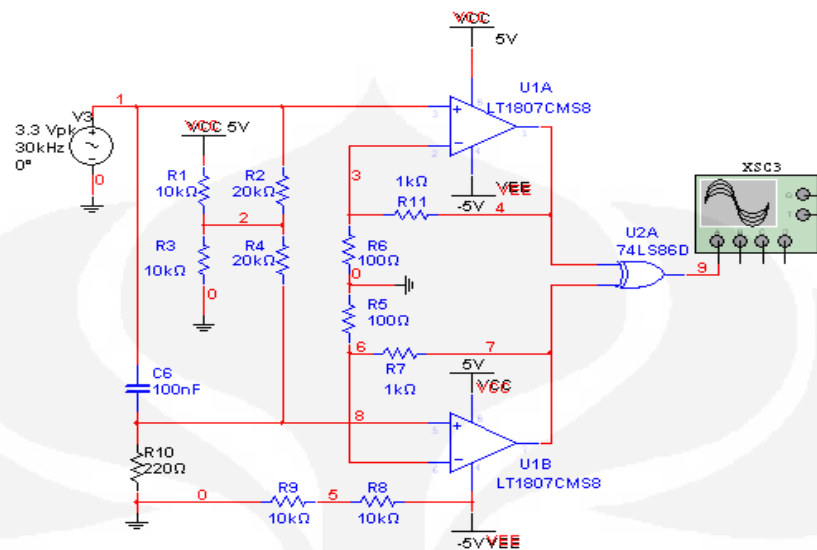
3.1 Rangkaian Detektor Fasa Dengan Menggunakan *Operational amplifier* LT1886CS8 dan LT 1807CS8

Sesuai dengan namanya, rangkaian detektor fasa perancangan yang kedua menggunakan komponen utama *operational amplifier*. *Operational amplifier* digunakan sebagai pembanding nilai tegangan keluaran dengan 0 volt. Perbedaan fasa antara tegangan output dan input didasarkan pada saat nilai tegangannya 0 volt (*zerro crossing*).

Komponen yang digunakan untuk membangun rangkaian detektor fasa ini adalah dua buah *operational amplifier* LT 18086CS8, LT 1807CMS8, dan IC XOR 74LS86D.



Gambar 3.1.a Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* LT 1886CS8



Gambar 3.1 .b Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* LT 1807CMS8

Gambar 3.1 diatas merupakan rangkaian detektor fasa hasil simulasi menggunakan software multisim. Gambar 3.1.a merupakan hasil rancangan yang menggunakan IC Op-Amp LT 1886CS8, sedangkan gambar gambar 3.1.b merupakan rancangan yang menggunakan IC Op-Amp LT 1807CMS8 . Secara keseluruhan kedua rangkaian diatas merupakan rangkaian yang sama, hanya saja menggunakan dua Ic Op-Amp yang berbeda. Simulasi rangkaian detektor fasa ini digunakan dua buah masukan tegangan yang merupakan tegangan masukan dan tegangan keluaran pada sensor konduktivitas yang ada. Sebagai simulasi pengganti sensor serta kapasitansi dan resistansi tanah, maka sumber tegangan di hubungkan dengan resistor dan kapasitor yang dirangkai paralel seperti pada gambar 3.1.

$$v_o = V_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.3)$$

$$v_i = V_m \cos(\omega t) \quad (3.4)$$

Keterangan:

- φ = fasa antara tegangan output
- v_o = besar tegangan output, (Volt)
- v_i = besar tegangan input, (Volt)

nilai kapasitansi dalam rangkaian akan menggeser fasa tegangan. Pergeseran fasa yang terjadi dirumuskan sebagai berikut,

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_c}{R} \quad (3.5)$$

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (3.6)$$

Dengan demikian nilai beda fasa dari tegangan yang dihasilkan karena penambahan resistor dan kapasitor sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai resistansi resistor (ohm), besarnya frekuensi yang digunakan (kHz) dan besarnya nilai kapasitansi kapasitor (Farad).

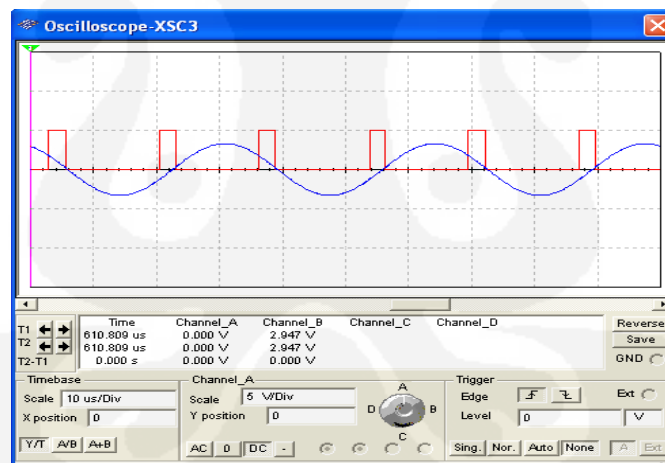
LT 1807CMS8 yang atas merupakan *operational amplifier* masukan sensor, yang berfungsi untuk membandingkan sinyal masukan sensor sebesar 3,3 Volt dan frekuensi 30 kHz dengan *ground*. Masukan kaki positifnya dihubungkan dengan sinyal suplai sensor, dan masukan kaki negatifnya dihubungkan dengan *ground*. Sedangkan LT 1807CMS8 yang bawah merupakan *operational amplifier* keluaran sensor, yang berfungsi untuk membandingkan sinyal keluaran sensor dengan *ground*. Masukan kaki positifnya dihubungkan dengan sinyal keluaran sensor, dan masukan kaki negatifnya dihubungkan dengan *ground*. Dalam hal ini sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik di gantikan oleh kapasitor dan resistor agar menghasilkan nilai beda fasa. VCC (+) untuk menyuplai *operational amplifier* diberi masukan 5 volt, sementara VCC (-) diberi masukan -5 volt.

Sesuai dengan karakteristik *operational amplifier*, apabila nilai input tegangan pada kaki positif *operational amplifier* lebih besar dari 0 volt maka keluaran dari *operational amplifier* adalah VCC (+) nya yakni sebesar 5 volt. Jika nilai input tegangan pada kaki positif *operational amplifier* lebih kecil dari 0 volt maka keluaran dari *operational amplifier* adalah VCC (-) nya yakni sebesar -5 volt.

3.2 Sinyal Keluaran *Oscilloscope* Hasil Rangkaian Simulasi



Gambar 3.2a Sinyal *oscilloscope* keluaran dari *operational amplifier* LT 1807CMS8

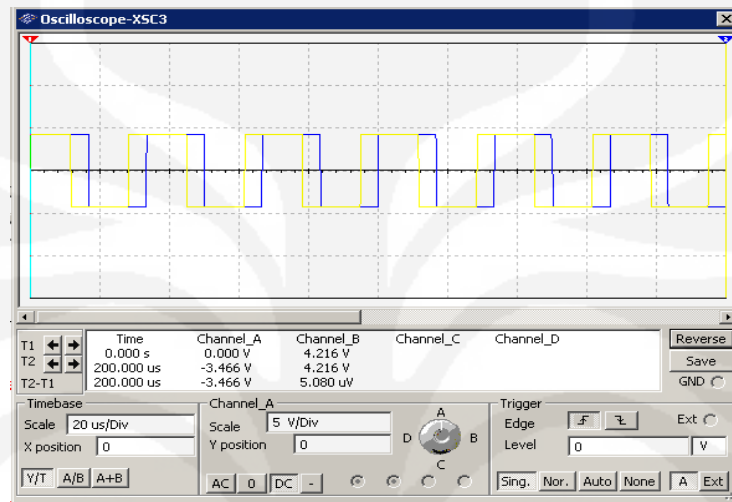


Gambar 3.2b Grafik *oscilloscope* keluaran dari *operational amplifier* LT 1886CS8

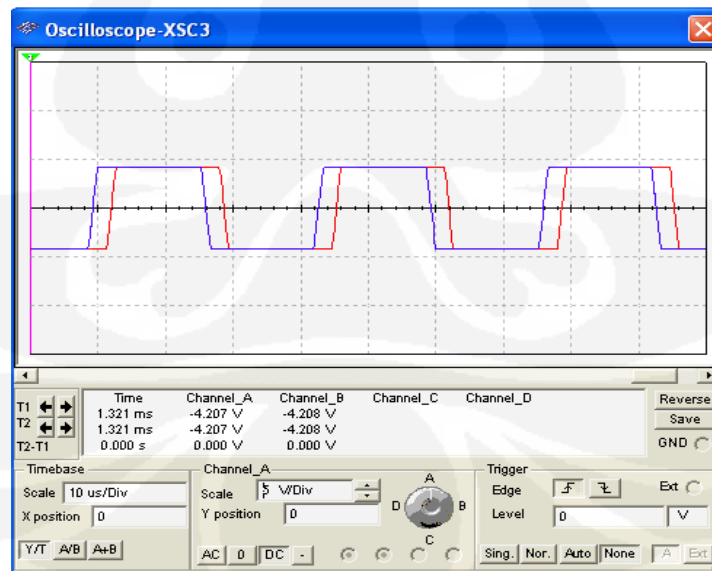
. Hasil dari simulasi dari kedua rangkaian diatas juga tidak terlalu berbeda. Grafik sinyal yang berwarna merah merupakan sinyal masukan dari *operational amplifier* atas yang dihubungkan dengan masukan sensor (pada gambar 3.4). Tepat ketika sinyal merah bernilai 0 volt, maka sinyal biru akan memotong sumbu X pada 0 volt juga. Sesuai dengan karakteristik dari *operational amplifier*, pada saat masukan pada kaki positif mempunyai nilai tegangan diatas nol volt, sinyal

keluaran dari *operational amplifier* yang berwarna biru akan bernilai 5 volt sesuai dengan VCC positif. Sebaliknya ketika nilai masukan pada kaki positif nilainya dibawah nol volt, sinyal keluaran yang berwarna biru akan bernilai -5 volt.

Dapat dilihat pada gambar 3.3 bahwa perbedaan fasa antara tegangan masukan sensor dan tegangan keluaran sensor dapat diperhitungkan dengan menggunakan rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* ini.



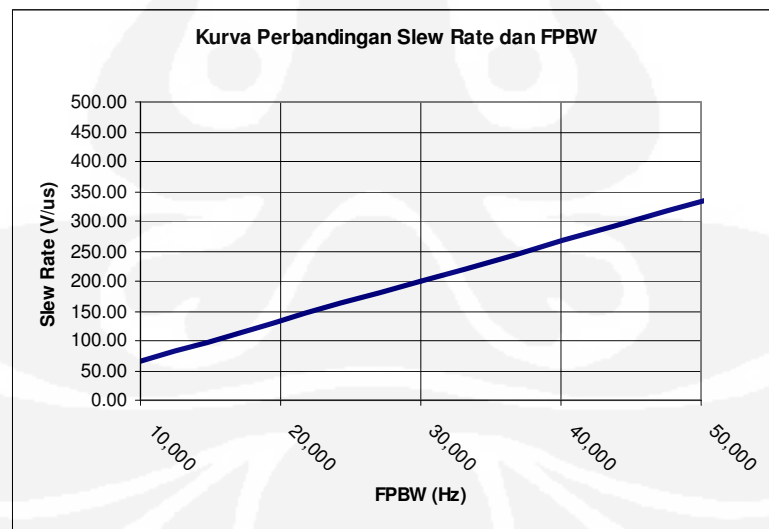
Gambar 3.3a Grafik sinyal keluaran dan masukan sensor dengan detektor fasa LT 1886CS8



Gambar 3.3 b Grafik sinyal keluaran dan masukan sensor dengan detektor fasa LT 1807CMS8

Sinyal yang berwarna merah merupakan sinyal keluaran *operational amplifier* keluaran sensor sedangkan yang berwarna biru merupakan sinyal keluaran *operational amplifier* masukan sensor. Perbedaan fasa antara sinyal yang berwarna kuning dan biru adalah beda fasa antara tegangan masukan sensor dan tegangan keluaran sensor pada keadaan yang sebenarnya. Besar kecilnya beda fasa antara tegangan masukan dan kelauran sensor ini ditentukan oleh besar kecilnya impedansi pada tanah yang diukur.

Sesuai dengan tujuan dari perancangan yaitu mendapatkan nilai beda fasa antara input dan output sensor dalam rentang 0° sampai 90° , bekerja pada frekuensi 30 kHz dan memiliki ketelitian sampai $0,05^\circ$ maka rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* ini bisa digunakan. *Operational amplifier* yang digunakan harus mempunyai nilai *slew rate* minimal sebesar 200 V/us, sehingga pada frekuensi 30 kHz mempunyai ketelitian dibawah $0,05^\circ$. Hal ini berdasarkan kurva 3.4 dari data perhitungan perbandingan antara *slew rate* dengan FPBW (*Full Power Bandwidth*) pada ketelitian $0,0446^\circ$ pada lembar lampiran. Pada kurva 3.4 terlihat bahwa untuk frekuensi kerja (FPBW) sebesar 30 kHz diperlukan *operational amplifier* yang mempunyai *slew rate* minimal sebesar 200 V/us.



Gambar 3. 4 Kurva perbandingan *slew rate* dan FPBW [3]

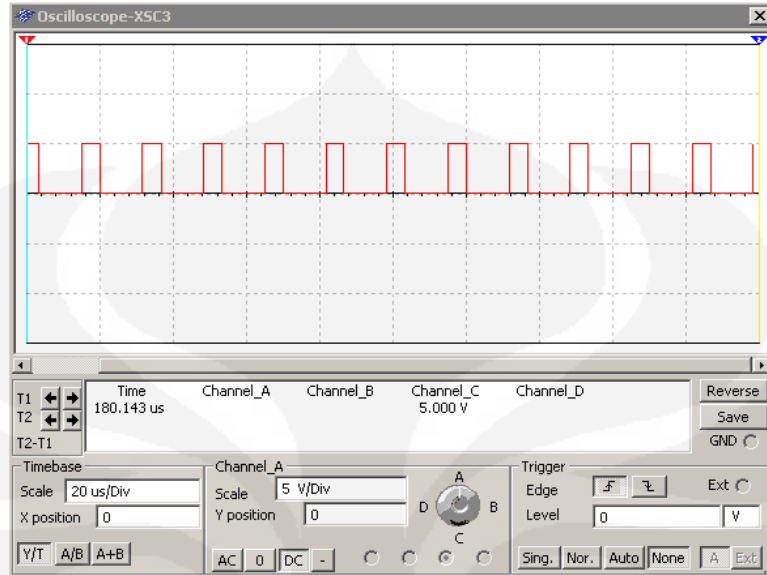
Selanjutnya untuk mengukur nilai beda fasa antara kedua sinyal ditambahkan komponen untuk mencuplik besarnya beda fasa antara keluaran dan

masuk sensor. Komponen yang dapat digunakan untuk mencuplik beda fasa sesuai dengan output dari *operational amplifier* pada gambar 3.6 adalah rangkaian XOR (*Exclusive OR*). Dalam simulasi yang telah dilaksanakan, penulis menambahkan CMOS 74HC86 dan bisa juga digunakan 74LS86 sebagai gerbang XOR pada detektor fasa ini. Secara logika, XOR mempunyai karakteristik sebagai berikut.

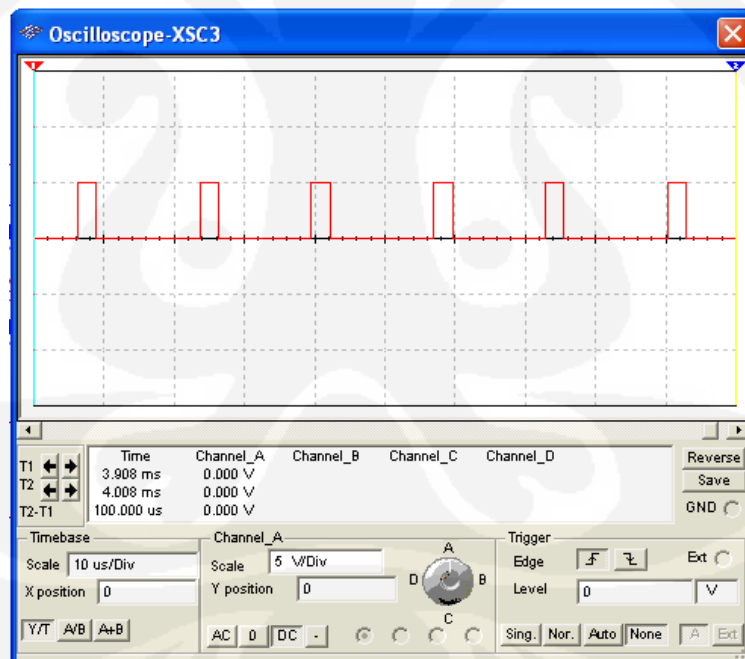
Tabel 3.1 Karakteristik logika XOR

Input	output	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Sesuai dengan tabel 3.1 diatas, ketika nilai masukan sama dengan nilai keluaran maka hasil dari XOR nya adalah 0. Sedangkan apabila nilai input berbeda dengan nilai output maka hasil dari XOR nya adalah 1. Oleh karena itu dengan ditambahkan gerbang XOR pada rangkaian fasa detektor pada gambar 3.4 maka selisih antara fasa tegangan output dengan tegangan input bisa dicuplik. Hasil dari pencuplikan selisih fasa tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5 dan gambar 3.6.



Gambar 3.5a Hasil sinyal pencuplikan gerbang XOR pada rangkaian dengan LT 1886CS8



Gambar 3.5.b Hasil sinyal pencuplikan gerbang XOR pada rangkaian dengan LT1807CMS8

Sinyal dari kedua gambar diatas merupakan hasil keluaran dari masing – masing rangkaian, Sinyal yang berwarna merah merupakan selisih fasa antara sinyal yang berwarna biru dan kuning pada gambar *oscilloscope* 3.3.

Lebar pulsa sinyal yang berwarna merah mencerminkan besarnya beda fasa keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik. Secara sederhana, apabila lebar pulsa ini dibandingkan dengan lebar pulsa saat maksimum (beda fasa 90°) dikalikan dengan 90° akan didapatkan nilai beda fasa antara keluaran dan masukan sensor konduktivitas yang digunakan.

Sehingga kita dapat menuliskan sebuah persamaan sederhana untuk menentukan beda fasa antara sinyal tegangan masukan dan keluaran sensor sebagai berikut,

$$\frac{\text{lebar pulsa detektor fasa}}{\text{lebar pulsa } 90^\circ} \times 90^\circ = \text{beda fasa antara output dan input sensor} \quad (3.7)$$

BAB 4

ANALISA PEMILIHAN KOMPONEN UNTUK PERANCANGAN RANGKAIAN DETEKTOR FASA

Dalam penyusunan rangkaian pembaca keluaran dari sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik, diperlukan beberapa komponen elektronika. Komponen utama yang digunakan, sesuai dengan simulasi pada bab sebelumnya, terdiri dari *operational amplifier*. Pada bab 4 ini akan dijabarkan mengenai beberapa analisa untuk memilih jenis *operational amplifier* yang akan digunakan dalam menyusun rangkaian pembaca keluaran sensor, sehingga didapatkan rangkaian yang optimal.

Jenis *operational amplifier* yang dianalisa terdiri dari 6 komponen yang diambil secara acak, yakni OPA129, CLC440, LTC1051, LT1807 dan LT1886. Analisa terhadap keenam jenis *operational amplifier* ini meliputi analisa ketersediaan komponen di Indonesia, analisa *data sheet* komponen, analisa menggunakan *software* Multisim 10.0.1 dan analisa data hasil keluaran. Analisa komponen ini sebenarnya telah dilakukan oleh saudara Taufik Alif, namun disini ditampilkan kembali untuk memperjelas fungsi-fungsi dari Op-amp yang perlu diperhatikan dalam perancangan sensor.

4.1 Analisa Ketersediaan Komponen di Indonesia

Dari keenam jenis *operational amplifier* yang dianalisa, OPA129, CLC440, LTC1051, LT1807 dan LT1886 yang diproduksi oleh *Linear Technology* yang tidak tersedia di Indonesia. Hal ini diketahui setelah dilakukan pengecekan di beberapa *website* dan survei di beberapa toko yang menjual komponen-komponen elektronika di Indonesia.

4.2 Analisa Data Sheet Komponen Operational Amplifier [3]

Berdasarkan pada simulasi rangkaian yang telah dibahas pada bab 3 sebelumnya, *operational amplifier* digunakan sebagai komponen pembanding tegangan dengan nilai 0 volt. Oleh karena itu, rangkaian dengan menggunakan *operational amplifier* sebagai pembanding dengan 0 volt disebut sebagai *zero*

crossing detector. Penggunaan *operational amplifier* sebagai komponen pembandingan (komparator) harus memperhatikan tiga hal, yaitu

a. Kecepatan Operasi

Keluaran dari sebuah komparator harus mampu berubah dengan cepat antara kedua level saturasi dan dapat merespon dengan cepat untuk setiap perubahan kondisi masukannya. Hal ini mengindikasikan bahwa *bandwidth* dari *operational amplifier* yang digunakan sebagai komparator harus cukup lebar. *Bandwidth* yang lebar membuat kecepatan operasi yang lebih cepat.

b. Akurasi

Akurasi dari sebuah komparator bergantung pada nilai *voltage penguatan*, *common mode rejection ratio (CMRR)*, *input offset* dan *thermal drifts*. *Voltage penguatan* yang tinggi mengakibatkan beda tegangan (tegangan *hysteresis*) yang kecil yang akan menyebabkan tegangan keluaran komparator dapat berubah dengan cepat diantara level saturasinya. Di sisi lain, CMRR yang tinggi akan membantu untuk menghilangkan tegangan masukan *common mode*, seperti *noise*, di terminal input. Untuk meminimalisasikan masalah *offset*, nilai arus *input offset* dan tegangan *input offset* harus sekecil mungkin. Demikian juga dengan perubahan *offset* tersebut karena variasi temperatur, seharusnya sangat kecil.

c. Kesesuaian Keluaran

Nilai keluaran hasil komparasi yang dilakukan oleh *operational amplifier* harus sesuai dengan komparasi yang dilakukan, baik itu ketepatan komparasinya maupun nilai keluaran yang dihasilkan.

Berdasarkan ketiga hal diatas, maka ada beberapa parameter dalam *data sheet* yang perlu dianalisa agar didapatkan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik yang optimal. Parameter-parameter tersebut dianalisa untuk memenuhi kebutuhan rangkaian yang mampu mendeteksi sinyal masukan sebesar 30 KHz, dan mampu menghasilkan sinyal keluaran dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Parameter yang perlu dianalisa untuk mendapatkan jenis *operational amplifier* terbaik adalah nilai CMRR, *Gain Bandwidth Product*, *Slew Rate*, tegangan dan arus *offset*, dan besarnya penguatan tegangan.

Tabel 4.1 Perbandingan *datasheet operational amplifier* uji

No	Op-Amp	Parameter Pembeding					
		CMRR	GBP	Slew Rate	Masukan Offset		Tegangan Penguatan
					Tegangan	Arus	
1	CLC 440	80 dB	230 MHz	700 V/ μ s	± 1 mV	± 0.5 μ A	140 dB
2	LTC1051/1053	112 dB	2.5 MHz	4 V/ μ s	± 0.5 μ V	± 0.5 pA	160 dB
3	OPA129	90 dB	200 MHz	2.5 V/ μ s	± 0.5 mV	± 30 fA	120 dB
4	LT1807CS8	100 dB	325 MHz	125 V/ μ s	± 200 μ V	± 0.03 μ A	53 dB
5	LT1886CMS8	98 dB	700 MHz	200 V/ μ s	± 1 mV	± 150 nA	40 dB

Tabel 4.1 menunjukkan beberapa nilai parameter yang dimiliki oleh masing-masing komponen *operational amplifier* yang diuji pada kondisi ideal yang dikeluarkan oleh pabriknya. Parameter-parameter yang terdapat pada *datasheet* yang dibandingkan meliputi nilai CMRR (*Common Mode Rejection Ratio*), *Penguatan Bandwidth Product*, *Input Offset* (tegangan dan arus) dan *Voltage Penguatan*. Pemilihan parameter pembeding ini didasarkan pada karakteristik yang diinginkan oleh alat.

4.2.1 *Operational Amplifier CLC440*

Keunggulan *operational amplifier* ini dari *operational amplifier* yang diuji adalah ada pada besarnya *slew rate*. Pada *datasheet* IC CLC446, disebutkan bahwa IC ini mempunyai *slew rate* sebesar 700 V/us(0-70°). Besar kecilnya nilai *slew rate* berhubungan erat dengan respon tegangan keluaran *operational amplifier* setiap detik. Karena digunakan untuk membandingkan tegangan sinus dengan tegangan referensi nol volt. Pada saat tegangan masukan mencapai nilai nol volt, maka tegangan keluaran *operational amplifier* akan berubah dari nol volt menjadi sama dengan tegangan suplai positifnya. Kecepatan transisi dari nol volt menjadi sama dengan nilai tegangan suplai positif ditentukan oleh besar kecilnya *slew rate* nya. Semakin cepat tegangan keluaran *operational amplifier* berubah dari nol volt menjadi sama dengan tegangan suplai positifnya, maka semakin akurat pembacaan beda fasa antara tegangan keluaran dibandingkan tegangan masukan.

Untuk frekuensi sebesar 30 kHz maka kita dapat menghitung nilai *slew rate* minimum yang diijinkan sehingga nilai keluaran dari rangkaian masih tepat.

Menurut rumus FPBW

$$FPBW = \frac{\text{Slew Rate}}{2\pi V_p}$$

$$30000 = \frac{\text{Slew Rate}}{2\pi \cdot 3,3}$$

$$\text{Slew Rate} = 6,22 \text{ V}/\mu\text{s}$$

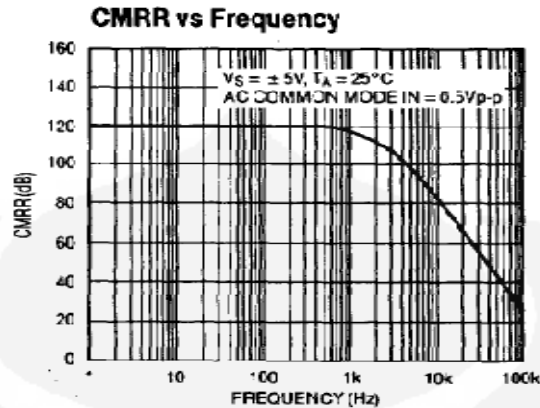
Untuk frekuensi 30 kHz, *Slew rate* yang dihasilkan sebesar 6,22 V/ μ s ini adalah kondisi jika Op-amp tersebut dalam kondisi ideal, artinya faktor-faktor lain diabaikan. Nilai *slew rate* suatu operational amplifier biasanya lebih kecil nilainya dibandingkan apa yang tertulis di *data sheet*-nya. Sehingga dalam pemilihan *operational amplifier* untuk rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, perlu dipilih *operational amplifier* yang mempunyai nilai *slew rate* yang lebih tinggi dari nilai yang dihasilkan dalam perhitungan yaitu 6.22 V/ μ s.

4.2.2 **Operational Amplifier OPA190**

Melihat pada tabel 4.1, IC OPA190 mempunyai arus offset dan tegangan offset input yang terendah dibandingkan dengan Op-amp uji yang lain. kedua parameter *offset* masukan ini sangat berpengaruh terhadap akurasi pembacaan. Besar kecilnya tegangan input offset sangat mempengaruhi keseimbangan antara dua masukan kaki op-amp. Sedangkan arus offset input digunakan sebagai indikator derajat ketidakseimbangan diantara dua arus bias.

4.2.3 **Operational Amplifier LTC1051**

Berdasarkan tabel 4.1 diatas, keunggulan IC LTC1051 terletak pada *gain voltage* (penguatan tegangan) yang paling tinggi yaitu sebesar 160 dB. Nilai *gain voltage* biasanya sebanding dengan nilai CMRR. Dengan nilai *gain voltage* yang tinggi maka dapat mengurangi terjadinya tegangan *hysteresis* yang mungkin terjadi pada sinyal keluaran sensor.



Gambar 4. 1 Kurva CMRR vs Frekuensi pada IC LTC1051

Pada gambar kurva CMRR vs frekuensi pada LTC1051, terlihat bahwa untuk frekuensi kerja sebesar 30 kHz LTC1051, nilai CMRR adalah sebesar 58 dB. Nilai CMRR pada LTC1051/1053 pada awalnya stabil pada nilai 120 dB sampai pada frekuensi kerja sebesar 1 kHz. Kemudian perlahan turun ketika frekuensi kerjanya naik, hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi dari *operational amplifier* dan kemampuannya menekan pengaruh *noise* akan turun ketika frekuensi kerja rangkaian tinggi. Perbandingan grafik CMRR terhadap frekuensinya dapat dilihat pada lembar lampiran.

Namun untuk rangkaian detektor fasa pada perancangan ini, LT1051/1053 kurang cocok digunakan, mengingat pada parameter pembanding sebelumnya tingkat kehandalan LT1051/1053 masih dibawah *operational amplifier* uji lainnya.

4.2.4 *Operational Amplifier* LT1807

Berdasarkan data dari tabel IC LT1807 memiliki kelebihan tersendiri, yaitu besaran parameter-parameter yang dibutuhkan seperti *slewrate*, *bandwidth* serta *CMRR* memiliki nilai yang besar yaitu $CMRR=100\text{dB}$, $GBP=325\text{MHz}$, $Slew\ rate= 125\text{V}/\mu\text{s}$. Dari semua *operational amplifier* yang telah dibandingkan parameternya LT1807 merupakan salah satu yang paling memenuhi parameter-parameter yang dibandingkan walaupun nilainya tidak menjadi yang terbesar.

4.2.5 Operational Amplifier LT1886

Kelebihan operational amplifier LT1886 terdapat pada tingginya penguatan *bandwidth product* yaitu sebesar 700MHz. Penguatan *bandwidth product* digunakan pada respon frekuensi *open loop*. Sesuai dengan penjelasan diawal, *bandwidth* merupakan aspek yang penting untuk membuat *operational amplifier* frekuensi tinggi dapat bekerja dengan praktis dan untuk meningkatkan ketepatan penguatan sinyal. Idealnya *operational amplifier* mempunyai lebar *bandwidth* yang tidak terhingga sehingga penguatan sinyal akan tetap untuk frekuensi berapapun. Akan tetapi yang terjadi, *penguatan bandwidth product* tiap *operational amplifier* yang diproduksi mempunyai lebar yang berbeda-beda.

Data ini menunjukkan bahwa LT1886CMS8 dapat beroperasi dengan penguatan tegangan (*voltage penguatan*) yang tetap sampai pada frekuensi 700 MHz, sehingga dapat dikatakan bahwa ketepatan penguatan tegangan LT1886CMS8 mempunyai lebar frekuensi paling besar dibandingkan dengan *operational amplifier* uji yang lainnya. Oleh karena frekuensi kerja detektor fasa frekuensi rendah adalah sebesar 30 kHz, maka agar didapatkan data keluaran yang akurat harus menggunakan *operational amplifier* yang *penguatan bandwidth productnya* diatas 30 kHz.

Tabel 4.2 Pemilihan *operational amplifier* berdasarkan parameter *datasheet* pada frekuensi 30 kHz

No	Op-Amp	Parameter Pemanding					
		CMRR	GBP	Slew Rate	Masukan Offset		Tegangan Penguatan
					Tegangan	Arus	
1	CLC 440		▲	▲			▲
2	LTC1051/1053				▲	▲	
3	OPA129				▲	▲	
4	LT1807CS8	▲	▲	▲	▲	▲	▲
5	LT1886CMS8	▲	▲	▲			▲

Tabel pemilihan 4.2.dibuat untuk menentukan *operational amplifier* uji mana yang cocok untuk digunakan oleh detektor fasa frekuensi rendah. Apabila *operational amplifier* uji memenuhi kriteria parameter pemanding, maka kotak akan diisi tanda segitiga (▲). Sedangkan jika tidak memenuhi kotak akan tetap dicetak putih. Urutan prioritas parameter pemanding mulai dari yang terbesar ke terkecil sesuai dengan susunan pada tabel 4.2 dari kolom paling kiri ke kanan.

Berdasarkan tabel 4.2, hanya LT1807CS8 yang memenuhi semua kriteria untuk digunakan sebagai komponen utama detektor fasa. *Operational amplifier* kedua yang dapat digunakan adalah LT1886CS8. Perbedaan antara keduanya hanya terletak pada nilai masukan *offset* LT1886CS8 yang jauh lebih besar dibandingkan dengan LT1807CMS8. Akan tetapi karena masukan *offset* hanya menempati prioritas keempat dalam pemilihan komponen, maka kedua tipe *operational amplifier* yang diproduksi oleh *Linear Technology* ini layak dikedepankan sebagai komponen utama rangkaian.

Operational amplifier yang menempati peringkat ketiga adalah CLC440. Dari sisi *bandwidth* yang lebar dan *slew rate* yang tinggi sebenarnya tipe ini dapat dikedepankan untuk dipilih.

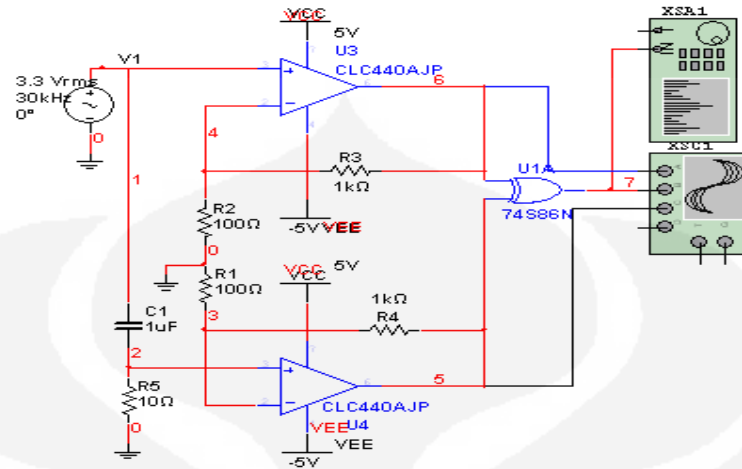
Untuk ketiga *operational amplifier* uji lainnya, berdasarkan parameter-parameter perbandingan dapat disimpulkan bahwa ketiganya tidak memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai komponen utama detektor fasa.

4.3.1 Analisa Menggunakan Software Multisim 10.0.1

Berikut ini akan di simulasikan tipe-tipe *operational amplifier* yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.2 diatas. Pada simulasi digunakan *software* Multisim 10.1 untuk mempermudah dalam menganalisa.

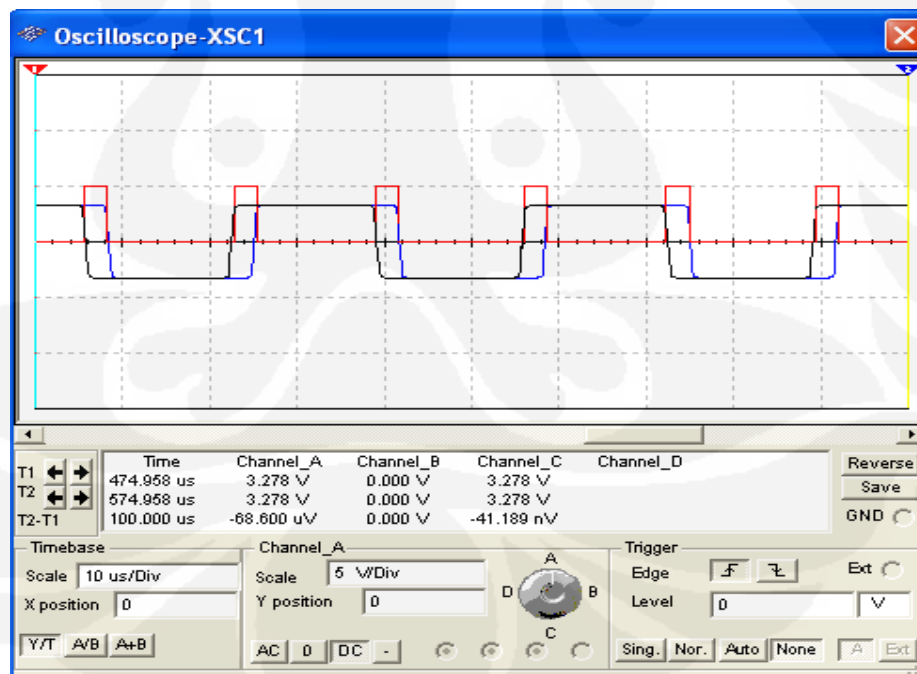
4.3.2 *Operational Amplifier* CLC440

Berikut ini adalah gambar rangkaian simulasi, hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dengan menggunakan *operational amplifier* IC CLC440.



Gambar 4.2 Rangkaian simulasi IC CLC440.dengan variasi $R=10\ 0\text{hm}$ dan $C=1\ \mu\text{F}$

Keluaran rangkaian simulasi gambar 4.7 dihubungkan dengan *oscilloscope 4 channel*, dengan kaki *output Xor* dihubungkan ke *channel 2* dan *spectrum analyzer* dengan jalur warna merah, *channel 1* dihubungkan ke output kaki 1 *operational amplifier* dengan jalur warna biru, sedangkan *channel 3* dihubungkan ke kaki *output operational amplifier* keluaran sensor dengan jalur hitam.



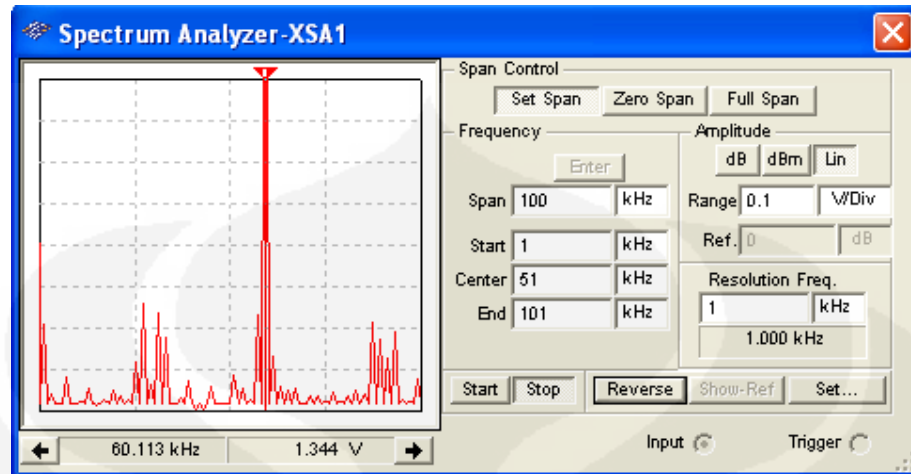
Gambar 4.3 Hasil sinyal *output* IC CLC440 dengan variasi $R=10\ 0\text{hm}$ dan $C=1\ \mu\text{F}$

Sinyal yang berwarna biru merupakan sinyal masukan rangkaian, sedangkan sinyal warna hitam merupakan keluaran yang merupakan output dari rangkaian pengganti sensor dengan variasi $R=10$ ohm dan $C=1\mu F$. Sinyal merah merupakan sinyal keluaran dari *exclusive OR*. Sinyal merah keluaran dari *oscilloscope* berupa sinyal berbentuk kotak, sinyal ini adalah hasil pencuplikan pergeseran fasa oleh gerbang *exclusive OR*.

Tabel 4.3 Data hasil keluaran IC CLC440 dengan variasi $R=10$ ohm dan $C=1\mu F$.

NO	sudut fasa	NO	sudut fasa	NO	sudut fasa	Rata-Rata (derajat)
1	15.20	11	16.30	21	24.68	20.333
2	30.29	12	24.12	22	12.12	Variasi
3	13.75	13	19.61	23	26.39	24.01470326
4	21.48	14	25.33	24	15.77	Variasi/Rata-Rata
5	15.97	15	17.65	25	23.32	1.18105E+00
6	24.69	16	15.75	26	15.08	Sudut Fasa Perhitungan
7	15.37	17	27.09	27	22.51	27.958
8	20.73	18	25.74	28	15.42	Sudut Fasa Percobaan
9	19.61	19	23.88	29	17.56	20.333
10	28.30	20	18.92	30	17.37	Persentase Kesalahan
						27.27200512
						STDEV
						4.900479901

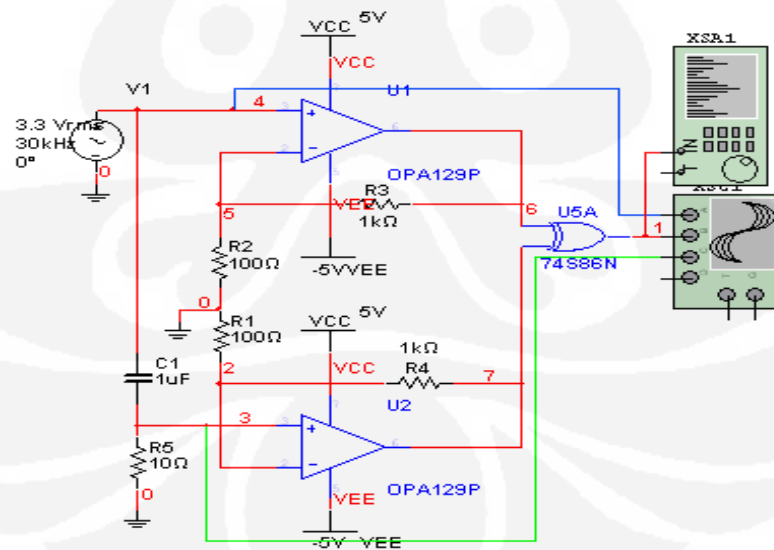
Tabel 4.3 merupakan data keluaran yang merepresentasikan beda fasa dari simulasi rangkaian pembaca keluaran sensor dengan menggunakan *operational amplifier* IC CLC440 (lebar sinyal pulsa berwarna merah). Data yang ditampilkan telah dirubah dari lebar fasa kedalam sudut fasa untuk mempermudah analisa. Nilai rata-rata dari data yang dihasilkan sebesar 20.333° . Nilai variasi dari ke-30 data yang diambil adalah 24.014° , sehingga perbandingan antara variasi dan rata-rata adalah sebesar $1.18105E+00$. Nilai persentase kesalahan yang dihasilkan cukup besar yaitu 27.27% dan *standar deviasi* yang dihasilkan sebesar $4.900 (>1)$ hal ini menunjukkan bahwa data yang dihasilkan sangat kasar (*rough*).



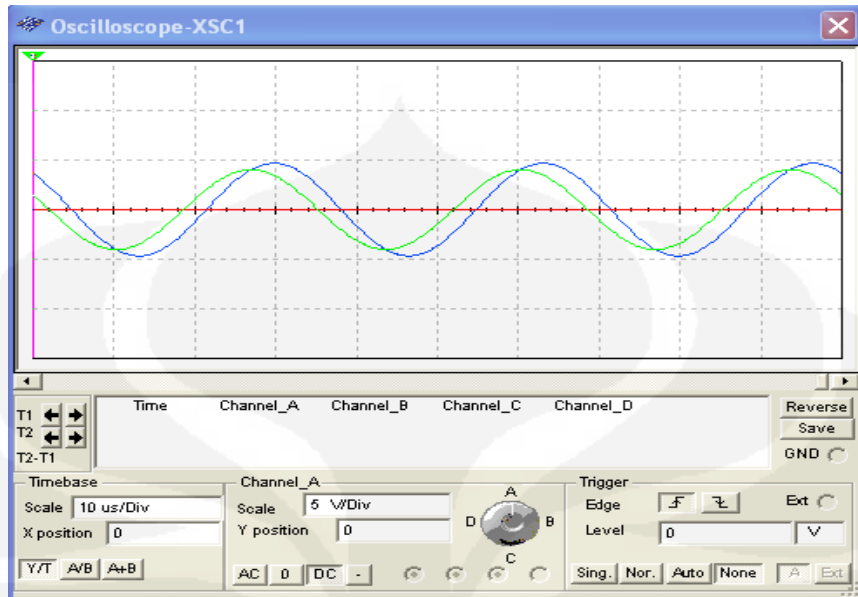
Gambar 4. 4 Hasil sinyal *output* IC CLC440 dengan *spectrum analyzer*

Pada gambar 4.4 sinyal keluaran dari *exclusive OR* (sinyal yang berwarna merah) diamati dengan menggunakan *spectrum analyzer*. *Magnitude* frekuensi sinyal spektrum frekuensi tertinggi berada pada frekuensi 60 kHz yakni sebesar 1,344 volt, sedangkan *magnitude* sinyal kedua tertinggi sebesar 0.262volt pada frekuensi 28 kHz. Sehingga didapatkan perbandingan kedua *magnitude* tersebut adalah 5.03.

4.3.3 Operational Amplifier OPA190



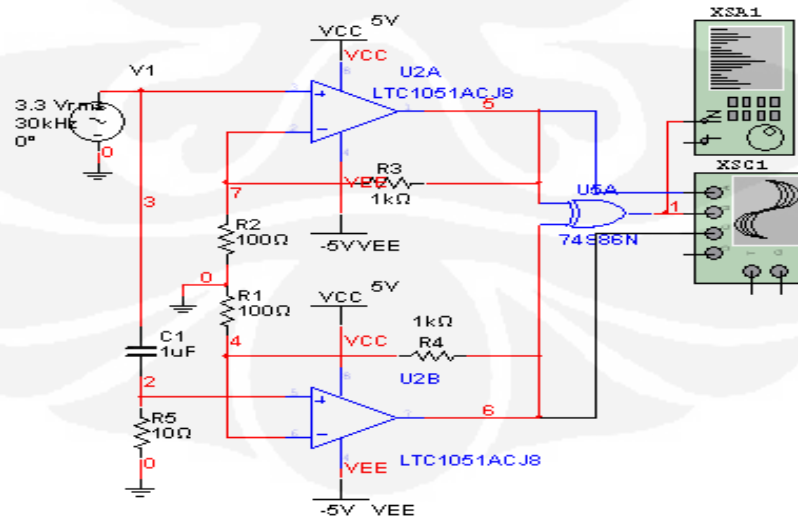
Gambar 4. 5 Rangkaian simulasi IC OPA129P dengan variasi $R=10\text{ Ohm}$ dan $C=1\mu\text{F}$



Gambar 4. 6 Hasil sinyal *output* IC OPA129P dengan variasi $R=10\ \Omega$ dan $C=1\ \mu\text{F}$

Pada IC OPA190 sinyal keluaran kotak tidak muncul, hal ini terjadi karena pada IC ini parameter yang memenuhi hanya arus offset dan tegangan offset input yang terendah. Sedangkan slew ratenya yang merupakan parameter yang paling penting hanya sebesar $2.5\text{V}/\mu\text{s}$. Hal ini yang menyebabkan sinyal keluaran dari gerbang Xor tidak terbaca.

4.3.4 *Operational Amplifier LTC1051*



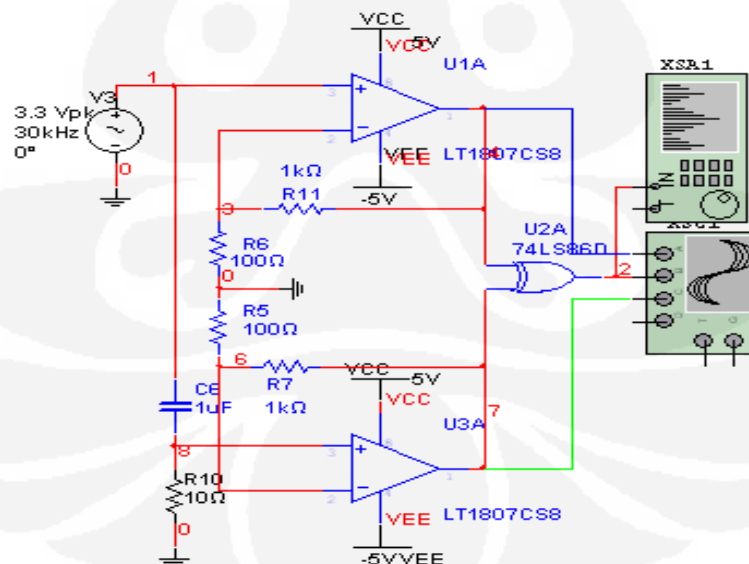
Gambar 4. 7 Rangkaian simulasi IC LTC1051 dengan variasi $R=10\ \Omega$ dan $C=1\ \mu\text{F}$

Tabel data hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dengan menggunakan *operational amplifier* LTC1051/LTC1053 dapat dilihat pada lembar lampiran 3.

Berdasarkan data keluaran hasil simulasi pada lampiran 3, data lebar pulsa relatif stabil dari data pertama sampai data ke-30. Nilai sudut fasa rata-rata adalah sebesar 22.530° , dengan nilai variasi data sebesar 37.067° . Perbandingan antara variasi data dan data rata-rata lebar pulsa adalah 1.645.

Berdasarkan grafik pengamatan menggunakan *spectrum analyzer*, frekuensi yang dominan adalah 60 kHz dan 90 kHz. Nilai *magnitude* untuk frekuensi 60 kHz sebesar 1,282 volt, sedangkan untuk frekuensi 90 kHz sebesar 0,470 volt. *Ripple* frekuensi yang lain juga mempunyai level tegangan yang cukup tinggi. Hal ini terjadi karena ada *delay* pada saat *operational amplifier* LTC 1051 membandingkan sinyal masukan dengan tegangan 0 volt. Besarnya *delay* dipengaruhi oleh nilai dari *slew rate* dari *operational amplifier* LTC 1051, nilainya sebesar $4 \text{ V}/\mu\text{s}$. Oleh karena *delay* inilah, maka periode kemunculan dari sinyal berwarna merah tidak selalu tepat saat sinyal masukan mencapai nilai 0 volt.

4.3.5 Operational Amplifier LT1807



Gambar 4. 8 Rangkaian simulasi IC LT1807 dengan variasi $R=10 \text{ Ohm}$ dan $C=1\mu\text{F}$

Gambar sinyal pada *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dengan menggunakan *operational amplifier* LT1807 dapat dilihat pada lembar lampiran 3 dan Tabel data hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran 4.

Sama halnya dengan simulasi pada *operational amplifier* sebelumnya, sinyal masukan yang dibandingkan nilai fasanya adalah sinyal kuning dan sinyal biru. Sinyal merah merupakan sinyal yang merepresentasikan besarnya beda fasa antara sinyal kuning dan merah.

Menurut tabel data hasil pengamatan pada lampiran 4, data hasil keluaran dari simulasi cenderung stabil dengan variasi data sangat kecil sebesar 2.78 dan nilai rata-rata data keluarannya sebesar 22.8° atau $2.6038E-06$. Data keluaran seperti ini didapatkan karena nilai *slew rate* dari LT1807CMS8 dan lebar *bandwidth*nya tinggi, sehingga nilai ketepatan dalam membandingkan dua sinyal masukan menjadi sangat presisi. Disamping itu, nilai rata-rata data keluaran dapat digunakan sebagai representasi dari lebar pulsa sebesar 30° dari rangkaian pembaca keluaran sensor menggunakan LT1807CMS8 karena perbandingan antara variasi data dan rata-rata data sangat kecil yakni sebesar 0.098. Sehingga didapatkan lebar pulsa 1° sebesar $9.2300E-08$.

Berdasarkan pengamatan sinyal dalam domain frekuensi menggunakan *spectrum analyzer*, nilai frekuensi yang dominan terdapat pada 60 kHz yang mempunyai *magnitude* sebesar 1,359 Volt. Frekuensi lain yang mempunyai *magnitude* kedua terbesar adalah pada 90 kHz dengan *magnitude* sebesar 0,305 Volt. Perbandingan kedua *magnitude* tersebut adalah sebesar 4,489 atau paling besar dibandingkan dengan keluaran dari keempat *operational amplifier* sebelumnya. Hasil perbandingan ini menandakan *operational amplifier* LT1807CMS8 lebih stabil dibandingkan keempat *operational amplifier* sebelumnya. Kestabilan keluaran dari *operational amplifier* LT1807CMS8 tidak lepas dari tingginya *slew rate* dan *bandwidth* yang lebar seperti yang telah dijelaskan pada analisa *data sheet* LT1807CMS8.

4.3.6 Operational Amplifier LT1886

Gambar rangkaian, Gambar rangkaian, hasil pengamatan menggunakan oscilloscope dan spectrum analyzer dapat dilihat pada lampiran 3.

Berdasarkan data pengamatan untuk LT1886CS8 pada lampiran 4, data keluarannya mempunyai nilai kestabilan yang tinggi seperti halnya pada simulasi dengan menggunakan LT1807CMS8. Nilai variasi datanya adalah sebesar 5.980×10^{-14} dengan nilai rata-rata keluarannya sebesar 2.75403×10^{-6} . Sama seperti halnya LT1807CMS8, data keluaran dengan variasi yang rendah didapatkan karena *slew rate* dan lebar *bandwidth* yang besar. Perbandingan antara variasi data dan rata-rata data keluaran sebesar 2.1712×10^{-8} , sehingga nilai rata-rata keluaran data dapat digunakan sebagai representasi beda fasa sebesar 30° , lebar beda fasa 1° adalah sebesar 9.23009×10^{-8} .

Berdasarkan pengamatan sinyal dalam domain frekuensi menggunakan *spectrum analyzer*, nilai frekuensi yang dominan terdapat pada 60 kHz yang mempunyai *magnitude* sebesar 1,359 Volt. Frekuensi lain yang mempunyai *magnitude* kedua terbesar adalah pada 90 kHz dengan *magnitude* sebesar 0,305 Volt. Perbandingan kedua level pada sinyal *spectrum analyzer* adalah sebesar 4,4125 atau sedikit lebih rendah dibandingkan *operational amplifier* LT1807CMS8.

4.4 Analisa Data Keluaran

4.3.2.1 Data Keluaran Beda Fasa

Tabel 4.4 Perbandingan data keluaran beda fasa *operational amplifier*

No	Op-Amp	Data Keluaran Beda Fasa dg variasi R=10 ohm ,C= 1uF				
		Lebar Rata-Rata	Variasi Data	Variasi/Rata-Rata	Standar Deviasi	Lebar 1°
1	CLC 440	1.88E-06	2.06E-13	1.09E-07	4.54E-07	7.84E-08
2	LTC1051/1053	2.09E-06	3.18E-13	1.52E-07	5.64E-07	9.26E-08
3	OPA 129	-	-	-	-	-
4	LT1807CMS8	2.60E-06	2.37E-14	9.09E-09	1.54E-07	9.23E-08
5	LT1886CS8	2.75E-06	5.98E-14	2.17E-08	1.51E-07	9.23E-08

Tabel 4.4 merupakan tabel perbandingan data keluaran simulasi rangkaian pembaca keluaran sensor dengan rangkaian pengganti sensor $R=10\text{ Ohm}$, $C=1\mu\text{F}$. Perbandingan kelima *operational amplifier* didasarkan pada lima parameter data keluaran adalah sebagai berikut,

a. Lebar Rata-Rata

Lebar rata-rata sinyal merah bervariasi untuk setiap *operational amplifier* yang diuji. LT1807CMS8, LT1886CS8 dan LTC1051/1053 mempunyai lebar rata-rata sinyal yang hampir sama sebesar $2,7 \times 10^{-6}$. Sedangkan CLC440 mempunyai lebar rata-rata sinyal sebesar $1,88 \times 10^{-6}$. Lebar pulsa sinyal merah menunjukkan kecepatan dan ketepatan operasi dari *operational amplifier* yang digunakan, dalam hal ini bergantung pada *slew rate* dan lebar *bandwidth*nya seperti yang telah dijelaskan pada bab II. Semakin cepat *operational amplifier* dalam merespon keadaan ketika sinyal masukan bernilai 0 volt, maka semakin tepat pembacaan beda fasa antara kedua sinyal masukan.

b. Variasi Data

Variasi data keluaran dari kelima *operational amplifier* berbeda-beda. Namun, seperti halnya lebar rata-rata diatas LT1807CMS8, LT1886CS8, mempunyai variasi data yang hampir sama pada kisaran $2-5 \times 10^{-14}$. Sedangkan LT1051/1053 dan CLC440 mempunyai variasi data pada kisaran $2,06-3,18 \times 10^{-13}$. Variasi data keluaran simulasi terkecil diperoleh ketika rangkaian menggunakan *operational amplifier* LT1807CMS8 yaitu sebesar $2,37 \times 10^{-14}$, diikuti oleh LT1886CS8 dengan variasi sebesar $5,98 \times 10^{-14}$. Besarnya variasi data tersebut menunjukkan kestabilan data keluaran yang paling besar dimiliki oleh LT1807CMS8, diikuti oleh LT1886CMS8.

c. Variasi Data/Data Rata-Rata

Parameter ketiga yang digunakan sebagai pembanding keenam *operational amplifier* yang diuji adalah variasi data/data rata-rata. Nilai perbandingan ini digunakan untuk mengukur apakah nilai data rata-rata dapat digunakan sebagai representasi dari data keluaran simulasi atau tidak, hal ini tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan. Semakin kecil perbandingannya

maka data rata-rata semakin *valid* untuk digunakan sebagai representasi data. Berdasarkan tabel 4.4 diatas, nilai perbandingan paling kecil didapatkan untuk *operational amplifier* LT1807CMS8 yakni sebesar 9.09×10^{-9} , kemudian LT1886CMS8. Hal ini menandakan bahwa LT1807CMS8 adalah *operational amplifier* dengan keluaran data paling stabil dibandingkan kelima *operational amplifier* yang diuji lainnya. Namun, karena keenam data tersebut memiliki nilai perbandingan variasi dan data rata-rata yang kecil, maka data rata-rata dari keenam *operational amplifier* dapat digunakan sebagai pengganti data keluaran simulasi.

d. Standar Deviasi

Parameter keempat yang digunakan sebagai pembanding *operational amplifier* yang diuji adalah standar deviasi. Standar deviasi digunakan untuk melihat lebarnya sebaran data pada data yang terdistribusi normal. Semakin kecil nilai standar deviasinya, maka data tersebut semakin stabil. Dalam hal ini data keluaran *operational amplifier* LT1886CS8 mempunyai standar deviasi terkecil yakni sebesar 1.51×10^{-7} , diikuti oleh LT1807CMS8 sebesar 1.54×10^{-7} .

e. Lebar Pulsa 1°

Lebar pulsa sebesar 1° didapat dengan membagi lebar pulsa rata-rata hasil keluaran simulasi dengan sudut hasil percobaan. seperti halnya lebar pulsa 30° , besarnya lebar pulsa ini tergantung dari kecepatan dan ketepatan *operational amplifier* dalam membandingkan sinyal masukan dengan 0 volt. Dalam hal ini LT1807CMS8, LT1886CS8, CLC440 dan LTC1051/1053 mempunyai lebar pulsa 1° yang sama yakni sebesar 9×10^{-8} .

Dari lima parameter yang digunakan untuk membandingkan enam jenis *operational amplifier*, didapat bahwa LT1807CMS8 merupakan *operational amplifier* yang mempunyai nilai kestabilan data keluaran yang paling baik dibandingkan *operational amplifier* yang lainnya. Hal ini dibuktikan dengan paling rendahnya nilai variasi dan standar deviasi data keluaran hasil simulasi.

4.4.1.1 Data Keluaran *Spectrum Analyzer*

Tabel 4.5 Data keluaran *spectrum analyzer*

No	<i>Op-Amp</i>	Sinyal Maksimum		Sinyal Kedua Maksimum		perbandingan kedua sinyal
		Frekuensi (kHz)	Magnitudo (V)	Frekuensi (kHz)	Magnitudo (V)	
1	CLC440	60	1.344	28	0.236	5.694915
2	LT1051ACJ8	60	1.282	90	0.4703	2.725919
3	OPA129	-	-	-	-	-
4	LT1807CMS8	30	2.703	90	0.925	2.922162
5	LT1886CS8	60	1.359	90	0.30597	3.77814

Data yang dibandingkan adalah nilai frekuensi dan *magnitude* yang dimiliki oleh sinyal maksimum dan frekuensi serta *magnitude* sinyal kedua maksimum. Perbandingan dari kedua *magnitude* digunakan untuk menganalisa kestabilan frekuensi sinyal keluaran dari masing-masing *operational amplifier* yang diuji.

a. Sinyal Maksimum

Sinyal maksimum dari *spectrum analyzer* pada simulasi rangkaian dengan menggunakan LT1886CS8, CCL440 dan LT1051 berada pada frekuensi yang sama di 60 kHz. Diantara ketiga *operational amplifier* tersebut yang mempunyai *magnitude* terbesar pada frekuensi 60 kHz adalah LT1886CS8 dengan *magnitude* sebesar 1,359. Diikuti oleh CLC440 dengan 1,344 dan LT1051 sebesar 1,282 Sinyal maksimum pada *spectrum analyzer* berada pada frekuensi 60 kHz karena pulsa sinyal kotak hasil keluaran simulasi akan bernilai 5 volt ketika kedua sinyal masukan memotong tegangan nol volt. Oleh karena sinyal masukan mempunyai frekuensi 30 kHz dan sinyal masukan memotong tegangan nol volt di dua titik, maka besarnya frekuensi sinyal kotak sebesar 2 kali frekuensi sinyal masukan.

b. Sinyal Kedua Maksimum

Sinyal kedua maksimum dari *spectrum analyzer* untuk *operational amplifier* LT1886CS8, LT1807CMS8 dan LT1051 berada pada frekuensi 90 kHz. *Magnitude* terkecil untuk sinyal kedua maksimum dari ketiga *operational amplifier* tersebut dipunyai oleh LT1886CS8 sebesar 0.30597, diikuti oleh LT1051 sebesar 0.4703 dan LT1807CS8 sebesar 0.925.

c. Perbandingan Kedua Sinyal

Parameter ketiga sebagai pembanding keenam *operational amplifier* menurut tabel 4.5 adalah perbandingan antara sinyal maksimum dan sinyal kedua maksimum. Nilai perbandingan antara kedua sinyal ini menunjukkan besarnya kestabilan frekuensi data keluaran hasil rangkaian simulasi. Semakin besar nilai perbandingan antara kedua sinyal menunjukkan semakin stabilnya nilai frekuensi data keluaran maksimum. Berdasarkan tabel 4.5 diatas, perbandingan kedua sinyal terbesar dimiliki oleh CLC 440 sebesar 5.6949 kemudian diikuti oleh LT1886CMS8 sebesar 3.77814. Hal ini menunjukkan bahwa dari analisa *spectrum analyzer* didapatkan bahwa *operational amplifier* CLC 440 paling stabil dibandingkan *operational amplifier* uji yang lain.

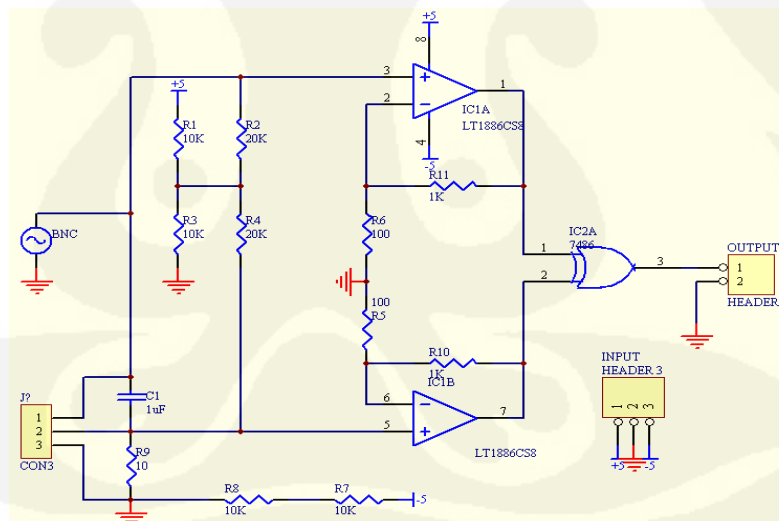
BAB 5
IMPLEMENTASI
RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH DAN
PERBANDINGAN HASIL DATA

5.1.1 Implementasi Penyederhanaan Papan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Penyederhanaan papan dari rangkaian detektor fasa frekuensi rendah ini dilakukan dengan melalui beberapa tahap, yakni desain dengan menggunakan Protel 99SE , kemudian mendesain pada *pcb (printed circuit board)* dan pengujian alat di laboratorium elektronika.

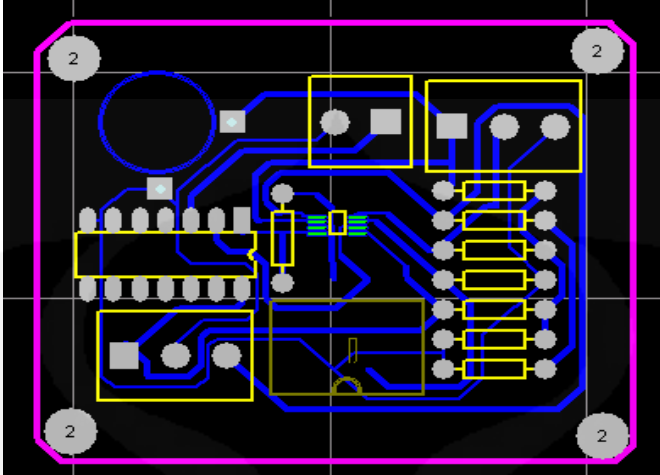
5.1.2 Desain Menggunakan Protel 99SE

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan rangkaian detektor fasa yang disimulasikan dengan menggunakan multisim 10.0.1 pada *pcb*, adalah dengan menggunakan *software* Protel 99SE .



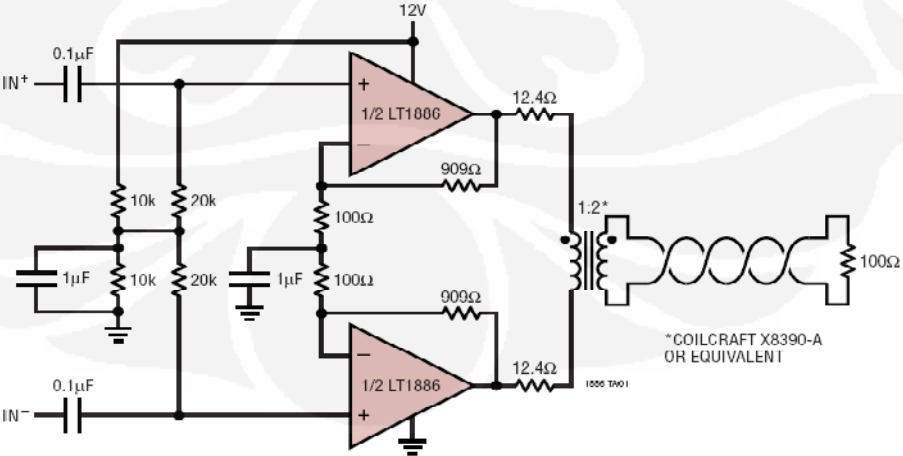
Gambar 5. 1 Desain skematik rangkaian menggunakan **Protel 99SE**

Selanjutnya dengan menggunakan Protel 99SE, penulis mendesain rangkaian detektor fasa yang nantinya akan dicetak di *pcb*. Pembuatan Skematik rangkaian terlihat seperti pada gambar 5.1 , sedangkan hasil rancangan yang akan dicetak di papan *pcb*nya dapat dilihat pada gambar 5.2 .



Gambar 5. 2 Desain PCB rangkaian menggunakan Protel 99SE

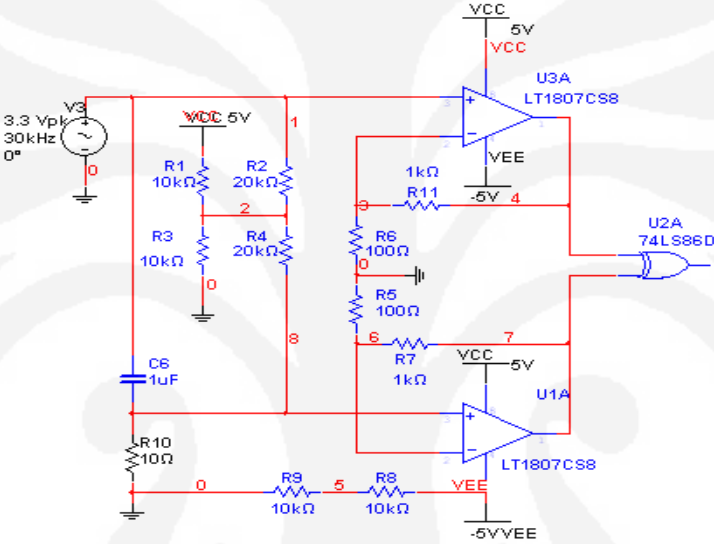
Gambar 5.2 merupakan hasil layout rangkaian yang penulis gunakan yang selanjutnya akan dicetak pada papan pcb. Pada gambar rangkaian 5.1 di atas, selain beberapa komponen penyusun detektor fasa yang telah dijelaskan pada bab 3 sebelumnya, penulis menambahkan desain rangkaian kompensasi. Rangkaian kompensasi ini bertujuan untuk mencegah nilai arus besar yang masuk kedalam *operational amplifier*. Pada *datasheet* LT1807CMS8 disebutkan bahwa jika perbedaan kedua kaki masukan lebih dari 0,7 volt maka arus yang masuk kedua kakinya harus dibatasi kurang dari 10 mA dengan menambahkan resistansi eksternal. Salah satu kombinasi resistansi eksternal yang dapat digunakan adalah seperti yang ditunjukkan pada *datasheet*, yakni pada rangkaian *single 12 V supply ADSL Modem Line Driver*.



Gambar 5.3 Rangkaian single 12 V supply ADSL Modem Line Driver

Menurut penelitian yang telah dilakukan saudara Taufik Alif nilai penguatan *operational amplifier* adalah tidak hingga dengan perbedaan nilai masukan kedua kakinya sebesar 3,3 Volt. Oleh karena itu untuk mencegah arus berlebih yang masuk ke dalam kaki op-amp maka pada kedua kaki masukan positif dan negatif ditambahkan resistor. Resistor digunakan untuk menjamin kestabilan keluaran, nilai resistansi resistornya dipilih nilai yang besar.

Untuk lebih jelasnya, desain rangkaian detektor fasa yang dilengkapi dengan rangkaian kompensasi dapat dilihat pada skema multisim berikut ini,



Gambar 5.4 Desain rangkaian detektor fasa dengan rangkaian kompensasinya.[3]

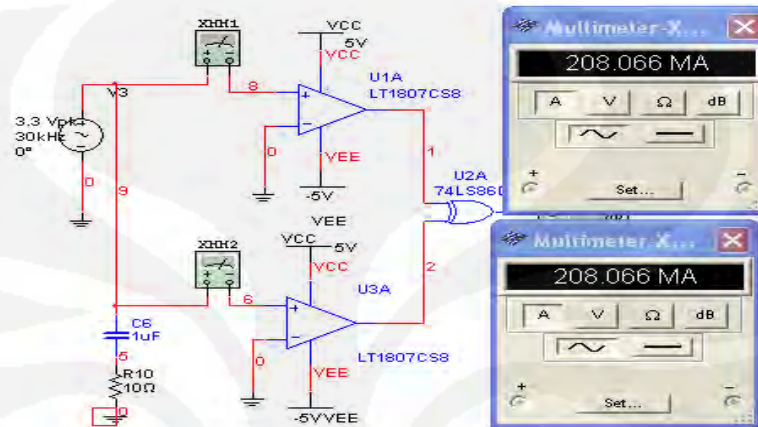
Penambahan beberapa komponen sebagai kompensasi arus yang bisa masuk kedalam *operational amplifier* akan menurunkan nilai arus yang masuk di kedua kaki *operational amplifier*. Arus yang besar akan menimbulkan disipasi rugi-rugi daya yang besar,

$$P = i^2 \cdot R \tag{4.1}$$

- Keterangan :
- P = rugi disipasi daya (watt)
 - i = arus yang mengalir (ampere)
 - R = besarnya resistansi (ohm)

Dalam hal ini besarnya daya (P) akan menghasilkan panas yang berlebih didalam rangkaian *operational amplifier*, padahal kinerja komponen elektronika,

khususnya IC sangat rentan terhadap panas. *Operational amplifier* LT1886CS8 sendiri sesuai dengan *datasheet*nya memiliki daerah operasi kerja dari -45° sampai 85° . Oleh sebab itu, agar *operational amplifier* tersebut tetap dapat bekerja dengan baik, perlu dijaga nilai arus yang masuk ke dalamnya.

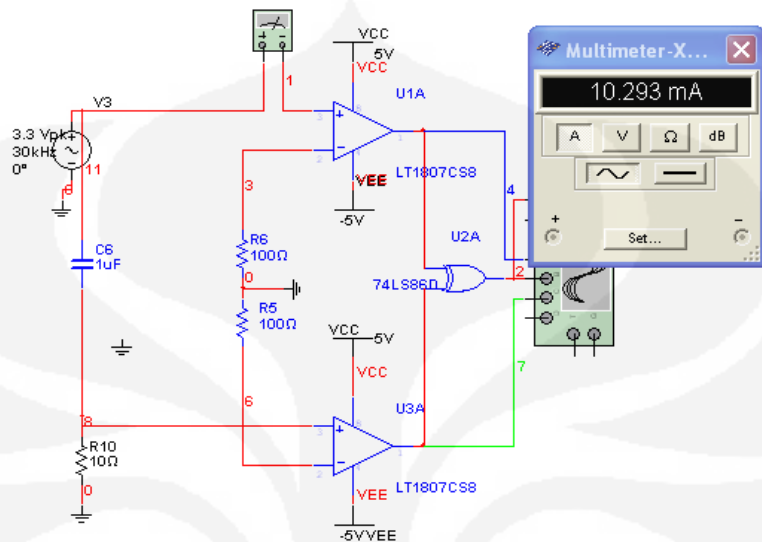


Gambar 5.5 Nilai arus pada masukan kaki positif *operational amplifier*

Gambar 5.5 diatas adalah salah satu hasil simulasi rangkaian detektor fasa tanpa menggunakan rangkaian kompensasi. Dalam satu sampel yang diambil, nilai arus yang masuk ke dalam kaki positifnya adalah sebesar 208mA. Nilai arus pada kaki masukan *operational amplifier* tersebut berubah-ubah setiap saat, meskipun demikian nilai arus yang ditunjukkan oleh multimeter selalu sangat tinggi.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan rangkaian kompensasi seperti pada gambar 5.4 sebelumnya. Pada gambar 5.6 di halaman selanjutnya dapat dilihat bahwa nilai arus pada kaki positif dan negatif pada rangkaian dengan menggunakan kompensasi berdasarkan salah satu sampel yang diambil dari simulasi adalah sebesar 7.821mA. Seperti halnya tanpa rangkaian kompensasi, nilai arus pada kedua kaki masukan *operational amplifier* selalu berubah-ubah. Akan tetapi mempunyai nilai yang sangat kecil, hanya beberapa mili ampere saja. Dengan demikian disipasi daya yang terdapat didalam IC juga sangat kecil, dan panas yang ditimbulkan juga kecil. Hal ini akan menjaga *operational amplifier* LT1807CS8 untuk dapat bekerja dengan baik pada daerah kerjanya.

Rangkaian kompensasi arus yang disederhanakan menjadi seperti gambar 5.6 berikut ini.

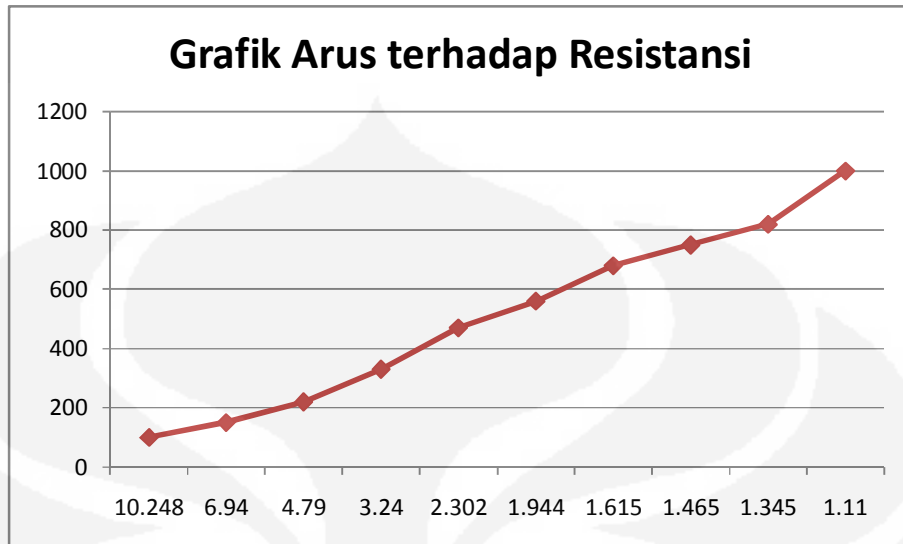


Gambar 5.6 Rangkaian kompensasi yang disederhanakan dan nilai arusnya.

Pada gambar 5. 6 resistor yang ada pada kaki *non inverting operational amplifier* dihilangkan, dan hal ini ternyata tidak merubah nilai arusnya. Data lebar fasa hasil simulasi yang dihasilkan juga tidak mengalami perubahan. Namun nilai arusnya akan berubah menjadi sedikit lebih besar menjadi 10.293mA, tetapi dapat di kurangi nilai arusnya dengan mengganti nilai resistansinya menjadi lebih besar. Jika nilai resistansinya dirubah menjadi 150 ohm maka nilai arusnya berubah menjadi 6.879 mA.

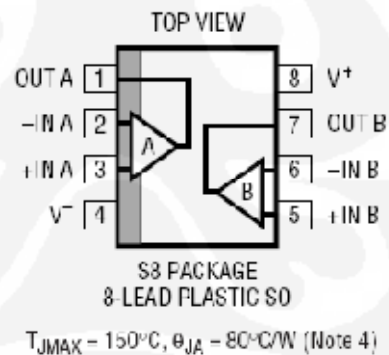
Tabel 5.1 Hasil pengukuran arus pada masukan kaki *operational amplifier*

R(Ohm)	Arus(mA)
100	10.248
150	6.94
220	4.79
330	3.24
470	2.302
560	1.944
680	1.615
750	1.465
820	1.345
1000	1.11



Gambar 5.7 Grafik besarnya arus terhadap resistansi

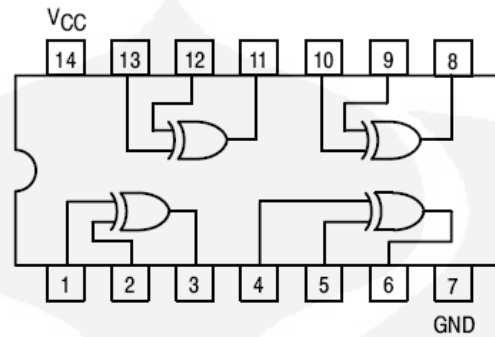
Rangkaian kompensasi yang dihasilkan tidak mempengaruhi nilai beda fasa yang dihasilkan oleh kapasitansi dan resistansi pada rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang digunakan, serta tetap menjaga agar arus yang masuk kedalam *operational amplifier* tetap kecil. Hal ini dapat dilihat pada lampiran data hasil simulasi untuk rangkaian dengan kompensasi arus.



Gambar 5.8 Tipe kaki dual **LT1807CMS8**

Berdasarkan desain yang telah dibuat di Protel Design, kaki dua dan tiga digunakan sebagai kaki masukan *input* sensor, sedangkan kaki lima dan enam digunakan sebagai kaki masukan *output* sensor. Kaki satu dan kaki tujuh akan dihubungkan dengan kaki masukan IC XOR 74HC86N. Kaki satu akan dihubungkan dengan kaki satu dan kaki tujuh dihubungkan dengan kaki dua

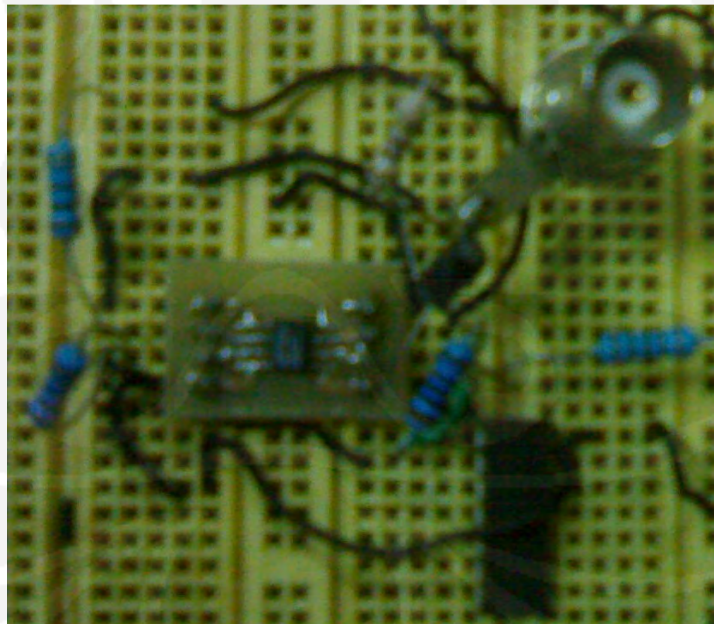
74HC86N. Sementara kaki delapan dan kaki empat dihubungkan dengan masukan *split power supply* VCC positif (+5 Volt) dan VCC negatif (-5 Volt).



Gambar 5.9 Tipe kaki IC XOR 74HC86N

Untuk IC XOR 74HC86N, kaki tiganya merupakan keluaran dari alat yang berupa sinyal pulsa yang mencerminkan beda fasa antara tegangan input sensor dan output sensor. Kaki 14 dihubungkan dengan VCC (+5 Volt) dan kaki 7 nya dihubungkan dengan *ground*.

5.1.3 Implementasi desain pada PCB dan *ProtoBoard*



Gambar 5.10 Rangkaian sensor pada *ProtoBoard*

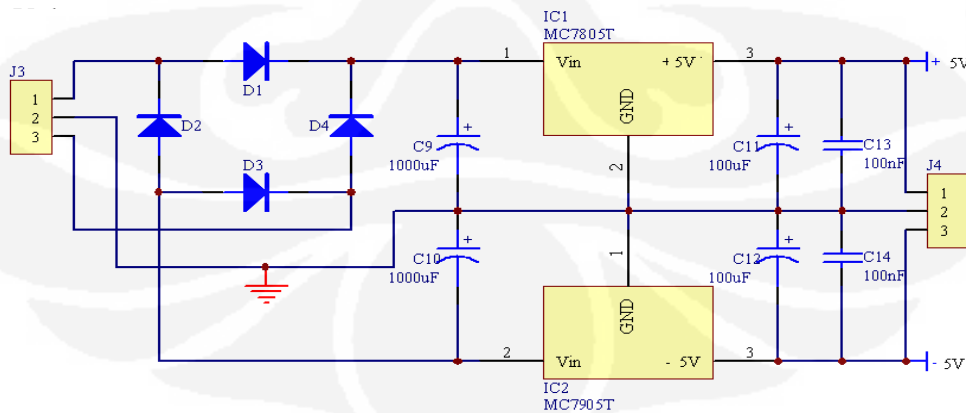


Gambar 5.11. Rangkaian sensor pada PCB

Gambar 5.10 merupakan rangkaian implementasi awal yang penulis buat untuk pengambilan data. Desain pada Protoboard digunakan untuk mencoba rangkaian sebelum didesain pada papan PCB, namun dalam kenyataannya rangkaian ini yang penulis gunakan dalam pengambilan data karena adanya kesalahan pada rangkaian yang telah dibuat di papan PCB dan terjadinya kerusakan pada beberapa komponen.

5.1.4 Rangkaian Suplai Tegangan

Rangkaian suplai tegangan yang digunakan merupakan rangkaian suplai simetris yang keluarannya adalah VCC+ sebesar 5 Volt dan VCC- sebesar -5



Gambar 5.12 Rangkaian suplai tegangan

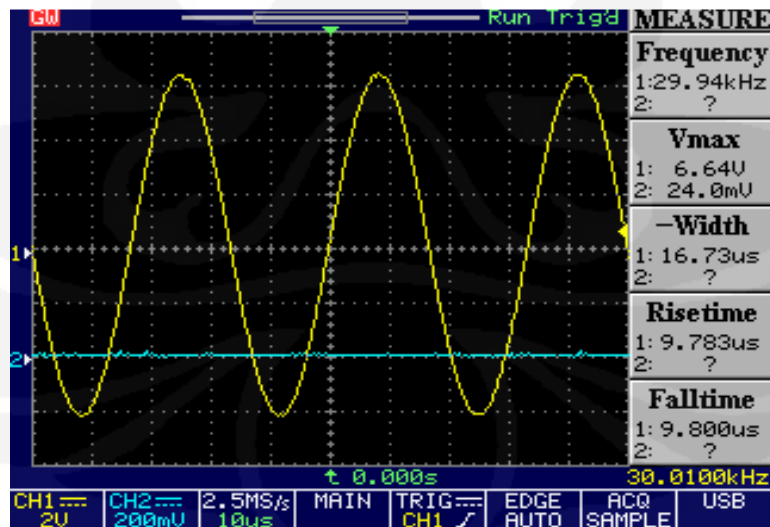
Seperti yang tampak pada gambar 4.12 diatas, rangkaian suplai tegangan yang digunakan terdiri dari rangkaian penyearah dan rangkaian regulator tegangan. Masukan tersebut adalah tegangan bolak-balik 220 Volt dan keluarannya berupa tegangan bolak-balik 5 Volt. Keluaran dari trafo yang berupa tegangan bolak-balik tersebut selanjutnya diubah menjadi tegangan searah dan nilainya diturunkan menjadi sebesar +5 Volt dan -5 Volt oleh rangkaian penyearah.

5.1.5 Pengujian Alat

Langkah terakhir yang dilakukan dalam implementasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah adalah pengujian alat di ruang kerja bapak Dr.Ir Agus santoso tamsir M.T yang sekarang sudah menjadi seperti lab.. Dalam pengujian alat yang telah dilakukan, penulis tidak menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik melainkan menggantinya dengan kombinasi resistor dan kapasitor sebagai pengganti nilai kapasitansi dan resistansi tanah yang dibaca oleh sensor tersebut.

5.1.5.1 Pengujian Sinyal dari RC Generator

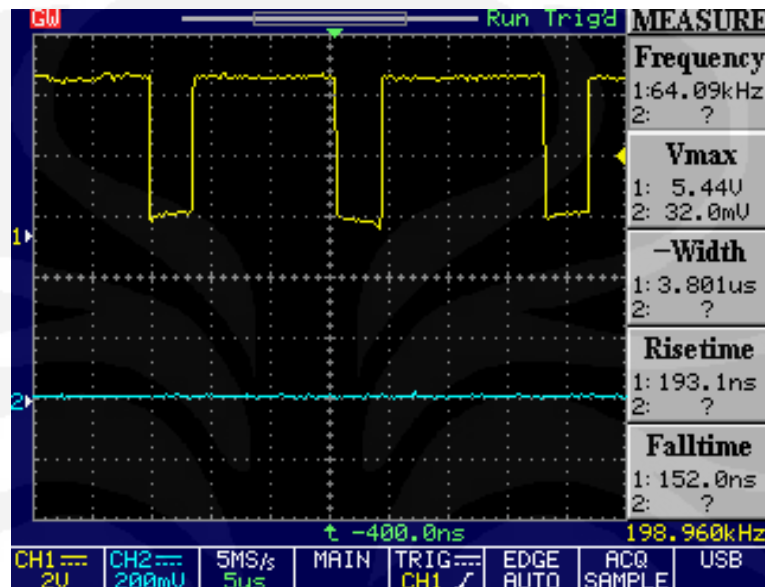
Sinyal masukan alat yang mempunyai frekuensi sebesar 30 kHz dan 6.64 Volt diambil dari RC Generator.



gambar 5. 13 Sinyal masukan detektor fasa dari RC Generator

5.1.5.2 Pengujian Sinyal Masukan dan Keluaran Sensor

Hasil pengamatan dengan menggunakan *oscilloscope* terhadap sinyal masukan dan keluaran sensor adalah sebagai berikut,



Gambar 5.14 Sinyal keluaran sensor detektor fasa.

Gambar 5.13 adalah hasil keluaran rangkaian detektor fasa untuk variasi $R=10$ ohm dan $C= 1\mu F$, dari lebar fasa yang diketahui maka bisa kita cari berapa derajat beda fasanya engan membagi lebar fasa dengan lebar fasa saat 90° kemudian dikalikan dengan 90°

$$\text{Beda fasa} = \frac{3.801 \times 10^{-6} \text{ s}}{8.3445 \times 10^{-8} \text{ s}} \times 90^\circ = 45.55^\circ$$

Seperti yang tampak pada gambar diatas, level tegangan sinyal masukan sensor detektor fasa adalah sebesar 6.64 Volt dan sinyal keluarannya sebesar 5.44Volt. Level tegangan output sensor turun dibandingkan dengan sinyal input dari *RC Generator* menunjukkan adanya daya yang hilang ketika arus masuk kedalam detektor fasa.

Daya yang hilang di rangkaian disebabkan karena ketidakselarasan (*unmatched*) antara impedansi konektor BNC di rangkaian detektor fasa dengan impedansi saluran transmisi yang berasal dari *RC generator*.

”Ketidakselarasan antara kedua impedansi tersebut menyebabkan terjadinya gelombang pantul di daerah bidang batas ujung saluran transmisi atau lokasi-lokasi di mana terdapat persambungan antara dua saluran yang berbeda. Keberadaan gelombang pantul biasanya membawa implikasi-implikasi yang tidak menguntungkan; yaitu misalnya, sebagian dari daya yang ditujukan untuk beban akan terpantul balik dan merambat kembali menuju sumber.”(Hayt, 2006).[5]

5.2 Pengujian Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Berdasarkan pembahasan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebelumnya, maka penulis menguji rangkaian hasil dari rangkaian tersebut.. Dalam hal ini tidak semua optimisasi diterapkan pada rangkaian detektor fasa. Oleh karena terkendala waktu, dan kesalahan awal dalam mendesain rangkaian, maka rangkaian yang sudah dibuat di Pcb tidak dapat digunakan untuk mengambil data, disini penulis mengambil data dengan mendesain ulang rangkaian dengan menggunakan *protoboard* dengan menggunakan kabel *jumper* sebagai penghubungnya.

Pengujian yang telah dilakukan meliputi desain rangkaian detektor fasa dengan menggunakan op-amp yang berbeda, dan menguji rangkaian dengan beberapa variabel resistansi dan kapasitansi.

5.2.1 Pengujian Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Pengujian rangkaian detektor fasa tidak dilakukan secara langsung menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas tanah, melainkan dengan menggunakan variasi nilai resistor dan kapasitor sebagai pengganti resistansi dan kapasitansi tanah. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi yang berbeda-beda untuk setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai konduktivitas listrik di dalam tanah. Dalam pengambilan data ini penulis menggunakan variasi nilai dari capasitor dan resistor, dengan nilai capasitor sebesar 0,01 μF , 0,1 μF , dan 1 μF . Sedangkan untuk nilai resitansi yang digunakan sebesar 10 Ω , 22 Ω , dan 100 Ω .

Pemilihan ini dilakukan agar nantinya hasil dari penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh saudara Taufik Alif kurniawan.

a. Pengujian Sinyal keluaran Detektor Fasa

Tabel 5.2 Hasil perbandingan pengujian rangkaian detektor fasa diatas 1K ohm

Data perbandingan simulasi dan pengujian resistor besar								
No	R	C (uF)	perhitungan	LT1886		LT1807		Margin Kesalahan (°)
			sudut fasa	lebar pulsa	sudut fasa	lebar pulsa	sudut fasa	
1	2k	4.5	14.85	2.40E-05	13.5	2.42E-05	13.6125	5.9625
2	2.7 k	3.35	63	9.50E-05	53.4375	1.20E-04	67.5	5.81
3	2.2 k	7.41	13.55	2.00E-05	11.25	2.10E-05	11.8125	4.5

Dari tiga data pengujian rangkaian detektor fasa hasil simulasi pada tabel 5.2, margin kesalahan yang terjadi mempunyai rata-rata sebesar 0.508. Margin kesalahan terbesar ada pada variasi R= 2 KΩ dan C = 4.5 uF.

b. Data Pengukuran Beda Fasa Dengan Menggunakan Variasi Resistor dan Kapasitor (10 Ohm dan 1 uF)

Tabel 5.3 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807 .(Lebar pulsa)

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	2.22E-06	11	2.26E-06	21	2.20E-06	2.286E-06
2	2.37E-06	12	2.26E-06	22	2.294E-06	Variasi
3	2.22E-06	13	2.39E-06	23	2.512E-06	6.42403E-15
4	2.23E-06	14	2.23E-06	24	2.387E-06	Variasi/Rata-Rata
5	2.30E-06	15	2.23E-06	25	2.290E-06	2.81061E-09
6	2.25E-06	16	2.21E-06	26	2.397E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	2.23E-06	17	2.33E-06	27	2.257E-06	27.88
8	2.36E-06	18	2.20E-06	28	2.203E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	2.20E-06	19	2.35E-06	29	2.231E-06	24.69
10	2.40E-06	20	2.21E-06	30	2.326E-06	Persentase Kesalahan
						11.43088852
						stdeviasi
						0.86590927
						vmr
						2.811E-09

Tabel 5.4 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807 (Sudut fasa)

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	24.03	11	24.41	21	23.79	24.693
2	25.64	12	24.44	22	24.78	Variasi
3	24.01	13	25.85	23	27.14	0.749798864
4	24.12	14	24.12	24	25.79	Variasi/Rata-Rata
5	24.83	15	24.08	25	24.74	0.030364751
6	24.34	16	23.89	26	25.90	Sudut Fasa Perhitungan
7	24.12	17	25.19	27	24.38	27.88
8	25.51	18	23.81	28	23.80	Sudut Fasa Percobaan
9	23.72	19	25.35	29	24.10	24.69
10	25.96	20	23.82	30	25.13	Persentase Kesalahan
						11.44189383
						stdeviasi
						0.86590927
						vmr
						3.036E-02

Pada tabel 5.3 dan tabel 5.4 merupakan hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan operational amplifier LT1807 dengan variasi beban $R= 10$ ohm dan $C= 1\mu F$. Pada tabel 5.5 pengolahan data masih berupa lebar fasa(s) sedangkan pada tabel 5.6 data sudah berupa besar sudut fasa. Bentuk data dirubah untuk mempermudah kita dalam menganalisa. Dari data yang telah diolah menjadi besara sudut fasa, kita bisa melihat bahwa rangkaian sensor mempunyai nilai rata-rata sebesar 24.693° dan mempunyai variasi data sebesar 0.749798. Bila kita bandingkan dengan perhitungan secara teori yang mempunyai sudut fasa sebesar 27.88° maka akan kita dapatkan besarnya persentase kesalahan sebesar 11.44% *error*, Standar deviasi sebesar 0.865 dan VMR sebesar 3.036E-2.

Berikut ini merupakan hasil pengujian rangkaian detektor fasa yang penulis lakukan untuk beberapa variasi resistansi dan kapasitansi.

Tabel 5.5 Hasil rangkuman pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807.

LT 1807 Percobaan						
No	R	C	PERHITUNGAN	PERCOBAAN	%	Standar Deviasi
			sudut fasa	sudut fasa	kesalahan	
1	10	1u	27.96	24.69	11.44	0.87
2	22	1 u	13.55	10.83	20.13	1.87
3	22	0.1 u	67.5	33.21	505	1.30
4	10	0.1 u	79.32	40.42	490	1.15
5	100	0.01 u	79.32	105.45	33.47	8.99

Dari tabel 5.5 dapat dilihat bahwa persentase kesalahan yang terjadi sangat besar yaitu mencapai 33.47%. Nilai persentase kesalahan ini merupakan hasil perbandingan antara besar sudut fasa perhitungan dengan sudut fasa hasil percobaan.

Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kesalahan dalam penelitian ini, dan diantaranya adalah besarnya nilai dari resistansi dan kapasitansi sebagai rangkaian pengganti sensor yang tidak sama dengan nilai yang terukur. Setelah dilakukan pengukuran dengan *LCR meter* ternyata nilai dari kapasitansi dan resistansinya memang berbeda. Untuk nilai resistansi misalnya, nilai yang terukur untuk R sebesar 10 Ω ternyata setelah diukur menjadi 10.03 Ω , R= 22 Ω ternyata 22.4 Ω . untuk besarnya nilai kapasitansi juga sama 100nF menjadi 105.0nF. Dan nilai C 10 nF menjadi 10.70 nF. Besarnya nilai frekuensi yang digunakan juga bukan 30KHz tetapi hanya mendekati 30 KHz.

Faktor lain yang sangat mempengaruhi adalah penggunaan papan Protoboard. Seperti yang kita tahu, papan protoboard terdiri dari lempeng tembaga yang tersusun saling berdekatan, hal inilah yang menyebabkan adanya kapasitansi yang timbul dipapan Protoboard. Besarnya nilai stray capacitance per pin pada protoboard sekitar 5pF.[10][15]

Menurut Lenk (1999), *stray capacitance* meskipun hanya 2 pF akan mengakibatkan timbulnya transiet tegangan yang tinggi. Menurut lenk, pengaruh akibat timbulnya *stray capacitance* ini dapat diatasi dengan layout papan yang tepat dan meminimalisasikan ruang diantara dua jalur tembaga dengan penambahan *conductor shield*.[9]

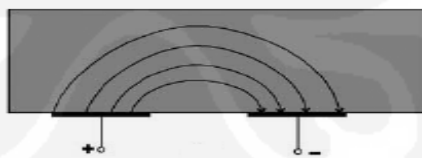
Menurut Simon (1984), besarnya kapasitansi elektrostatik diantara dua konduktor didefinisikan sebagai besarnya muatan di salah satu konduktor dibagi dengan besarnya beda potensial antara dua konduktor [11].

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \text{ F} \quad (5.2)$$

Keterangan :

- C = kapasitansi (Farad)
- ϵ = permitivitas vakum ($\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_o$) (F/m)
- ϵ_r = permitivitas relatif bahan dielektrik (F/m)
- ϵ_o = permitivitas udara = 8.854×10^{-12} (F/m)
- A = luas area penampang (m^2)
- d = jarak antara dua konduktor (m)

Disamping pengaruh tersebut, apabila terdiri dari dua konduktor atau lebih, *fluks* listrik dari satu konduktor akan menginduksi muatan di konduktor yang lainnya. Jumlah muatan yang terpisah antara dua konduktor ini akan menimbulkan nilai kapasitansi diantara keduanya. Kapasitansi yang timbul diantara dua pelat konduktor sejajar yang dipisahkan oleh dielektrik disebut sebagai *stray capacitance* [12].



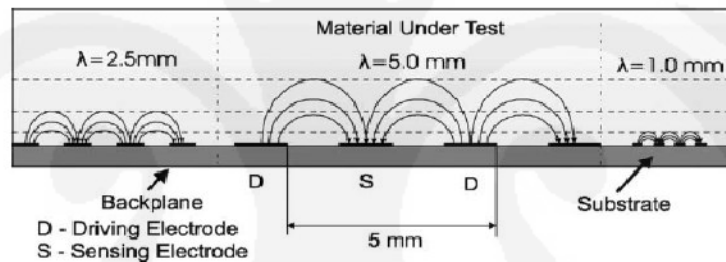
Gambar 5. 15 *Quasi-static electric field*

Sumber : Interdigital Sensors and Transducer,
Journal of The IEEE, VOL. 92, NO.5,
MAY 2004

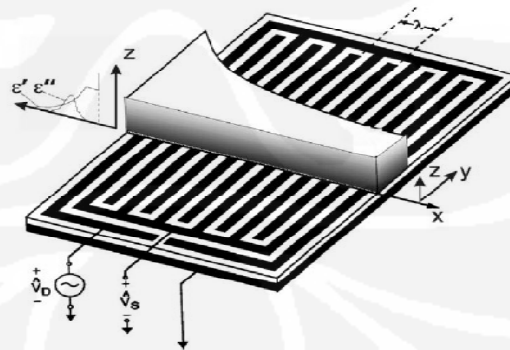
Adanya *stray capacitance* diantara dua konduktor ini akan menimbulkan kopling kapasitif, yakni transfer energi di dalam jalur konduktor (Simon, 1984)

[11]. Transfer energi ini akan menyebabkan berkurangnya daya yang diterima oleh rangkaian detektor fasa frekuensi rendah.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.15, adanya dua buah konduktor yang saling berdekatan akan menimbulkan medan listrik *quasi static*. Salah satu faktor yang mempengaruhi tinggi medan listrik *quasi static* adalah jarak diantara dua pelat konduktornya. Untuk menjelaskan ini, penulis mengambil hasil penelitian yang ditulis oleh Alexander V. Mamihev dalam *paper* berjudul *Interdigital Sensors and Transducer* yang diterbitkan oleh IEEE. Dalam salah satu bagian *paper* tersebut, Alexander V. Mamihev menjelaskan bahwa kedalaman penetrasi *fringing electric fields* diatas elektroda interdigital sebanding dengan periode spasi (λ) diantara *center lines of sensing* dan *driven fingers*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.21 [12].



Gambar 5.16 Kedalaman penetrasi garis medan listrik sebanding dengan jarak antara elektroda yang berdekatan sebanding dengan periode spasial λ



Gambar 5.17 *Interdigital dielectric sensor*

Penelitian kedalaman penetrasi *fringing electric fields* dalam *paper* tersebut yang hasilnya seperti pada gambar 5.16, merupakan pengukuran

kedalaman penetrasi untuk *interdigital dielectromagnetry sensor* yang ditunjukkan pada gambar 5.17 Dalam hal ini penulis mengambil hasil penelitian tersebut disebabkan karena pada *interdigital dielectromagnetry sensor* terdapat susunan elektroda saling berdekatan yang sama berdekatannya jalur tembaga pcb detektor fasa yang telah didesain.

Berdasarkan gambar 5.16, garis medan listrik yang paling tinggi didapatkan ketika λ sebesar 5 mm. Sedangkan garis medan listrik yang paling rendah didapatkan ketika λ sebesar 1 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingginya garis medan listrik (kedalaman penetrasi) sebanding dengan besarnya jarak antara dua elektroda yang saling berdekatan. Jika dianalogikan dengan jalur pada pcb, semakin besar antara dua jalur tembaga maka tinggi garis medan listrik yang keluar dari pcb akan semakin besar. Sehingga kemungkinan terjadinya gangguan terhadap garis medan listrik akan semakin besar, misalnya gerakan tangan atau benda-benda lain di sekitar pcb yang mempunyai konstanta dielektrik berbeda-beda. Akibatnya akan timbul *stray capacitance* baru, antara jalur tembaga dengan benda disekelilingnya. *Stray capacitance* ini selain akan semakin menurunkan daya yang diterima dalam rangkaian akibat kopling kapasitif, akan mengakibatkan timbulnya *noise* yang akan mendistorsinya sinyal tegangan pada rangkaian [2].

Selain keempat hal tersebut, rugi daya yang timbul di rangkaian juga disebabkan penggunaan kabel yang berfungsi sebagai penghubung antara komponen pada rangkaian. Akan tetapi rugi akibat penggunaan kabel ini tidak terlalu berarti dan tidak menurunkan kinerja dari detektor fasa jika kapasitansi yang diukur oleh sensor konduktivitas dan kelembaban elektrik besar, karena pengaruhnya hanya menurunkan level tegangan beberapa miliVolt saja. Sedangkan rugi daya karena pengaruh adanya kopling kapasitif selain dapat menurunkan level tegangan sinyal keluaran sensor, juga dapat mendistorsi bentuk sinyal tegangannya. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap pembacaan yang dilakukan oleh *operational amplifier*.

c. Data Pengukuran Beda Fasa Dengan Menggunakan *Operational Amplifier* LT1886 dan LT1807

Tabel 5.6 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 [3].

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	3.36844E-06	11	2.7592E-06	21	2.70236E-06	2.75432E-06
2	2.46534E-06	12	2.7285E-06	22	2.65539E-06	Variasi
3	2.77912E-06	13	2.77639E-06	23	2.81198E-06	5.98033E-14
4	2.75985E-06	14	2.60145E-06	24	2.62897E-06	Variasi/Rata-Rata
5	2.80258E-06	15	2.72875E-06	25	2.76139E-06	2.17126E-08
6	2.50722E-06	16	2.63284E-06	26	2.70398E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	2.71588E-06	17	2.74769E-06	27	2.63702E-06	27.958
8	2.65797E-06	18	2.62847E-06	28	2.69738E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	2.70775E-06	19	2.78993E-06	29	2.71617E-06	29.84063958
10	2.77903E-06	20	2.57348E-06	30	2.57069E-06	Persentase Kesalahan
						-6.733813504

Pada tabel 5.6 merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh saudara Taufik Alif kurniawan, data percobaan tersebut masih dalam bentuk lebar fasa belum dirubah menjadi sudut fasa . Data ini menggunakan variasi R=10 ohm dan C= 1uF. Data tersebut kemudian penulis rubah menjadi dalam satuan derajat, seperti terlihat pada tabel 5.7, untuk mempermudah dalam menganalisa datanya.

Tabel 5.7 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 [3].

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata
1	34.19	11	28.01	21	27.43	29.840
2	25.02	12	27.70	22	26.95	Variasi
3	28.21	13	28.18	23	28.54	2.3574
4	28.01	14	26.41	24	26.69	Variasi/Rata-Rata
5	28.45	15	27.70	25	28.03	0.0856
6	25.45	16	26.72	26	27.45	Sudut Fasa Perhitungan
7	27.57	17	27.89	27	26.77	27.958
8	26.98	18	26.68	28	27.38	Sudut Fasa Percobaan
9	27.49	19	28.32	29	27.57	29.84063
10	28.21	20	26.12	30	26.09	Persentase Kesalahan
						6.733813504
						STDEV
						1.535413588

Dengan melihat tabel 5.7 kita bisa melihat bahwa data yang dihasilkan memiliki rata-rata 29.840° , dengan variasi data sebesar 2.3574. Kemudian jika kita bandingkan dengan sudut fasa hasil perhitungan yang sebesar 27.958 maka akan kita dapatkan persentase kesalahan sebesar 6.733% dengan nilai VMR 0.085 dan Standar deviasi 1.5354.

Pada penelitian sebelumnya saudara Taufik juga mengambil data untuk variasi R dan C yang berbeda pula seperti yang ditunjukkan tabel 5.7 berikut.

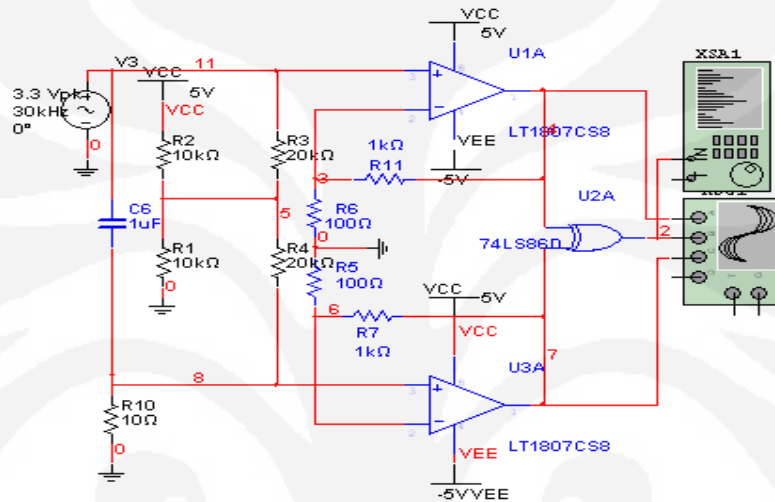
Tabel 5.8 Rangkuman hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1886 [3]

LT 1886 Percobaan Saudara Taufik						
No	R	C	sudut fasa		%	Standar Deviasi
			PERHITUNGAN	PERCOBAAN	kesalahan	
1	10	1u	27.96	29.84	-0.9	1.64
2	22	1 u	13.55	15.6	-15.02	1.63
3	22	0.1 u	67.5	67.72	-0.34	17.64
4	10	0.1 u	79.32	79.27	0.06	6.31
5	100	0.01 u	79.32	73.65	7.14	16.86

Berdasarkan tabel 5.8 diketahui persentase kesalahan berkisar 0,06 % - 15.02 %, nilai kapasitansi $1 \mu\text{F}$ memiliki nilai persentase kesalahan yang relatif yg cukup besar bila dibandingkan nilai persentase kesalahan untuk nilai kapasitansi $0.1 \mu\text{F}$ dan $0.01 \mu\text{F}$. Faktor penyebab terjadinya kesalahan sudah dijelaskan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan didalam penelitian sebelumnya. Jika tabel 5.7 dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa ($^\circ$) menggunakan *operational amplifier* LT1807CS8 secara praktek pada tabel 5.4, dapat diketahui nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1886CS8 jauh lebih kecil dibandingkan nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1887CS8. Perbandingan kedua data pengujian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah diatas akan di jelaskan lebih detail pada subbab pembahasan selanjutnya.

- d. Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah Secara Simulasi untuk *Operational Amplifier* LT1807CS8.

Selain menggunakan alat untuk mengambil data percobaan, penulis juga mengambil data simulasi menggunakan Software Multisim. Data ini akan digunakan sebagai data perbandingan. Rangkaian yang digunakan disimulasi sama dengan yang digunakan untuk praktek.



Gambar 5.18 Rangkaian simulasi LT1807

Tabel 5.9 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp LT1807 (sudut fasa) simulasi

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	34.86	11	29.14	21	28.77	28.22
2	25.73	12	27.86	22	25.98	Variasi
3	29.09	13	28.48	23	27.92	2.780980416
4	27.19	14	26.96	24	28.30	Variasi/Rata-Rata
5	27.66	15	29.63	25	30.10	0.098540773
6	26.48	16	27.96	26	28.06	Sudut Fasa Perhitungan
7	29.16	17	28.68	27	28.91	27.958
8	27.51	18	26.93	28	28.81	Sudut Fasa Percobaan
9	29.26	19	28.51	29	27.90	28.14
10	26.99	20	26.14	30	27.69	Persentase Kesalahan
						0.633231937
						STDEV
						1.667627181

Data ini menggunakan variasi $R=10$ ohm dan $C=1\mu F$. Dengan melihat tabel 5.9 kita bisa melihat bahwa data yang dihasilkan memiliki rata-rata 28.22° , dengan variasi data sebesar 2.7809. Kemudian jika kita bandingkan dengan sudut fasa hasil perhitungan yang sebesar 28.14 maka akan kita dapatkan persentase kesalahan sebesar 0.6733% dengan nilai VMR 0.098 dan Standar deviasi 1.6676.

Didalam pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1807 ini penulis tidak hanya menggunakan satu variasi beban, berikut adalah hasil pengujian rangkaian detektor fasa menggunakan beberapa variasi beban menggunakan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.

Tabel 5.10 Hasil pengujian rangkaian detektor fasa dengan Op-amp1807 simulasi.

LT 1807 simulasi						
No	R	C	PERHITUNGAN	PERCOBAAN	%	Standar Deviasi
			sudut fasa	sudut fasa	kesalahan	
1	10	1u	27.96	28.21	6.73	1.701
2	22	1 u	13.55	14.58	7.52	1.668
3	22	0.1 u	67.5	67.09	0.59	5.009
4	10	0.1 u	79.32	77.85	1.85	14.859
5	100	0.01 u	79.32	74.91	5.56	1.701

Berdasarkan tabel 5.10 dapat diketahui persentase kesalahan berkisar 0.59% - 7.52% , Jika tabel 5.10 dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 pada tabel 5.7 dan juga dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa ($^\circ$) menggunakan *operational amplifier* LT1807CS8 secara praktek pada tabel 5.7, dapat diketahui nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1807CS8 cenderung lebih kecil dibandingkan nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1807CS8 secara praktek dan juga lebih kecil terhadap nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1886CS8 secara simulasi.

5.2.2 Perbandingan Hasil Keluaran Rangkaian Detektor Fasa

Tabel 5.11 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1807CS8 simulasi

No	Beban di Tanah		Standar Deviasi	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor			Persentase Kesalahan (%)
	Resistansi Tanah	Kapasitansi Tanah		Range Bawah Praktek (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)	Range Atas Praktek (°)	
1	1 μ F	22 Ω	1.701	12.130	13.564	20.88	(7.522)
2	1 μ F	10 Ω	1.668	25.732	27.958	34.859	(0.633)
3	0.1 μ F	22 Ω	5.009	59.944	67.487	68.775	0.59
4	0.1 μ F	10 Ω	14.859	54.280	79.315	94.761	1.850
5	0.01 μ F	100 Ω	1.701	77.943	13.564	80.718	(7.566)

Tabel 5.12 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1807CS8 praktek

No	Beban di Tanah		Standar Deviasi	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor			Persentase Kesalahan (%)
	Resistansi Tanah	Kapasitansi Tanah		Range Bawah Praktek (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)	Range Atas Praktek (°)	
1	1 μ F	22 Ω	1.87	8.09	13.56	13.00	20.13
2	1 μ F	10 Ω	0.87	23.72	27.96	27.14	11.44
3	0.1 μ F	22 Ω	1.15	30.71	67.11	34.30	50.51
4	0.1 μ F	10 Ω	1.30	73.19	79.32	42.70	49.03
5	0.01 μ F	100 Ω	8.99	77.94	13.56	110.84	(33.47)

Tabel 5.13 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1886CS8 [3]

No	Beban di Tanah		Standar Deviasi	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor			Persentase Kesalahan (%)
	Resistansi Tanah	Kapasitansi Tanah		Range Bawah Simulasi (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)	Range Atas Simulasi (°)	
1	1 μ F	22 Ω	1.6311	11.9332	13.5643	15.1954	15.2242
2	1 μ F	10 Ω	1.6388	26.3199	27.9587	29.5975	5.1367
3	0.1 μ F	22 Ω	6.3028	61.1841	67.4870	73.7898	0.3488
4	0.1 μ F	10 Ω	17.6099	61.7206	79.3305	96.9405	0.1975
5	0.01 μ F	100 Ω	16.8529	62.4776	79.3305	96.1835	0.9062

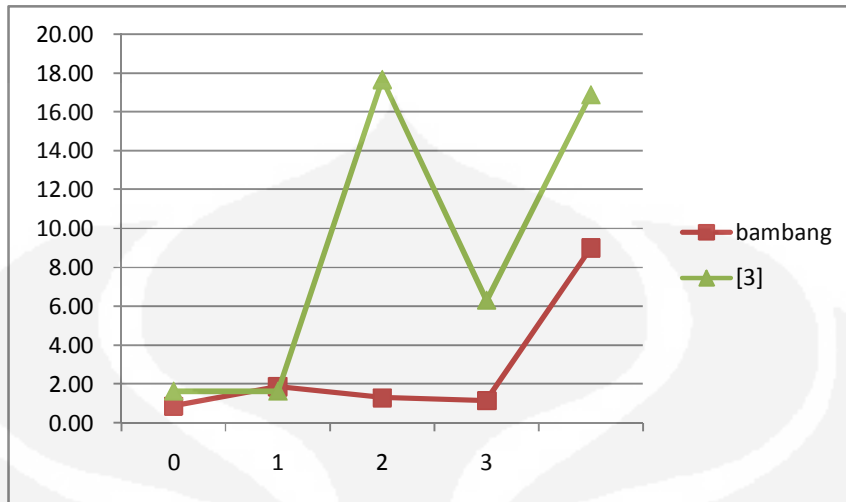
Berdasarkan tabel 5.11 dan tabel 5.13 dapat diketahui persentase kesalahan untuk nilai kapasitansi 1 μ F relatif lebih besar dibandingkan persentase kesalahan untuk nilai kapasitansi 0.1 μ F dan 0.01 μ F, dengan demikian dapat disimpulkan

bahwa rangkaian detektor fasa baik menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi dan *operational amplifier* LT1807CS8 secara simulasi kurang akurat untuk nilai kapasitansi 1 μF , Sedangkan untuk tabel 5.12 persentase kesalahan untuk variasi beban yang ada relatif besar, dikarenakan pada tabel 5.12 adalah tabel pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1807CS8 secara praktek, yang tentu saja akan memiliki persentase kesalahan lebih besar dibandingkan dengan pengujian secara simulasi. Adapun faktor penyebab kesalahan tersebut telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, yaitu karena pada simulasi semua dalam keadaan ideal dan tidak terpengaruh oleh faktor-faktor luar.

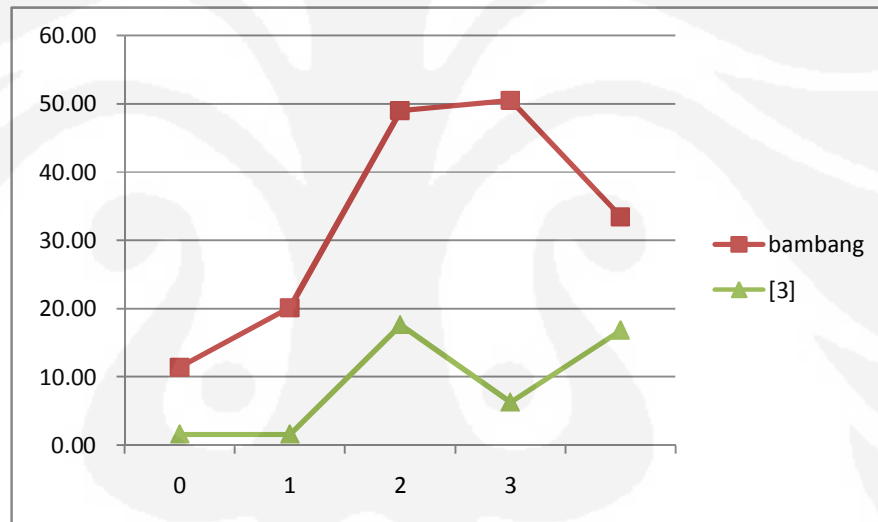
Tabel 5.14 Perbandingan data untuk *Operational amplifier* LT1886 [3] dan LT1807 (Penulis)

Perbandingan data Percobaan									
no	BEBAN		Standar Deviasi		Sudut Fasa Rata-rata			% Kesalahan	
	C(μF)	R(Ω)	LT1886[3]	LT1807	1886[3]	Teori	LT1807	LT1886 [3]	LT1807
1	1	10	1.64	0.87	28.46	27.88	24.69	5.14	11.44
2	1	22	1.63	1.87	15.23	13.56	10.83	12.27	20.13
3	0.1	10	17.64	1.30	79.17	79.3	40.42	0.18	49.03
4	0.1	22	6.31	1.15	67.28	67.11	33.21	0.31	50.51
5	0.01	100	16.86	8.99	78.64	79.01	105.32	0.85	33.47

Pada tabel 5.14 persentase kesalahan untuk pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* menggunakan LT1807CS8 secara praktek lebih besar dibandingkan pengujian menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8, namun nilai standar deviasi untuk hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi relatif jauh lebih besar dibandingkan nilai standar deviasi untuk hasil pengujian LT1807CS8 secara praktek, , namun juga perlu diperhatikan nilai standar deviasi untuk pengujian LT1886CS8 secara simulasi jauh lebih besar bila dibandingkan nilai standar deviasi untuk pengujian LT1807CS8 secara simulasi.



Gambar 5.19 Grafik perbandingan standar deviasi

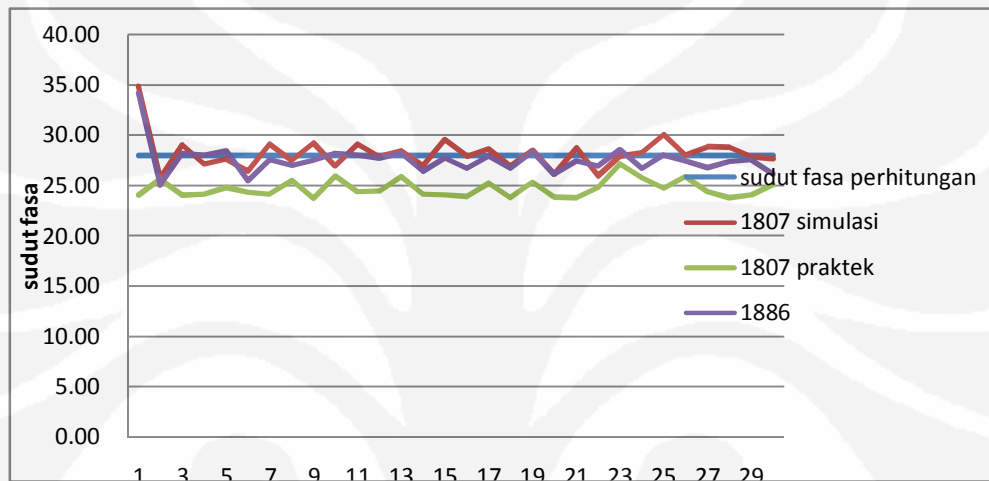


Gambar 5.20 Grafik perbandingan persentase kesalahan

Jika dibandingkan dengan dari hasil pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1807CS8 secara praktek terlihat bahwa variasi data tidak terlalu besar, dengan demikian menyebabkan standar deviasi menjadi kecil dan data pengukuran lebih presisi dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan detektor fasa dengan LT1886CS8. Hanya saja nilai persentase kesalahan untuk LT1807CS8 secara praktek lebih besar bila dibandingkan dengan detektor fasa dengan LT1886CS8 hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti yang sudah di jelaskan pada subbab diatas, akan tetapi data pengukuran

lebih presisi dengan standar deviasi yang kecil, dan nilai persentase kesalahan adalah nilai persentase kesalahan yang sebenarnya, artinya nilai persentase kesalahan tersebut kecil bukan karena besarnya nilai standar deviasi.

Gambar dibawah ini adalah grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara praktek dan LT1807CS8 secara simulasi terhadap teori pada variasi beban $1 \mu\text{F}$ dan 10Ω yang mengacu pada data percobaan yang terdapat di lampiran 6.



Gambar 5.21 Grafik LT1886CS8 dan LT1807CS8 secara simulasi dan praktek terhadap teori

Berdasarkan gambar 5.20, terlihat sangat jelas bahwa hasil pengujian pada detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi memiliki variasi data yang lebar antara satu data ke data yang lainnya, dengan demikian menyebabkan standar deviasi menjadi besar. Dengan besarnya standar deviasi maka didapatkan nilai persentase error kecil, dikarenakan nilai sudut fasa rata – rata dari data pengujian secara kebetulan mendekati dengan nilai sudut fasa secara perhitungan.

Melalui analisa diatas mengenai pengaruh standar deviasi terhadap persentase kesalahan, dimana sebuah peralatan yang memiliki nilai persentase kesalahan yang kecil tidak dapat dianggap akurat jika memiliki nilai standar deviasi yang besar, demikian sebaliknya sebuah peralatan yang memiliki standar deviasi yang kecil belum tentu memiliki nilai persentase kesalahan yang kecil juga, hal ini terbukti melalui hasil data pengujian terhadap detektor fasa

menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 dan LT1807 baik secara simulasi dan praktek, dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa sebuah peralatan yang dikatakan presisi ternyata belum tentu akurat, dan sebuah peralatan tidak dapat dikatakan akurat jika tidak presisi.



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Nilai beda fasa dari tegangan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai resistansi resistor (ohm), besarnya frekuensi yang digunakan (kHz) dan besarnya nilai kapasitansi kapasitor (Farad).
2. Hasil perbandingan hasil dari perancangan detektor fasa pada sebagai berikut :
 - a. Penurunan level tegangan yang diterima oleh sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik dari level tegangan keluar dari suplai *RC generator*, ini dapat diatasi dengan penggunaan konektor yang mempunyai impedansi 50 ohm dan meminimalisasian atau bahkan menghilangkan penggunaan kabel *jumper*.
 - b. Penggunaan *Protoboard* sangat berpengaruh untuk timbulnya *stray capacitance* dan kopling kapasitif yang mendistorsi sinyal keluaran detektor fasa, masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan papan PCB dan menambahkan *conductor shield* diantara jalur tembaga pada perancangan pcb.
3. Hasil perbandingan data rangkaian detektor fasa dengan hasil sebagai berikut:
 - a. Perbedaan data hasil simulasi dengan data percobaan sangat besar, hal ini disebabkan pada simulasi semua komponen yang digunakan adalah dalam keadaan ideal.
 - b. Hasil perbandingan data antara LT1886 dan LT 1807 didapatkan yang lebih baik dihasilkan oleh rangkaian yang menggunakan Op-amp LT1886.

6.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka penulis memberikan beberapa saran untuk meningkatkan kinerja rangkaian detektor fasa hasil optimisasi sebagai berikut,

1. Melakukan desain ulang pcb rangkaian detektor fasa dengan menambahkan *conductor shield* diantara jalur tembaga rangkaiannya untuk mengatasi masalah *stray capacitance* dan distorsi yang diakibatkan oleh *noise* pada rangkaian.
2. Meminimalisasikan penggunaan kabel *jumper* yang menimbulkan penurunan daya yang diterima oleh komponen.
3. Semakin kecil ukuran papan Pcb akan semakin baik respon keluaran dari rangkaian tersebut
4. Hasil perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebagai pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik ini dapat digunakan sebagai *prototype* untuk pengembangan detektor fasa lebih lanjut.

DAFTAR ACUAN

- [1] Nuganics.Precision Agriculture Testing Manual For PH & Electrical Conductivity (EC) in Soil – Fertiliser – water.
www.nuganics.com.au/faq/precision-agriculture-testing-manual-for-ph-electrical-conductivityec-in-soil—fertiliser—water/
- [2] Penjelasan Bapak Dr.Ir. Agus Santoso Tamsir, M.T.
- [3] Kurniawan, Taufik Alif.(2008). *Optimisasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Elektrik*.Skripsi
- [4] Millman, Jacod and Grabel,Arvin.(1987).*Microelectronics second edition*.New York:McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- [5] Hayt, William.H & Buck, John.A.(2006).*Engineering Electromagnetics, Seventh Edition*.New York:McGraw-Hill.
- [6] Linear Technology.(2000).*LT806/LT807 325 MHz, Single/Dual, Rail-to-Rail Input and Output, Low Distortion, Low Noise Precision Op Amps*.USA:Linear Technology Corporation .
- [7] Gayawad,Ramakant.A.(2000).*Op-Amps and Linear Integrated Circuits, fourth edition*.London:Prentice Hall International, Inc.
- [8] Jung, Walt.(2005).*Op Amp Applications Handbook*.Oxford:Analog Devices.
- [9] Lenk, John D.(1999).*Circuit Troubleshooting Handbook*.New York:McGraw-Hill.
- [10] Laboratory Experiment 1 Parasitic Elements, Function Generator/ Oscilloscope Loading and BJT Biasing , University of Pennsylvania Department of Electrical and Systems Engineering ESE319 – Fall 2009
- [11] Setyawan, Yohannes Sakti.(2010). *Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Elektrik dengan Operational Amplifier LT1810*.Skripsi
- [12] Mamishev,A.V.,Sundara-rajan,K.,DU,YANKING.(2004).Interdigital sensors dan Transducer.Journal of IEEE, VOL 92, NO 5.
- [13] Li, Xiaobei.B.,Larson, Sam.D.,Zyusin, Alexei.S.,(2006).Design Principles for Multichannel Fringing Electric Field Sensors.IEEE Sensors Journal, VOL.6, NO.2.
- [14] Philips.(1990).*74HC/HCT86 Quad 2-Input Exclusive-OR Gate*.USA:Philips Semiconductor.
- [15] CSS55 Custom Silicon Solutions Applications Circuits.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-alaqui, Mohammad.A.(1996).*A Unified Analog and Digital Design to Peak and Valley Detector, Window Peak and Valley Detectors, and Zero-Crossing Detectors*.IEEE Transactions on Instrument and Measurement, vol.IM-35.No.3,September 1986.
- Burr-Brown Products.(2000). *OPA2652 Dual, 700MHz, Voltage-Feedback OPERATIONAL AMPLIFIER*.USA:Burr-Brown Corporation.
- Burr-Brown Products.(2005).*High Precision Operational Amplifiers OPA277, OPA2277, OPA4277*.Texas Instruments.
- Campbell,S.C.(2001).*Response of the ECH2O Soil Moisture Probe to Variation in Water Content, Soil Type, and Solution Electrical Conductivity*.Report, Decagon Devices, pullman, WA.
- Carter, Bruce., Brown,Thomas.R.(2001).*Handbook of Operational Amplifier Applications*.Application Report:Texas Instrumen.
- Clayton,George.,Winder,Steve.(2003).*Operational Amplifiers*.Kidlington:Elsevier Ltd.
- Davis, Billy C.(1972).*AC Coupled Comparator and A/D Converter*.United States Patent:Texas Instruments Incorporated.
- Faulkenberry, Luces.M.(1996). *Electric Power Distribution and Transmission*. Ohio:Prentice Hall.
- Fong.K.,Laverty.M.,Fang.S.(1998).*Sawtooth Wave Generation for Pre-Buncher Cavity in Isac*.Journal of IEEE.
- Frame, James W.(2005).*Comparator Circuit for Semiconductor Test System*.United State Patent:Advantest Corp..
- G. Fink, Donald (ed).(1975).*Electronic Engineers Handbook*. New York: McGraw Hill.
- Hegg, M.C.,Mamishhev,A.V.(2004).*Influence of Variable Plate Separation on Fringing Electric Fields in Parallel-Plate Capacitors*.Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electric Insulation, Indianapolis, IN USA, 19-22 September 2004.
- Horowitz, Paul and Hil, Winfieldl.(1989).*The Art of Electronics 2nd Ed*. Cambridge:Cambridge University Press.
- Hughes,Frederick.W.(1981).*Op Amp Handbook*.London:Prentice-Hall.

- Jordan, Edward.C.(1985).*Electromagnetic Waves & Radiating Systems, Second Editon*.New Delhi:Prentice-Hall of India Private Limited
- Linear Technology.*LTC1051/LTC1053Dual/Quad Precision Chopper Stabilized Operational Amplifiers With Internal Capacitors*. USA:Linear Technology Corporation.
- Linear Technology.(2000). *LT1886 Dual 700MHz, 200mA Operational Amplifier*. USA:Linear Technology Corporation.
- Li, Xiaobei.B.,Larson, Sam.D.,Zyusin.(2004).*Design of Multi-channel Fringing Electric Field Sensors for Imaging Part I: General Design Principles*.Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electric Insulation, Indianapolis, IN USA, 19-22 September 2004.
- Li, Xiaobei.B.,Larson, Sam.D.,Zyusin.(2004).*Design of Multi-channel Fringing Electric Field Sensors for Imaging Part II: Numerical Examples*.Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electric Insulation, Indianapolis, IN USA, 19-22 September 2004.
- Li, Xiaobei.B.,Zyuzin, A.S.,Manishev,A.V.(2003).*Measuring Moisture Content in Cookies Using Dielectric Spectroscopy*.2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.
- National Semiconductor.(1999).*LM675 Power Operational Amplifier*.National Semiconductor Corporation.
- R.F.Coughlin and F.F.Driscoll.(1977).*Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits*.New York:Prentics-Hall.
- Reid, D.W.A.(1981).*360° Digital Phase Detector with 100-kHz Bandwidth*.IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-28, No.3, June 1981.
- Riley,Timothy.C., Endreny,Theodore.A., Halfman,John.D.(2004). *Monitoring Soil Moisture and Water Table Height with a Low-cost Data Logger*.New York:The State University of New York.
- Plonus, Martin.A. (1986).*Applied Electromagnetics*.New York:McGraw-Hill.
- Sinnema, William.(1988).*Electronic Transmission Technology*.New Jersey:Prentice-Hall, Inc.

Lampiran 1: Data Perbandingan FPBW dan *Slew Rate* untuk fekuensi rendah

A. Batasan Data

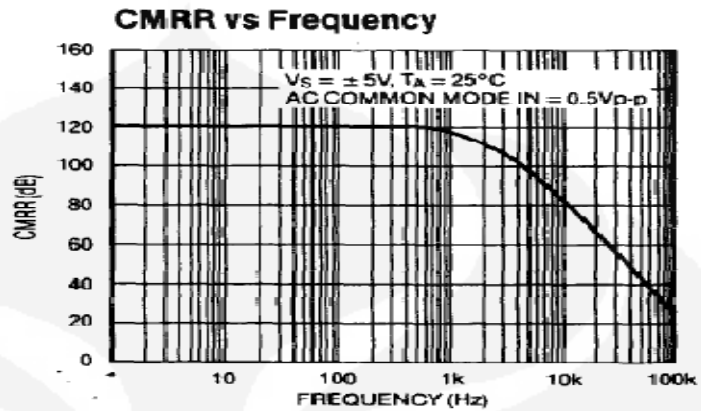
Lebar Fasa Maksimum	90°
Ketelitian	0.0446
Konstanta Pembagi (K)	2020
1/K	0.00049505
Vdd	3.3

B. Data Perbandingan FPBW dan *Slew Rate*

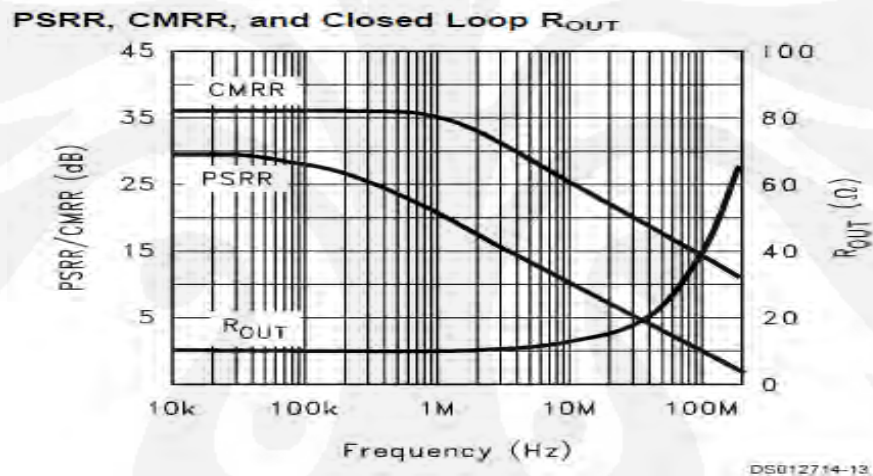
FPBW (Hz)	Periode (s)	Slew Rate (V/us)
10,000	0.0001	66.66
15,000	6.6667E-05	99.99
20,000	0.00005	133.32
25,000	0.00004	166.65
30,000	3.3333E-05	199.98
35,000	2.8571E-05	233.31
40,000	0.000025	266.64
45,000	2.2222E-05	299.97
50,000	0.00002	333.30
55,000	1.8182E-05	366.63
60,000	1.6667E-05	399.96
65,000	1.5385E-05	433.29
70,000	1.4286E-05	466.62
75,000	1.3333E-05	499.95
80,000	0.0000125	533.28
85,000	1.1765E-05	566.61
90,000	1.1111E-05	599.94
95,000	1.0526E-05	633.27
100,000	0.00001	666.60
105,000	9.5238E-06	699.93
110,000	9.0909E-06	733.26
115,000	8.6957E-06	766.59
120,000	8.3333E-06	799.92
125,000	0.000008	833.25
130,000	7.6923E-06	866.58
135,000	7.4074E-06	899.91
140,000	7.1429E-06	933.24
145,000	6.8966E-06	966.57
150,000	6.6667E-06	999.90

Lampiran 2: Perbandingan kurva CMRR pada frekuensi 30 kHz

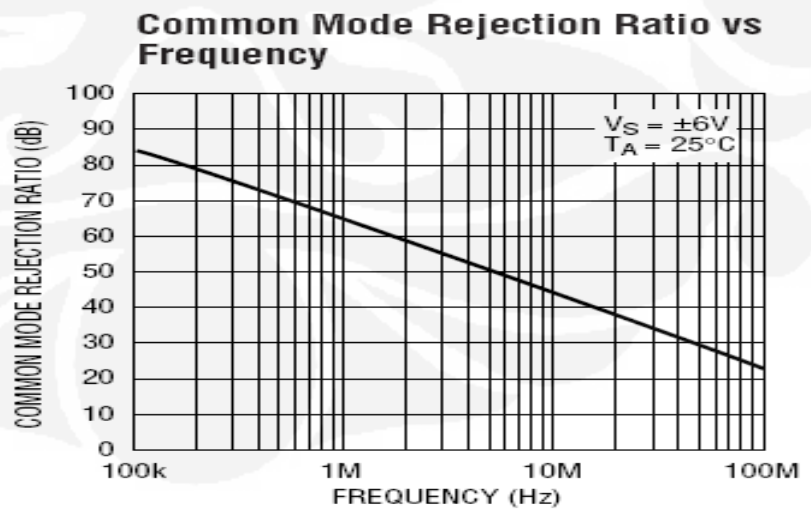
A. LTC1051/1053



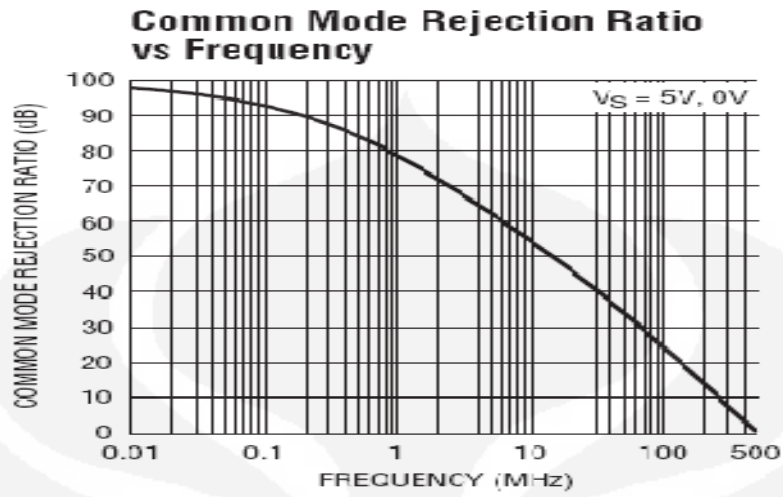
B. CLC440



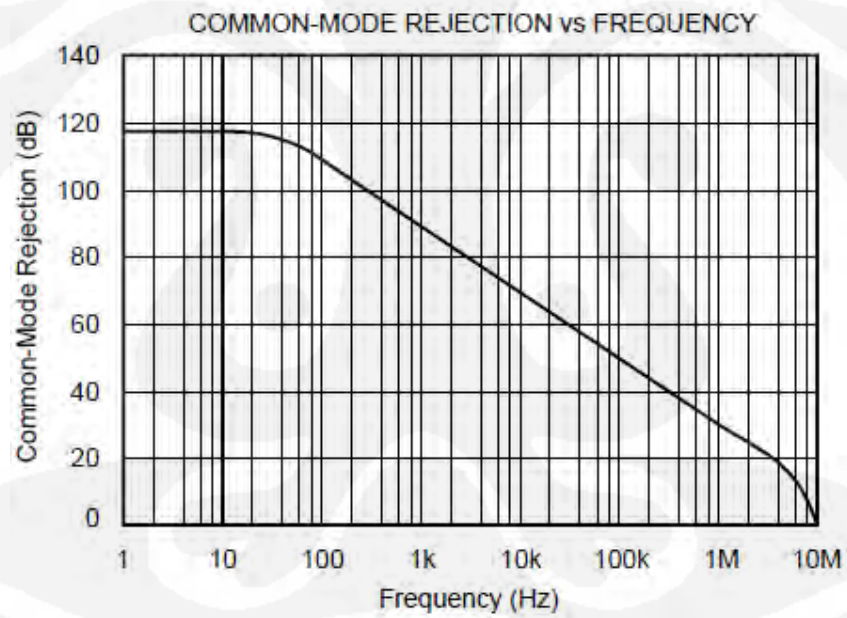
C. LT1886CS8



D. LT1807CMS8



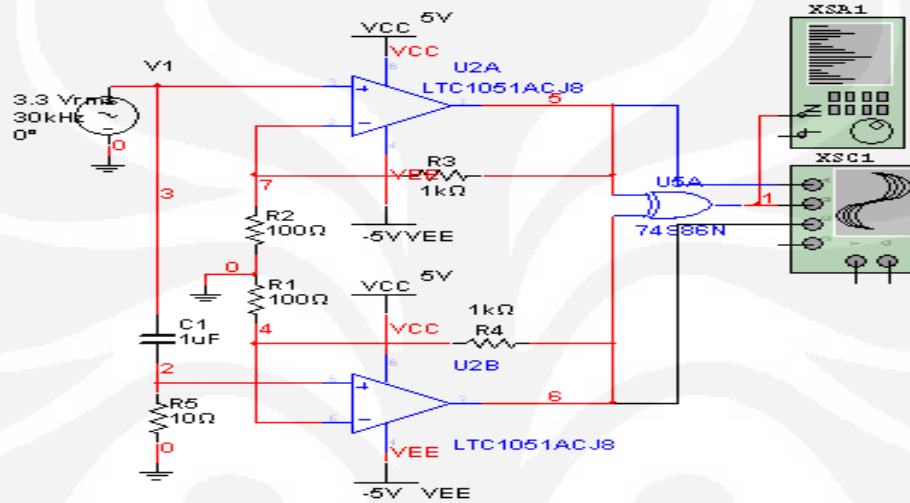
E. OPA 129



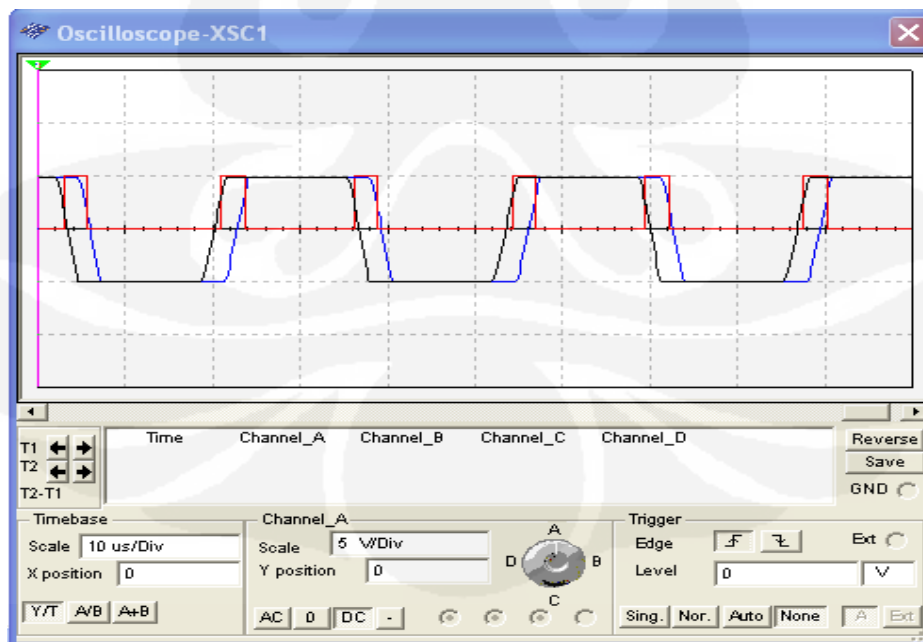
Lampiran 3: Gambar rangkaian simulasi, dan hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer*

A. LTC1051/1053

A.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1

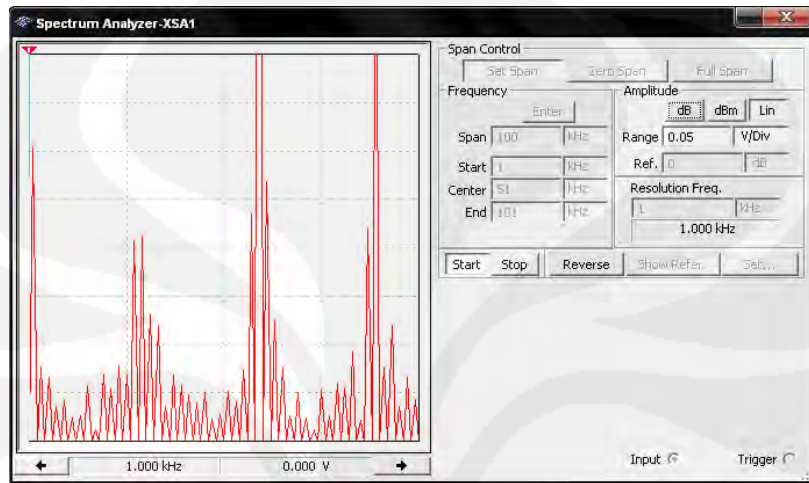


A.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



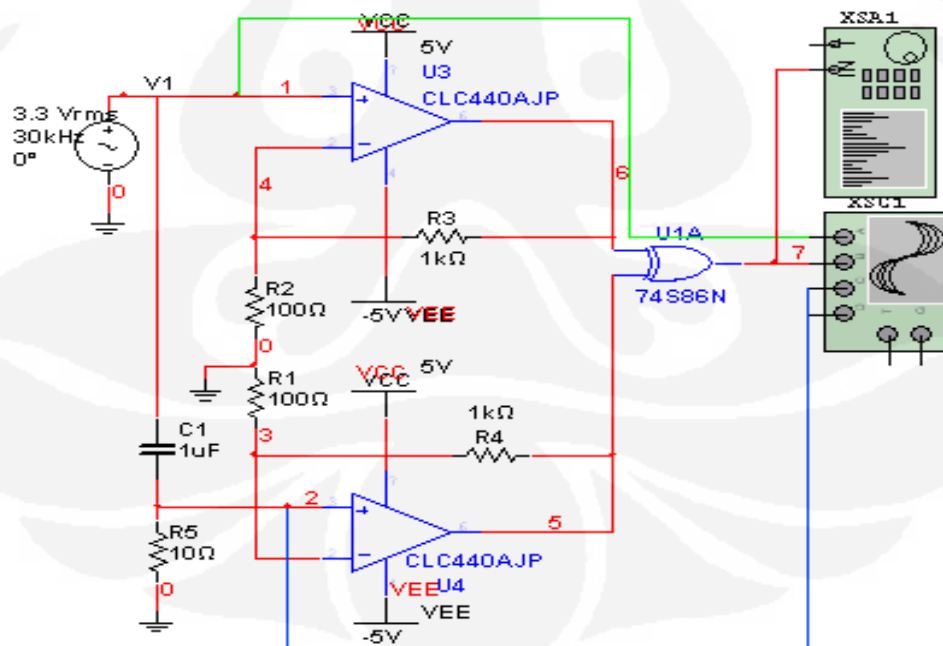
(lanjutan)

A.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



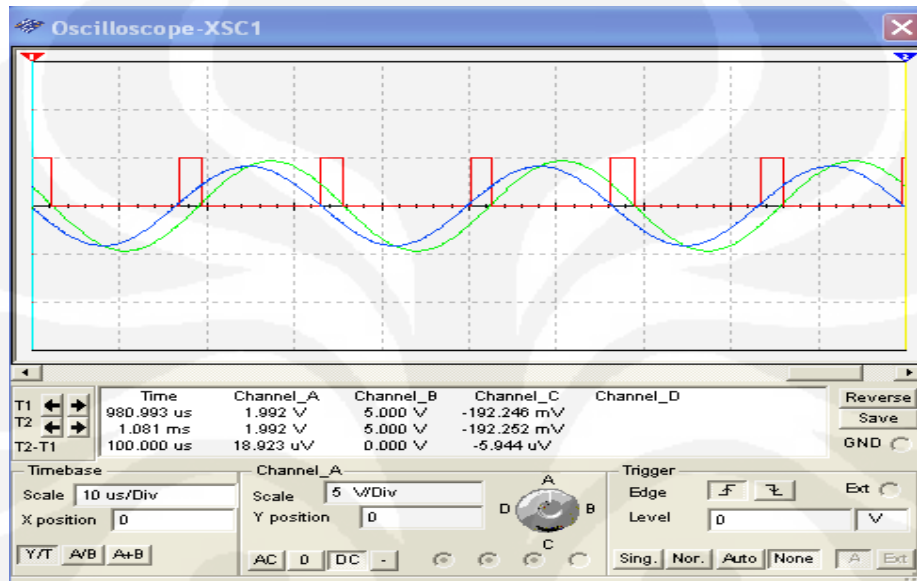
B. CLC440

B.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1

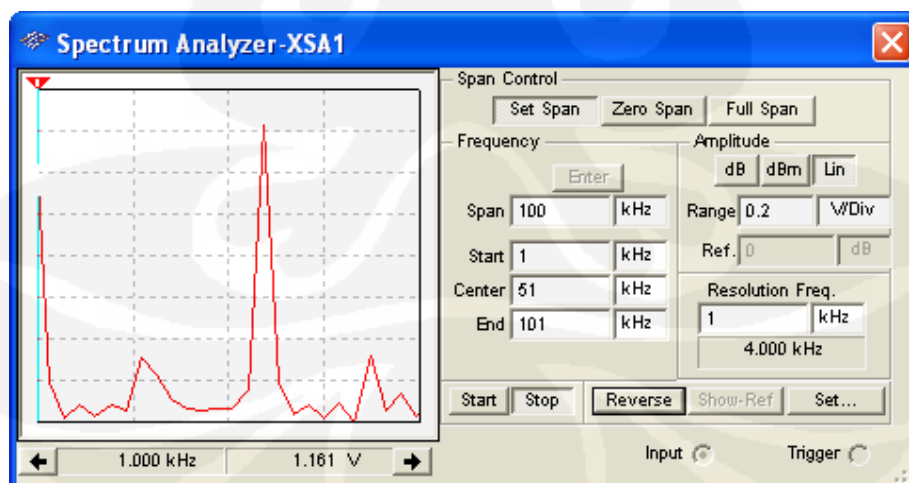


(lanjutan)

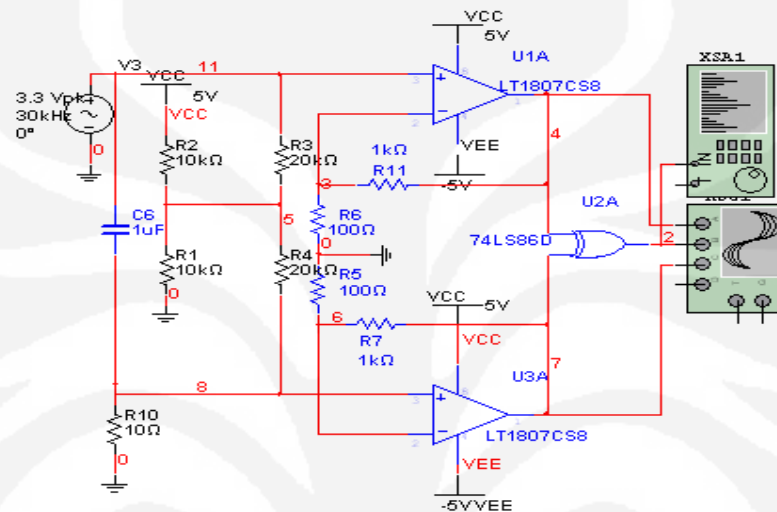
B.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



B.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



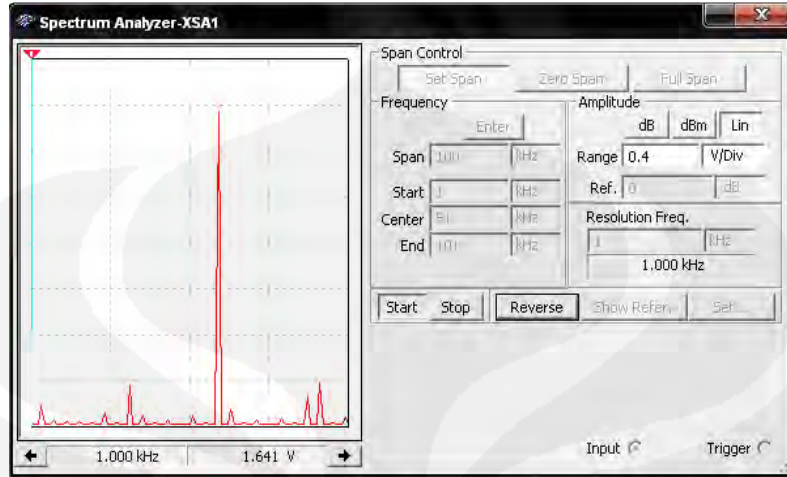
(lanjutan)

C. LT1807CS8**C.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1**

(lanjutan)

C.2 Hasil Pengamatan Menggunakan Oscilloscope

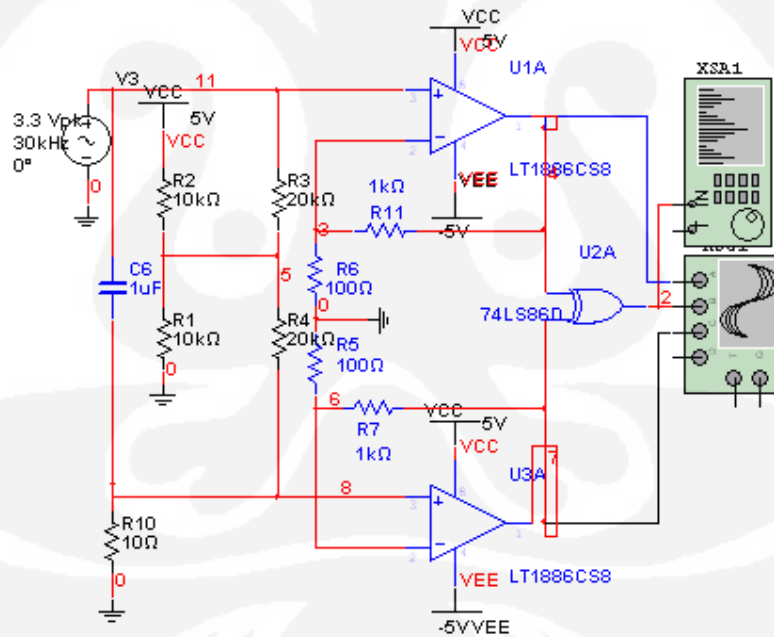
D.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



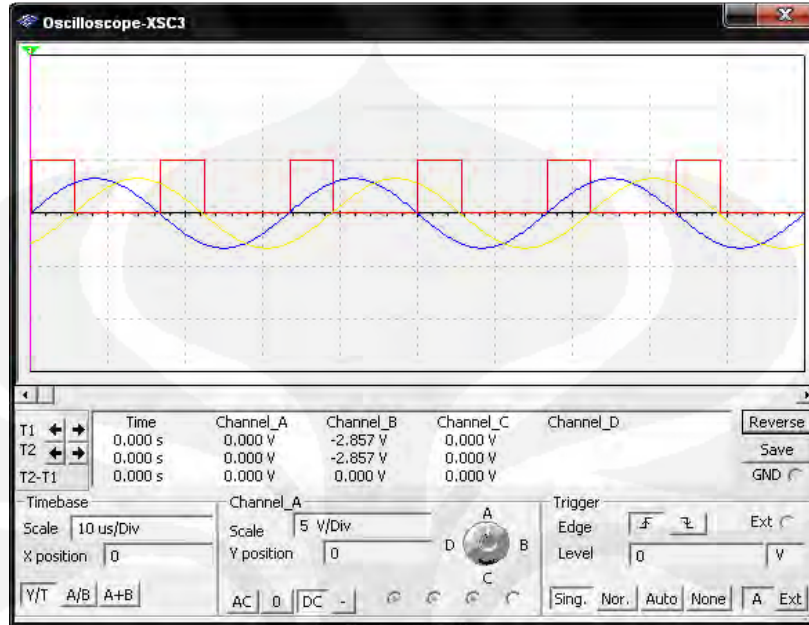
(lanjutan)

D. LT1886CS8

E.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1

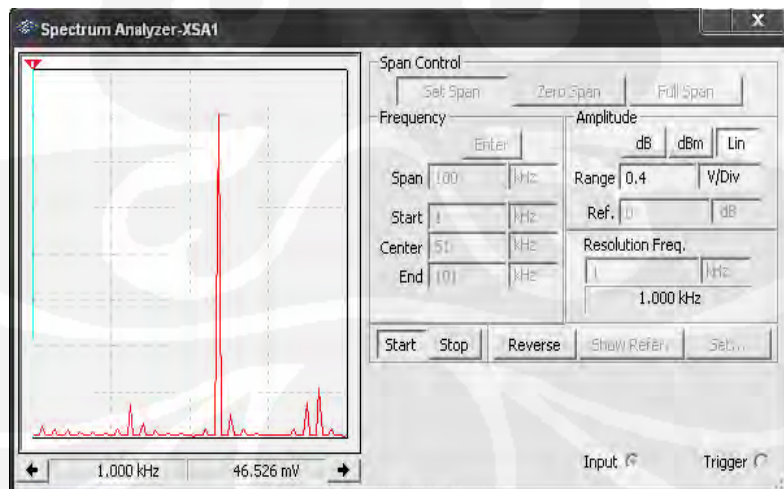


E.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



(lanjutan)

E.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



Lampiran 4: Data Pengukuran Hasil
Simulasi

A. Data Pengukuran Lebar Beda Fasa 30°

A.1 Data Pengukuran Menggunakan Oscilloscope Dalam Domain Waktu

A.1.1 Operational Amplifier LT1886CS8

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-rata (s)
1	2.877918302E-06	11	2.763623534E-06	21	2.744013148E-06	2.792430086E-06
2	2.821968160E-06	12	2.701135866E-06	22	2.716869376E-06	Variasi
3	2.811871056E-06	13	2.770644394E-06	23	2.888954109E-06	7.66305E-15
4	2.656403299E-06	14	2.619792810E-06	24	2.777948859E-06	Variasi/Rata-rata
5	2.864419314E-06	15	2.783344345E-06	25	2.803543683E-06	2.744224261E-09
6	2.759700298E-06	16	2.748598286E-06	26	2.804763427E-06	lebar 1 derajat (°)
7	2.917445819E-06	17	2.776453435E-06	27	2.784189724E-06	9.308100284E-08
8	2.782945663E-06	18	2.748229531E-06	28	2.606000398E-06	standar deviasi
9	2.651810418E-06	19	2.770437030E-06	29	2.632775294E-06	8.75389E-08
10	2.779818520E-06	20	2.774514730E-06	30	2.930710421E-06	

A.1.2 Operational Amplifier LT1807CMS8

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	2.913730535E-06	11	2.669100681E-06	21	2.717662435E-06	2.740107221E-06
2	2.853523960E-06	12	2.856349018E-06	22	2.779332180E-06	Variasi
3	2.720423995E-06	13	2.816735303E-06	23	2.700493504E-06	8.61243E-15
4	2.638792890E-06	14	2.718561270E-06	24	2.721594209E-06	Variasi/Rata-rata
5	2.767957149E-06	15	2.723225367E-06	25	2.776522429E-06	3.143099861E-09
6	2.707220921E-06	16	2.742316026E-06	26	2.845319187E-06	lebar 1 derajat (°)
7	2.662700749E-06	17	2.640091824E-06	27	2.753898091E-06	9.13369E-08
8	2.630755079E-06	18	2.691419291E-06	28	2.703163782E-06	standar deviasi
9	2.796070968E-06	19	2.789420968E-06	29	2.775430125E-06	9.28032E-08
10	2.709895965E-06	20	2.718508134E-06	30	2.733257303E-06	

A.1.3 Operational Amplifier CLC440

NO	lebar fasa(us)	NO	lebar fasa(us)	NO	lebar fasa(us)	Rata-Rata (s)
1	1.40749E-06	11	1.50881E-06	21	2.2849E-06	1.88271E-06
2	2.8049E-06	12	2.23326E-06	22	1.12223E-06	Variasi
3	1.27332E-06	13	1.81537E-06	23	2.44368E-06	2.05887E-13
4	1.98871E-06	14	2.34529E-06	24	1.46016E-06	Variasi/Rata-Rata
5	1.47845E-06	15	1.63429E-06	25	2.15917E-06	1.09357E-07
6	2.28567E-06	16	1.45838E-06	26	1.39606E-06	STDEV
7	1.42357E-06	17	2.5087E-06	27	2.08395E-06	4.53748E-07
8	1.91952E-06	18	2.38376E-06	28	1.4276E-06	
9	1.8157E-06	19	2.21115E-06	29	1.62621E-06	
10	2.62E-06	20	1.7523E-06	30	1.60876E-06	

A.1.4 Operational Amplifier LTC1051AJ8

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	2.690255999E-06	11	2.885568999E-06	21	2.885569000E-06	2.790412499E-06
2	2.890569000E-06	12	2.695255999E-06	22	2.695256000E-06	Variasi
3	2.885569000E-06	13	2.690255999E-06	23	2.690256000E-06	1.07119E-14
4	2.695256000E-06	14	2.695255999E-06	24	2.890569000E-06	Variasi/Rata-Rata
5	2.690256000E-06	15	2.885569000E-06	25	2.885569000E-06	3.838818530E-09
6	2.890569000E-06	16	2.890569000E-06	26	2.695256000E-06	lebar 1 derajat (°)
7	2.885569000E-06	17	2.690256000E-06	27	2.690256000E-06	9.30137E-08
8	2.695255999E-06	18	2.695256000E-06	28	2.890569000E-06	standar deviasi
9	2.690255999E-06	19	2.690256000E-06	29	2.885569000E-06	1.03498E-07
10	2.890568999E-06	20	2.890569000E-06	30	2.695256000E-06	

A.2 Data Pengukuran Menggunakan Spectrum Analyzer Dalam Domain Frekuensi

A.2.1 Operational Amplifier LT1886CS8

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.640625	13	48000	0.081247288
2	4000	0.118608262	14	52000	0.074724171
3	8000	0.102278935	15	56000	0.026811324
4	12000	0.075219081	16	60000	1.569101206
5	16000	0.037006064	17	64000	0.188610435
6	20000	0.015350646	18	68000	0.103963146
7	24000	0.097174541	19	72000	0.049428391
8	28000	0.35560418	20	76000	0.001922493
9	32000	0.332966612	21	80000	0.056197733
10	36000	0.042559981	22	84000	0.123899244
11	40000	0.030685137	23	88000	0.290658125
12	44000	0.066504328	24	92000	0.205460324
Perbandingan Sinyal					
		Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)		
Sinyal Maksimum		60	1.569101206		
Kedua Maksimum		28	0.35560418		
Perbandingan Kedua Sinyal		4.412493706			

A.2.2 Operational Amplifier LT1807CMS8

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.66015625	31	30000	0.01953125	61	60000	1.585885506
2	1000	0.01953125	32	31000	0.01953125	62	61000	0.01953125
3	2000	0.01953125	33	32000	0.340918772	63	62000	0.01953125
4	3000	0.01953125	34	33000	0.01953125	64	63000	0.01953125
5	4000	0.099775265	35	34000	0.01953125	65	64000	0.175344487

6	5000	0.01953125	36	35000	0.01953125	66	65000	0.01953125
7	6000	0.01953125	37	36000	0.056419601	67	66000	0.01953125
8	7000	0.01953125	38	37000	0.01953125	68	67000	0.01953125
9	8000	0.085550779	39	38000	0.01953125	69	68000	0.095404419
10	9000	0.01953125	40	39000	0.01953125	70	69000	0.01953125
11	10000	0.01953125	41	40000	0.019911994	71	70000	0.01953125
12	11000	0.01953125	42	41000	0.01953125	72	71000	0.01953125
13	12000	0.062147274	43	42000	0.01953125	73	72000	0.047583137
14	13000	0.01953125	44	43000	0.01953125	74	73000	0.01953125
15	14000	0.01953125	45	44000	0.049556928	75	74000	0.01953125
16	15000	0.01953125	46	45000	0.01953125	76	75000	0.01953125
17	16000	0.030786593	47	46000	0.01953125	77	76000	0.019719294
18	17000	0.01953125	48	47000	0.01953125	78	77000	0.01953125
19	18000	0.01953125	49	48000	0.06220813	79	78000	0.01953125
20	19000	0.01953125	50	49000	0.01953125	80	79000	0.01953125
21	20000	0.028620323	51	50000	0.01953125	81	80000	0.055779816
22	21000	0.01953125	52	51000	0.01953125	82	81000	0.01953125
23	22000	0.01953125	53	52000	0.055224763	83	82000	0.01953125
24	23000	0.01953125	54	53000	0.01953125	84	83000	0.01953125
25	24000	0.100977337	55	54000	0.01953125	85	84000	0.116889714
26	25000	0.01953125	56	55000	0.01953125	86	85000	0.01953125
27	26000	0.01953125	57	56000	0.009904374	87	86000	0.01953125
28	27000	0.01953125	58	57000	0.01953125	88	87000	0.01953125
29	28000	0.353267039	59	58000	0.01953125	89	88000	0.27867691
30	29000	0.01953125	60	59000	0.01953125	90	89000	0.01953125
						91	90000	0.01953125

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60	1.585885506
Kedua Maksimum	28	0.353267039
Perbandingan Kedua Sinyal		4.489197493

A.2.4 Operational Amplifier LTC1051AJ8

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.6015625	32	31000	0.005257059	62	61000	0.039059559
2	1000	0.037772518	33	32000	0.117327684	63	62000	0.240977506
3	2000	0.29432966	34	33000	0.023652775	64	63000	0.03374894
4	3000	0.027958235	35	34000	0.135229792	65	64000	0.136197972
5	4000	0.072635802	36	35000	0.035902885	66	65000	0.019669468
6	5000	0.010879675	37	36000	0.012331255	67	66000	0.008560354
7	6000	0.000828667	38	37000	0.038824491	68	67000	0.000479357
8	7000	0.009025707	39	38000	0.076497206	69	68000	0.017472866
9	8000	0.040953369	40	39000	0.031658484	70	69000	0.018835304
10	9000	0.026585976	41	40000	0.034369493	71	70000	0.043730129
11	10000	0.036291511	42	41000	0.01626678	72	71000	0.033256062
12	11000	0.037238517	43	42000	0.005246693	73	72000	0.02635059
13	12000	0.036501776	44	43000	0.003351458	74	73000	0.039036031
14	13000	0.038215522	45	44000	0.014809413	75	74000	0.042157289

15	14000	0.03891595	46	45000	0.022098899	76	75000	0.034673423
16	15000	0.02926314	47	46000	0.0307249	77	76000	0.028838644
17	16000	0.023498402	48	47000	0.035104471	78	77000	0.021301757
18	17000	0.012707433	49	48000	0.046654119	79	78000	0.015855389
19	18000	0.003138123	50	49000	0.038988989	80	79000	0.002395341
20	19000	0.007149996	51	50000	0.022762018	81	80000	0.004888245
21	20000	0.013525298	52	51000	0.032743153	82	81000	0.017133447
22	21000	0.02514967	53	52000	0.054298246	83	82000	0.04622653
23	22000	0.070655454	54	53000	0.017989793	84	83000	0.03221052
24	23000	0.036614805	55	54000	0.017737465	85	84000	0.091259119
25	24000	0.059068073	56	55000	0.001437782	86	85000	0.038918461
26	25000	0.038566462	57	56000	0.018327865	87	86000	0.021296265
27	26000	0.09530351	58	57000	0.020491784	88	87000	0.035514374
28	27000	0.030497548	59	58000	0.241018091	89	88000	0.232466839
29	28000	0.20628375	60	59000	0.034221488	90	89000	0.022882729
30	29000	0.014504578	61	60000	1.488766742	91	90000	0.523153712
31	30000	0.193984501						

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60	1.488766742
Kedua Maksimum	90	0.523153712
Perbandingan Kedua Sinyal		2.845753951

B. Data Pengukuran Beda Fasa Dengan Menggunakan Variasi Resistor dan Kapasitor Sebagai Pengganti Resistansi dan Kapasitansi Tanah

B1 Pengukuran Dengan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah LT1807

B.1.2.1 Variasi Beban 10 Ohm dan 1 mikroFarad

LT 1886

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	3.36844E-06	11	2.7592E-06	21	2.70236E-06	2.75432E-06
2	2.46534E-06	12	2.7285E-06	22	2.65539E-06	Variasi
3	2.77912E-06	13	2.77639E-06	23	2.81198E-06	5.98033E-14
4	2.75985E-06	14	2.60145E-06	24	2.62897E-06	Variasi/Rata-Rata
5	2.80258E-06	15	2.72875E-06	25	2.76139E-06	2.17126E-08
6	2.50722E-06	16	2.63284E-06	26	2.70398E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	2.71588E-06	17	2.74769E-06	27	2.63702E-06	27.958
8	2.65797E-06	18	2.62847E-06	28	2.69738E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	2.70775E-06	19	2.78993E-06	29	2.71617E-06	29.84063958
10	2.77903E-06	20	2.57348E-06	30	2.57069E-06	Persentase Kesalahan
						-6.733813504

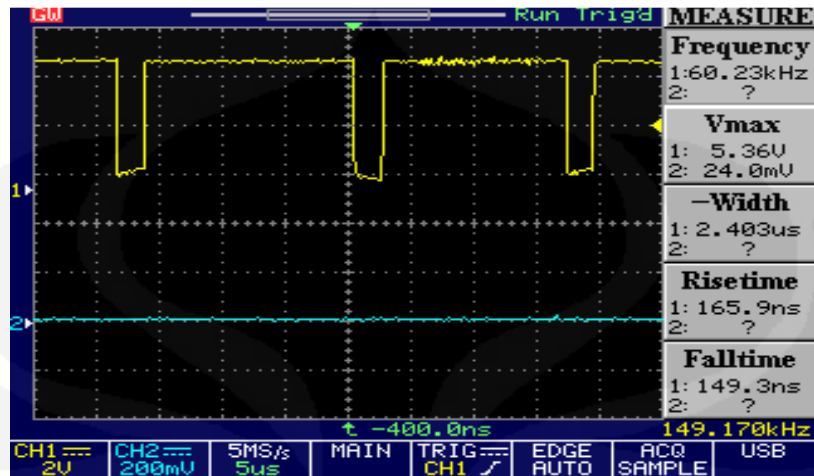
1807

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	3.21622E-06	11	2.68851E-06	21	2.65457E-06	2.60382E-06
2	2.37414E-06	12	2.57039E-06	22	2.39721E-06	Variasi
3	2.68432E-06	13	2.62758E-06	23	2.57579E-06	2.36731E-14
4	2.50885E-06	14	2.48748E-06	24	2.61085E-06	Variasi/Rata-Rata
5	2.55163E-06	15	2.73404E-06	25	2.77744E-06	9.09169E-09
6	2.44280E-06	16	2.58007E-06	26	2.58857E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	2.69045E-06	17	2.64618E-06	27	2.66718E-06	27.958
8	2.53787E-06	18	2.48434E-06	28	2.65792E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	2.70001E-06	19	2.63036E-06	29	2.57401E-06	28.21009304
10	2.48973E-06	20	2.41133E-06	30	2.55471E-06	Persentase Kesalahan
						-0.901684802

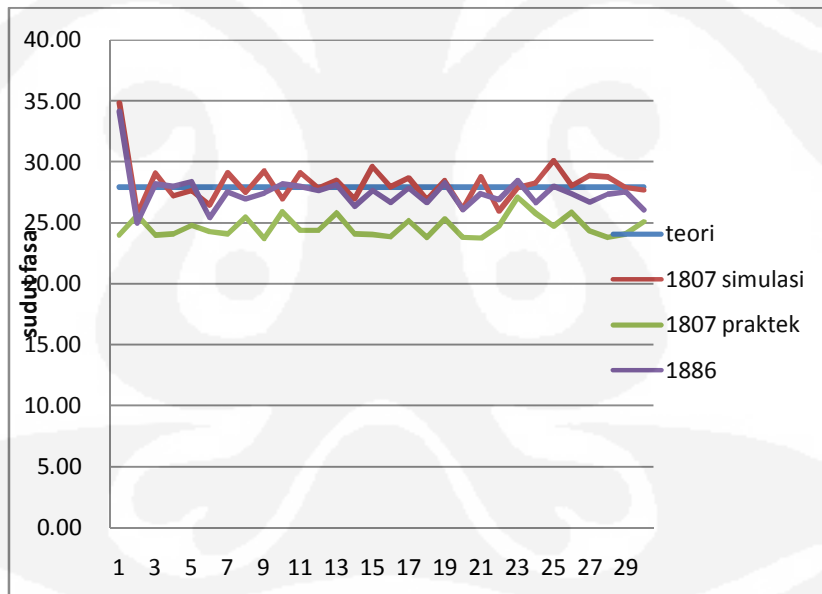
1807 percobaan

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	24.03	11	24.41	21	23.79	24.693
2	25.64	12	24.44	22	24.78	Variasi
3	24.01	13	25.85	23	27.14	0.749798864
4	24.12	14	24.12	24	25.79	Variasi/Rata-Rata
5	24.83	15	24.08	25	24.74	0.030364751
6	24.34	16	23.89	26	25.90	Sudut Fasa Perhitungan
7	24.12	17	25.19	27	24.38	27.88
8	25.51	18	23.81	28	23.80	Sudut Fasa Percobaan
9	23.72	19	25.35	29	24.10	24.69
10	25.96	20	23.82	30	25.13	Persentase Kesalahan
						11.44189383
						stdeviasi
						0.86590927
						vmr

3.036E-02



HASIL PERCOBAAN



Grafik Perbandingan Hasil Data

B.1.2.2 Variasi Beban 22 Ohm dan 1 mikroFarad

LT1886

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	2.06777E-06	11	1.37112E-06	21	1.37272E-06	1.44004E-06
2	1.2025E-06	12	1.21382E-06	22	1.38865E-06	Variasi
3	1.47929E-06	13	1.4226E-06	23	1.39379E-06	6.01384E-14

4	1.18958E-06	14	1.32403E-06	24	1.39295E-06	Variasi/Rata-Rata
5	1.40977E-06	15	1.40461E-06	25	1.34045E-06	4.17615E-08
6	1.32222E-06	16	1.53064E-06	26	1.35608E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	1.38587E-06	17	1.4012E-06	27	1.39375E-06	13.564
8	1.51966E-06	18	1.44684E-06	28	1.24584E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	1.39132E-06	19	1.38655E-06	29	1.46208E-06	15.60162116
10	1.43249E-06	20	1.44353E-06	30	1.45966E-06	Persentase Kesalahan
						-15.02227335

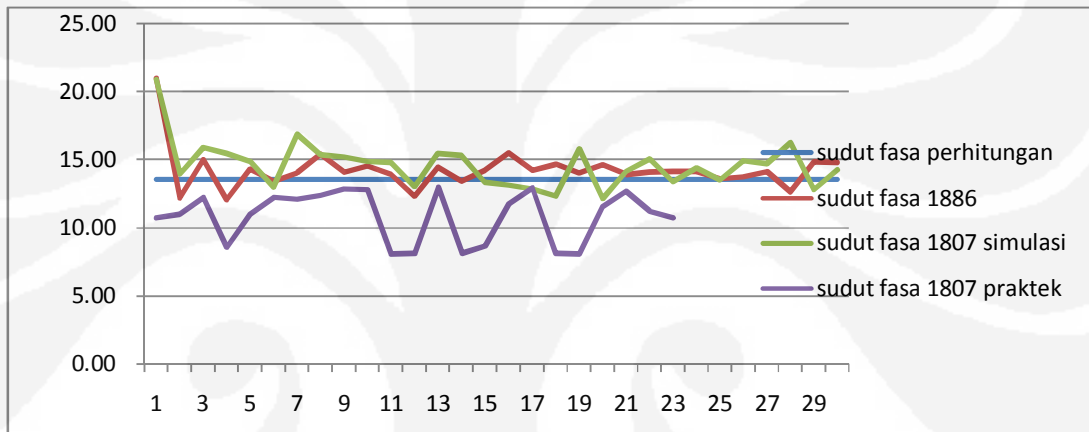
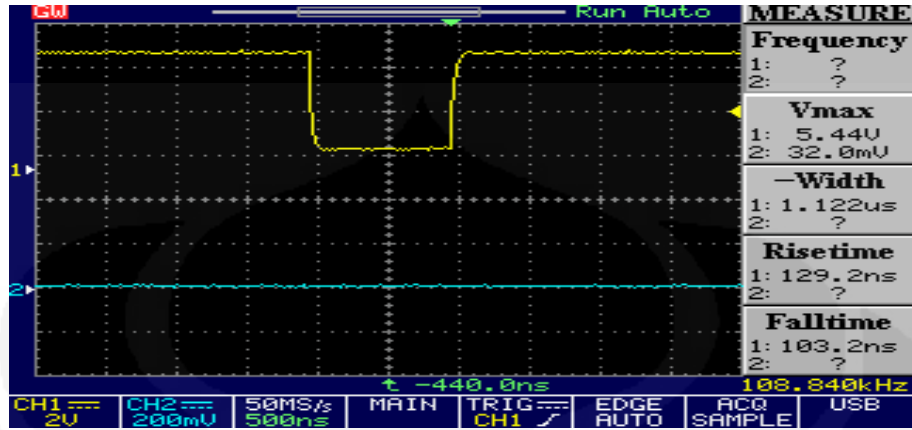
1807

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	1.92682E-06	11	1.36588E-06	21	1.30325E-06	1.34614E-06
2	1.28748E-06	12	1.20212E-06	22	1.38647E-06	Variasi
3	1.46514E-06	13	1.42530E-06	23	1.23309E-06	2.4616E-14
4	1.42477E-06	14	1.41328E-06	24	1.32552E-06	Variasi/Rata-Rata
5	1.37237E-06	15	1.22984E-06	25	1.24435E-06	1.82864E-08
6	1.19797E-06	16	1.21085E-06	26	1.37667E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	1.55471E-06	17	1.18589E-06	27	1.35702E-06	13.564
8	1.41581E-06	18	1.13497E-06	28	1.50020E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	1.40255E-06	19	1.45578E-06	29	1.17940E-06	14.58426035
10	1.37154E-06	20	1.11919E-06	30	1.31602E-06	Persentase Kesalahan
						-7.521825049

1807 percobaan

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	10.73	11	8.09	21	12.67	10.833
2	11.01	12	8.14	22	11.24	Variasi
3	12.26	13	13.00	23	10.73	3.495051952
4	8.60	14	8.13	24		Variasi/Rata-Rata
5	10.99	15	8.68	25		0.322629971
6	12.25	16	11.74	26		Sudut Fasa Perhitungan
7	12.12	17	12.96	27		13.56
8	12.38	18	8.13	28		Sudut Fasa Percobaan
9	12.86	19	8.09	29		10.83
10	12.80	20	11.57	30		Persentase Kesalahan
						20.13274336
						stdeviasi
						1.869505804
						vmr
						3.226E-01

HASIL PERCOBAAN



Grafik Perbandingan Hasil Data

B.1.2.3 Variasi Beban 10 Ohm dan 0,1 mikroFarad
LT1886

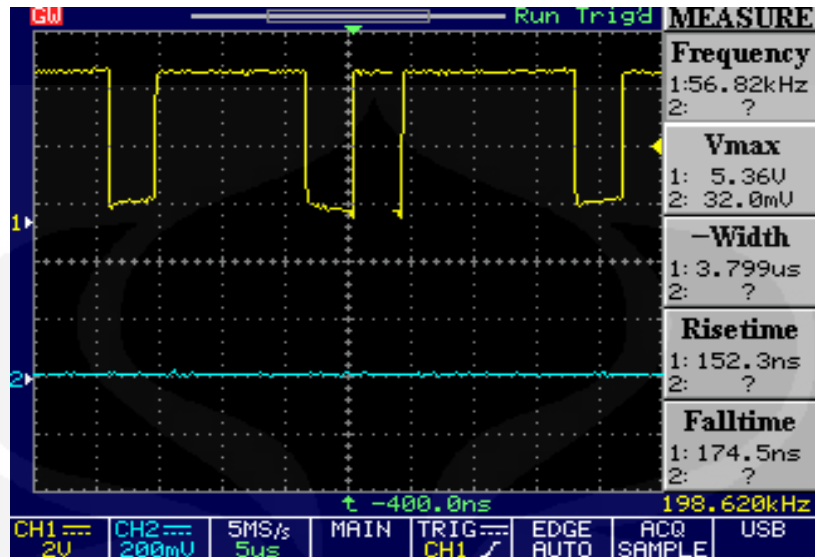
No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	8.94926E-06	11	8.96065E-06	21	8.8404E-06	7.3167E-06
2	5.66372E-06	12	5.73526E-06	22	5.72075E-06	Variasi
3	8.86561E-06	13	8.89609E-06	23	8.95457E-06	2.90057E-12
4	5.78676E-06	14	5.73032E-06	24	5.7109E-06	Variasi/Rata-Rata
5	8.99661E-06	15	8.83948E-06	25	8.88313E-06	3.96431E-07
6	5.7396E-06	16	5.75076E-06	26	5.77972E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	8.95631E-06	17	8.87743E-06	27	8.89138E-06	79.315
8	5.65832E-06	18	5.59117E-06	28	5.73659E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	8.89039E-06	19	8.92696E-06	29	8.84932E-06	79.27005241
10	5.66042E-06	20	5.67685E-06	30	5.71601E-06	Persentase Kesalahan
						0.056669718

1807 simulasi

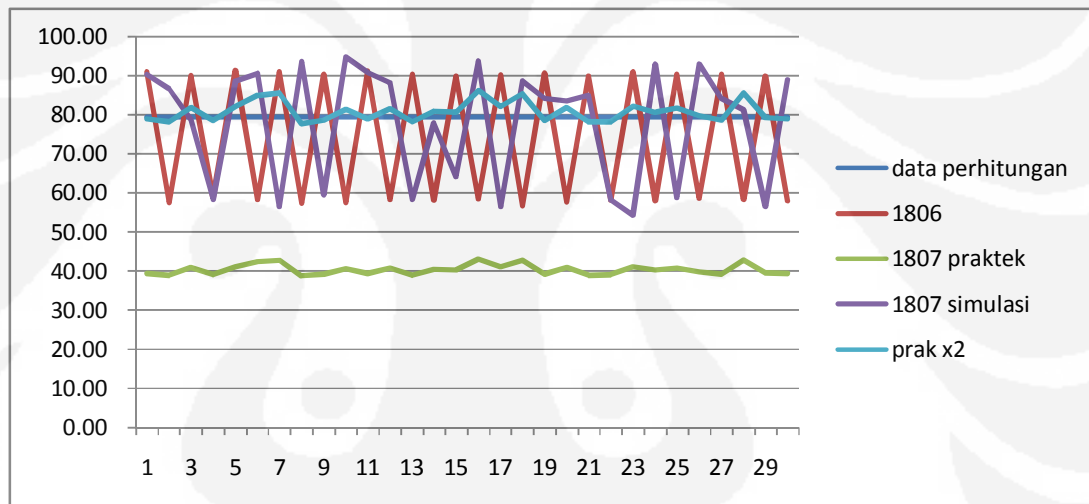
No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	8.32750E-06	11	8.36920E-06	21	7.83289E-06	7.31786E-06
2	7.99647E-06	12	8.12783E-06	22	5.36904E-06	Variasi
3	7.26070E-06	13	8.37221E-06	23	8.56653E-06	1.80487E-12
4	5.37569E-06	14	7.18581E-06	24	5.00804E-06	Variasi/Rata-Rata
5	8.16830E-06	15	5.91539E-06	25	5.42111E-06	2.46639E-07
6	8.36288E-06	16	8.64621E-06	26	8.57019E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	5.20862E-06	17	5.20463E-06	27	7.76356E-06	79.315
8	8.63606E-06	18	8.18086E-06	28	7.48714E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	5.49266E-06	19	7.76593E-06	29	5.20862E-06	79.28259963
10	8.74295E-06	20	7.71090E-06	30	8.19653E-06	Persentase Kesalahan
						0.040850247

1807 percobaan

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	39.41	11	39.41	21	39.04	40.389
2	39.03	12	40.72	22	39.07	Variasi
3	40.92	13	39.02	23	41.10	1.697629688
4	39.18	14	40.43	24	40.31	Variasi/Rata-Rata
5	41.04	15	40.29	25	40.79	0.042032087
6	42.47	16	43.07	26	39.83	Sudut Fasa Perhitungan
7	42.73	17	41.06	27	39.28	79.3
8	38.82	18	42.70	28	42.79	Sudut Fasa Percobaan
9	39.31	19	39.22	29	39.57	40.42
10	40.70	20	40.92	30	39.41	Persentase Kesalahan
						49.02900378
						stdeviasi
						1.302931191
						vmr
						4.203E-02



HASIL PERCOBAAN



Grafik Perbandingan Hasil Data

B.1.2.4 Variasi Beban 22 Ohm dan 0,1 mikroFarad

LT1886

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	6.88478E-06	11	6.66403E-06	21	6.82161E-06	6.25017E-06
2	5.71138E-06	12	5.76932E-06	22	5.73229E-06	Variasi
3	6.75309E-06	13	6.7085E-06	23	6.73026E-06	3.68949E-13
4	5.56659E-06	14	5.63279E-06	24	5.61671E-06	Variasi/Rata-Rata
5	6.82077E-06	15	6.81638E-06	25	6.66114E-06	5.90303E-08
6	5.68189E-06	16	5.56655E-06	26	5.56346E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	6.84522E-06	17	6.82211E-06	27	6.73243E-06	67.48697
8	5.6818E-06	18	5.6844E-06	28	5.49776E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	6.81664E-06	19	6.71086E-06	29	6.8264E-06	67.71509911

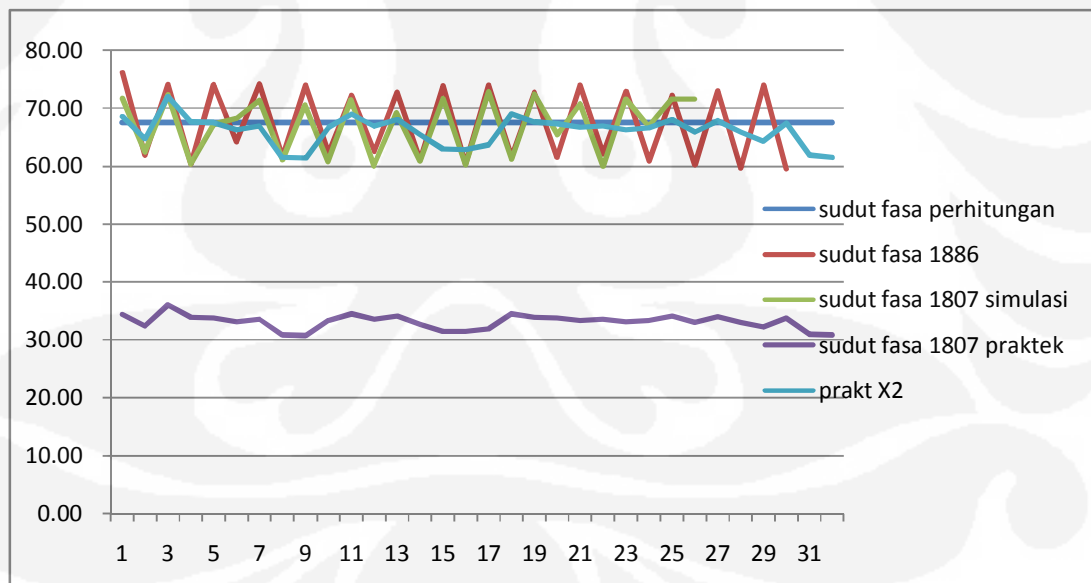
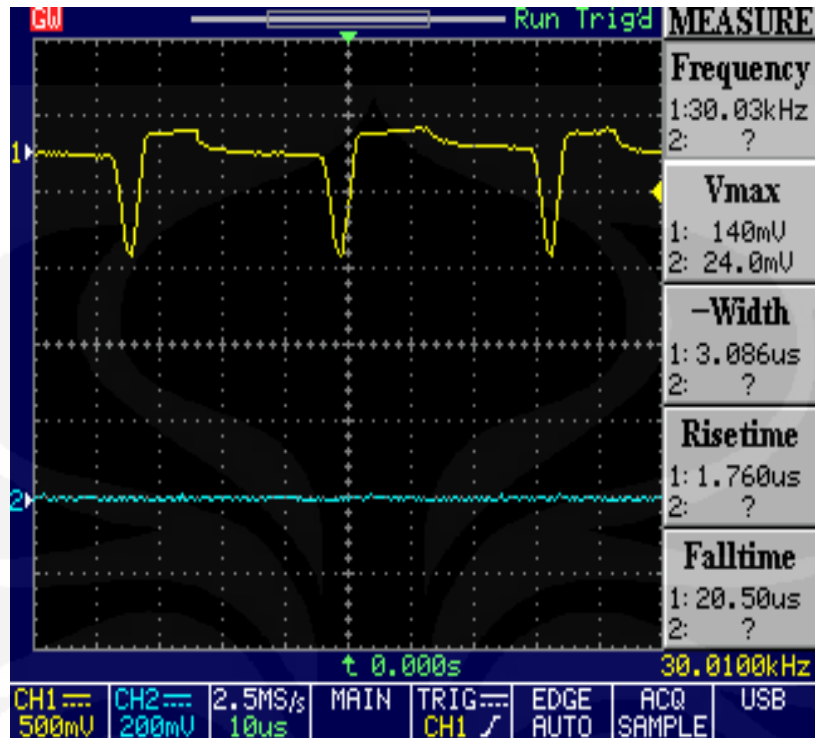
10	5.73952E-06	20	5.67074E-06	30	5.4921E-06	Persentase Kesalahan
						-0.338034298

1807 simulasi

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	6.61325E-06	11	6.59853E-06	21	6.52669E-06	6.21033E-06
2	5.76586E-06	12	5.54272E-06	22	5.53063E-06	Variasi
3	6.67120E-06	13	6.38468E-06	23	6.60908E-06	2.13546E-13
4	5.57049E-06	14	5.61465E-06	24	6.17448E-06	Variasi/Rata-Rata
5	6.20627E-06	15	6.62011E-06	25	6.60908E-06	3.43857E-08
6	6.29843E-06	16	5.56146E-06	26	6.60908E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	6.58517E-06	17	6.72168E-06	27		67.48697
8	5.63925E-06	18	5.64196E-06	28		Sudut Fasa Percobaan
9	6.51130E-06	19	6.67917E-06	29		67.28347394
10	5.61144E-06	20	6.04044E-06	30		Persentase Kesalahan
						0.30153385

1807
0.1u 22 ohm percobaan

No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	34.30	11	34.49	21	33.34	33.211
2	32.37	12	33.49	22	33.49	Variasi
3	36.01	13	34.03	23	33.13	1.315903138
4	33.80	14	32.72	24	33.31	Variasi/Rata-Rata
5	33.76	15	31.48	25	34.03	0.039622095
6	33.13	16	31.45	26	32.95	Sudut Fasa Perhitungan
7	33.49	17	31.87	27	33.96	67.11
8	30.79	18	34.49	28	32.95	Sudut Fasa Percobaan
9	30.71	19	33.85	29	32.17	33.21
10	33.34	20	33.67	30	33.75	Persentase Kesalahan
						50.51408136
						stdeviasi
						1.147128213
						vmr
						3.962E-02



Grafik Perbandingan Hasil Data

B.1.2.4 Variasi Beban 100 Ohm dan 0,01 mikroFarad

LT1886

No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	8.83993E-06	11	8.73783E-06	21	8.76879E-06	7.26122E-06
2	5.75249E-06	12	5.72802E-06	22	5.89087E-06	Variasi
3	8.83287E-06	13	8.86354E-06	23	8.72955E-06	2.6926E-12
4	5.65633E-06	14	5.68799E-06	24	5.74429E-06	Variasi/Rata-Rata
5	8.80154E-06	15	8.79618E-06	25	8.7588E-06	3.70819E-07
6	5.64176E-06	16	5.70985E-06	26	5.72403E-06	Sudut Fasa Perhitungan
7	8.77296E-06	17	8.75506E-06	27	8.73257E-06	79.315
8	5.86983E-06	18	5.68485E-06	28	5.73563E-06	Sudut Fasa Percobaan
9	8.8346E-06	19	8.77799E-06	29	8.76019E-06	78.66897324
10	5.60987E-06	20	5.78154E-06	30	5.69808E-06	Persentase Kesalahan
						0.814507674

1807 simulasi

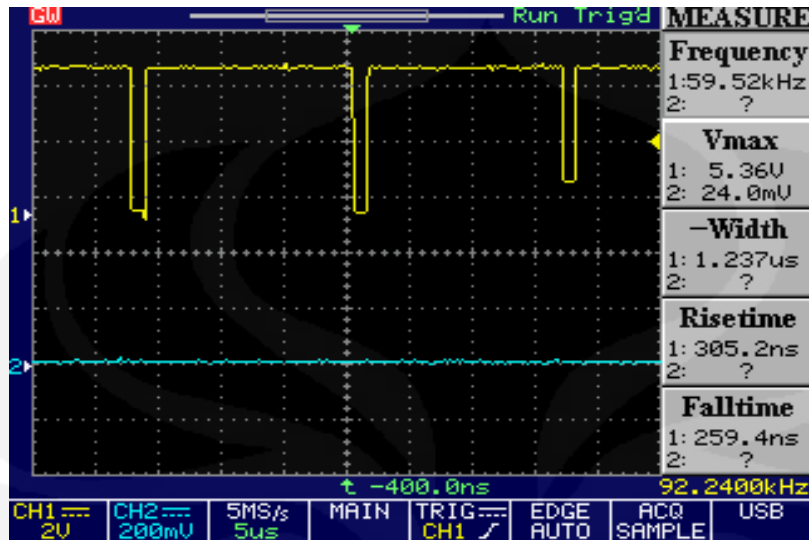
No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	No	Lebar Pulsa	Rata-Rata
1	7.24759E-06	11	5.70819E-06	21	5.03879E-06	Rata-Rata
2	5.41120E-06	12	8.03811E-06	22	8.79652E-06	7.14006E-06
3	8.74607E-06	13	8.74849E-06	23	4.67782E-06	Variasi
4	5.03505E-06	14	8.26189E-06	24	8.36357E-06	1.97542E-12
5	8.29480E-06	15	7.75504E-06	25	6.92977E-06	Variasi/Rata-Rata
6	5.45401E-06	16	8.41438E-06	26	5.21431E-06	2.76667E-07
7	7.18349E-06	17	7.94510E-06	27	8.47023E-06	Sudut Fasa Perhitungan
8	5.48933E-06	18	7.18292E-06	28	5.64915E-06	79.315
9	8.22806E-06	19	7.55939E-06	29	8.78853E-06	Sudut Fasa Percobaan
10	7.88523E-06	20	8.21089E-06	30	5.47383E-06	77.35628907
						Persentase Kesalahan
						2.469534053

1807 percobaan

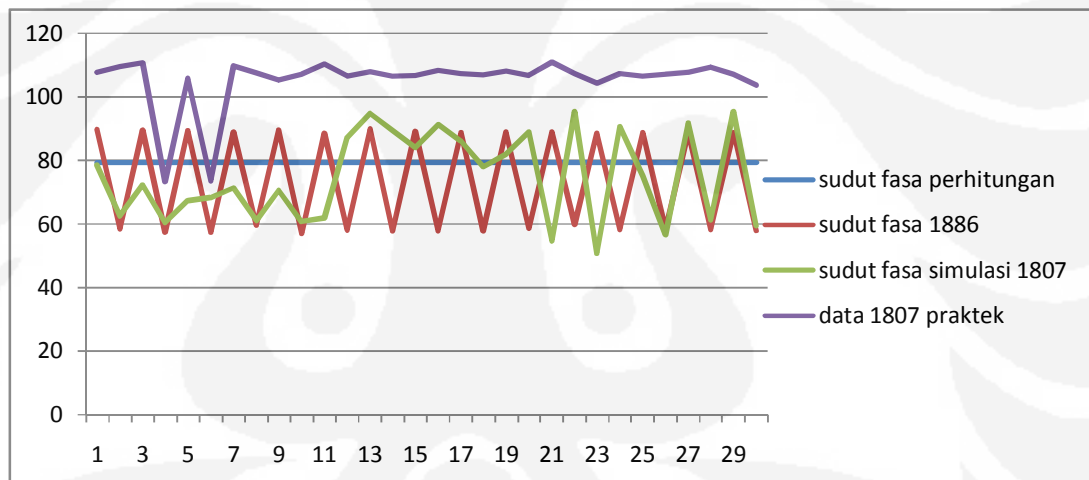
No	sudut fasa	No	sudut fasa	No	sudut fasa	Rata-Rata (s)
1	107.65	11	110.41	21	110.95	105.319
2	109.66	12	106.56	22	107.30	Variasi
3	110.84	13	107.97	23	104.41	80.80354403
4	73.19	14	106.57	24	107.44	Variasi/Rata-Rata
5	105.88	15	106.83	25	111.17	0.767223352
6	73.51	16	108.25	26	106.62	Sudut Fasa Perhitungan
7	109.76	17	107.37	27	107.23	79.01
8	107.45	18	106.90	28	107.82	Sudut Fasa Percobaan
9	105.24	19	108.04	29	109.44	105.45
10	107.16	20	106.72	30	107.11	Persentase Kesalahan
						-33.47042793
						stdeviasi
						8.989079154

vmr

7.672E-01



HASIL PERCOBAAN



Grafik Perbandingan Hasil Data

B.1.3 Pengukuran menggunakan *spectrum analyzer* dalam domain frekuensi

B.1.3.1 Variasi Beban 10 Ohm dan 1 mikroFarad

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.5234375	24	46000	0.032650582
2	2000	0.287659351	25	48000	0.033002161
3	4000	0.151958036	26	50000	0.0234153
4	6000	0.029864657	27	52000	0.038568314
5	8000	0.019420563	28	54000	0.044403365
6	10000	0.005381644	29	56000	0.077733244
7	12000	0.011729111	30	58000	0.290632496
8	14000	0.014741616	31	60000	1.443521284
9	16000	0.054236574	32	62000	0.201313955
10	18000	0.060375852	33	64000	0.192613019
11	20000	0.007936052	34	66000	0.088271582
12	22000	0.071379704	35	68000	0.052605296
13	24000	0.099552968	36	70000	0.04057893
14	26000	0.044995364	37	72000	0.022398272
15	28000	0.057733299	38	74000	0.046867334
16	30000	0.167875547	39	76000	0.043414822
17	32000	0.07892551	40	78000	0.039321314
18	34000	0.028466907	41	80000	0.031360526
19	36000	0.099748516	42	82000	0.043679691
20	38000	0.091420757	43	84000	0.073651239
21	40000	0.014080232	44	86000	0.055078247
22	42000	0.063549462	45	88000	0.05256857
23	44000	0.074095679	46	90000	0.348632495
		Frekuensi (kHz)		Amplitudo (V)	
	Sinyal Maksimum	60		1.443521284	
	Kedua Maksimum	58		0.290632496	
	Perbandingan Kedua Sinyal			4.966826849	

B.1.3.2 Variasi Beban 22 Ohm dan 1 mikroFarad

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	0.80078125	31	30000	0.01953125	61	60000	0.792348466
2	1000	0.01953125	32	31000	0.01953125	62	61000	0.01953125
3	2000	0.01953125	33	32000	0.359488689	63	62000	0.01953125
4	3000	0.01953125	34	33000	0.01953125	64	63000	0.01953125
5	4000	0.168865487	35	34000	0.01953125	65	64000	0.152898967
6	5000	0.01953125	36	35000	0.01953125	66	65000	0.01953125
7	6000	0.01953125	37	36000	0.009120188	67	66000	0.01953125
8	7000	0.01953125	38	37000	0.01953125	68	67000	0.01953125
9	8000	0.07419473	39	38000	0.01953125	69	68000	0.088171141
10	9000	0.01953125	40	39000	0.01953125	70	69000	0.01953125
11	10000	0.01953125	41	40000	0.066424966	71	70000	0.01953125
12	11000	0.01953125	42	41000	0.01953125	72	71000	0.01953125
13	12000	0.018466518	43	42000	0.01953125	73	72000	0.02002868
14	13000	0.01953125	44	43000	0.01953125	74	73000	0.01953125
15	14000	0.01953125	45	44000	0.055224881	75	74000	0.01953125
16	15000	0.01953125	46	45000	0.01953125	76	75000	0.01953125

17	16000	0.048922017	47	46000	0.01953125	77	76000	0.040752305
18	17000	0.01953125	48	47000	0.01953125	78	77000	0.01953125
19	18000	0.01953125	49	48000	0.026384263	79	78000	0.01953125
20	19000	0.01953125	50	49000	0.01953125	80	79000	0.01953125
21	20000	0.071723034	51	50000	0.01953125	81	80000	0.072846495
22	21000	0.01953125	52	51000	0.01953125	82	81000	0.01953125
23	22000	0.01953125	53	52000	0.056924261	83	82000	0.01953125
24	23000	0.01953125	54	53000	0.01953125	84	83000	0.01953125
25	24000	0.030311329	55	54000	0.01953125	85	84000	0.055728037
26	25000	0.01953125	56	55000	0.01953125	86	85000	0.01953125
27	26000	0.01953125	57	56000	0.173072787	87	86000	0.01953125
28	27000	0.01953125	58	57000	0.01953125	88	87000	0.01953125
29	28000	0.271910167	59	58000	0.01953125	89	88000	0.186506384
30	29000	0.01953125	60	59000	0.01953125	90	89000	0.01953125
						91	90000	0.01953125
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)			Amplitudo (V)		
Sinyal Maksimum			60			0.792348466		
Kedua Maksimum			32			0.359488689		
Perbandingan Kedua Sinyal						2.204098461		

B.1.3.2 Variasi Beban 10 Ohm dan 0,1 mikroFarad

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	3.57421875	32	31000	0.035232031	62	61000	0.016891153
2	1000	0.053606451	33	32000	0.153296007	63	62000	0.148617967
3	2000	0.118511179	34	33000	0.04353453	64	63000	0.016214181
4	3000	0.0225155	35	34000	0.073833864	65	64000	0.096306509
5	4000	0.098044333	36	35000	0.022283835	66	65000	0.016214181
6	5000	0.029931302	37	36000	0.099322666	67	66000	0.036609811
7	6000	0.027773745	38	37000	0.01351595	68	67000	0.016891153
8	7000	0.044643279	39	38000	0.024729986	69	68000	0.061345999
9	8000	0.068195985	40	39000	0.018286587	70	69000	0.041117146
10	9000	0.027819181	41	40000	0.04344635	71	70000	0.037456365
11	10000	0.025511991	42	41000	0.012420791	72	71000	0.039553988
12	11000	0.010977195	43	42000	0.029235784	73	72000	0.023027758
13	12000	0.021875874	44	43000	0.037542556	74	73000	0.01569043
14	13000	0.019390377	45	44000	0.015875168	75	74000	0.022232813
15	14000	0.018201449	46	45000	0.0426401	76	75000	0.043250842
16	15000	0.010177593	47	46000	0.019508508	77	76000	0.020835908
17	16000	0.02207506	48	47000	0.018728362	78	77000	0.058389992
18	17000	0.033020205	49	48000	0.027335271	79	78000	0.027476637
19	18000	0.007914408	50	49000	0.036571875	80	79000	0.036571875
20	19000	0.044353126	51	50000	0.015791204	81	80000	0.026843762
21	20000	0.02562145	52	51000	0.058389992	82	81000	0.018728362
22	21000	0.024118263	53	52000	0.006812459	83	82000	0.022919508
23	22000	0.013732589	54	53000	0.043250842	84	83000	0.0426401
24	23000	0.029424826	55	54000	0.045804005	85	84000	0.043618974
25	24000	0.062712489	56	55000	0.01569043	86	85000	0.037542556

26	25000	0.056772714	57	56000	0.070531789	87	86000	0.090638729
27	26000	0.091097582	58	57000	0.039553988	88	87000	0.012420791
28	27000	0.049028784	59	58000	0.149205913	89	88000	0.237813602
29	28000	0.186456968	60	59000	0.041117146	90	89000	0.018286587
30	29000	0.017195624	61	60000	2.861708791	91	90000	0.174625945
31	30000	0.14887938						
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)			Amplitudo (V)		
Sinyal Maksimum			60			2.861708791		
Kedua Maksimum			88			0.237813602		
Perbandingan Kedua Sinyal						12.03341091		

B.1.3.2 Variasi Beban 22 Ohm dan 0,1 mikroFarad

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	3.73046875	32	31000	0.014042259	62	61000	0.032405792
2	1000	0.048935381	33	32000	0.238655969	63	62000	0.195335002
3	2000	0.166922043	34	33000	0.042929271	64	63000	0.018477242
4	3000	0.022104714	35	34000	0.089163691	65	64000	0.147824948
5	4000	0.076596632	36	35000	0.017724428	66	65000	0.02161619
6	5000	0.051336814	37	36000	0.06458578	67	66000	0.081296347
7	6000	0.016435384	38	37000	0.019692407	68	67000	0.010396216
8	7000	0.019056363	39	38000	0.067861898	69	68000	0.034166105
9	8000	0.040378258	40	39000	0.017508717	70	69000	0.041910458
10	9000	0.026899622	41	40000	0.028205936	71	70000	0.03764876
11	10000	0.007304904	42	41000	0.031775372	72	71000	0.021918722
12	11000	0.025570988	43	42000	0.034979614	73	72000	0.013211809
13	12000	0.01683443	44	43000	0.012748287	74	73000	0.040813828
14	13000	0.020462488	45	44000	0.02279276	75	74000	0.021499951
15	14000	0.013671109	46	45000	0.038083664	76	75000	0.052162988
16	15000	0.01105063	47	46000	0.018886647	77	76000	0.021165765
17	16000	0.021972263	48	47000	0.045872441	78	77000	0.020657328
18	17000	0.032768054	49	48000	0.01094566	79	78000	0.015794712
19	18000	0.031954389	50	49000	0.021665468	80	79000	0.055930456
20	19000	0.03691377	51	50000	0.029908567	81	80000	0.019168484
21	20000	0.04194281	52	51000	0.058190498	82	81000	0.031128701
22	21000	0.020860428	53	52000	0.016770106	83	82000	0.024268219
23	22000	0.027206768	54	53000	0.030776926	84	83000	0.030221254
24	23000	0.056606781	55	54000	0.064838499	85	84000	0.027039599
25	24000	0.067752754	56	55000	0.039140961	86	85000	0.038391434
26	25000	0.027776837	57	56000	0.104653241	87	86000	0.013670903
27	26000	0.008296059	58	57000	0.045080826	88	87000	0.007317558
28	27000	0.045643696	59	58000	0.147252727	89	88000	0.147375344
29	28000	0.161830334	60	59000	0.004275361	90	89000	0.021746255
30	29000	0.048722968	61	60000	2.828690402	91	90000	0.762273384
31	30000	0.503353212						
Perbandingan Sinyal								

	Frekuensi (KHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60	0.503353212
Kedua Maksimum	2	0.166922043
Perbandingan Kedua Sinyal		3.015498747

B.1.3.2 Variasi Beban 100 Ohm dan 0,01 mikroFarad

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	4.375	24	46000	0.031987814
2	2000	0.180646706	25	48000	0.056549955
3	4000	0.067793899	26	50000	0.076336163
4	6000	0.08242958	27	52000	0.036688754
5	8000	0.019343785	28	54000	0.113911138
6	10000	0.092355959	29	56000	0.213031058
7	12000	0.097988274	30	58000	0.132032691
8	14000	0.011851257	31	60000	2.744192418
9	16000	0.076912307	32	62000	0.191401796
10	18000	0.073269467	33	64000	0.125016116
11	20000	0.021680859	34	66000	0.106286697
12	22000	0.013922393	35	68000	0.038015512
13	24000	0.018287086	36	70000	0.053380207
14	26000	0.079879624	37	72000	0.020378712
15	28000	0.19832018	38	74000	0.011501122
16	30000	1.055897626	39	76000	0.047712786
17	32000	0.174986146	40	78000	0.069410696
18	34000	0.065114817	41	80000	0.030057656
19	36000	0.059602594	42	82000	0.07116069
20	38000	0.084520261	43	84000	0.103256444
21	40000	0.051992408	44	86000	0.054034247
22	42000	0.060174424	45	88000	0.080327384
23	44000	0.028007006	46	90000	1.048281265
Perbandingan Sinyal					
		Frekuensi (kHz)			Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum		60			2.744192418
Kedua Maksimum		30			1.055897626
Perbandingan Kedua Sinyal					2.598919014