



UNIVERSITAS INDONESIA



**OPTIMISASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI
RENDAH SEBAGAI RANGKAIAN PEMBACA KELUARAN
SENSOR : *SLEW RATE* DAN XOR DI *PHASE COMPARATOR***

SKRIPSI

**YOHANES SAKTI SETYAWAN
07 06 20 0024**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMISASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI
RENDAH SEBAGAI RANGKAIAN PEMBACA KELUARAN
SENSOR : *SLEW RATE* DAN XOR DI *PHASE COMPARATOR***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**YOHANES SAKTI SETYAWAN
07 06 20 0024**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yohanes Sakti Setyawan

NPM : 0706200024

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2010

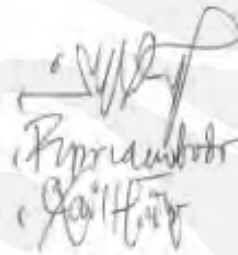
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yohanes Sakti Setyawan
NPM : 0706200024
Program Studi : Ekstensi Teknik Elektro
Judul Skripsi : Optimisasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor: *Slew Rate* dan XOR di *Phase Comparator*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir Agus Santoso Tamsir ,MT.
Penguji : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc.
Penguji : Chairul Huda ST, M.Sc



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 8 Juli 2010

KATA PENGANTAR

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

- (1) Dr.Ir.Agus Santoso Tamsir, MT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Kedua orang tua saya, Bpk Pratomo dan Ibu Sutji Winarsih, yang telah memberikan segalanya untuk saya, baik dukungan moril, materiil dari awal sampai sekarang, sehingga saya dapat menyelesaikan semuanya dengan baik
- (3) Keempat saudara saya : mas Koko, mas Dodi, mbak Efi, dan dik Ayu, yang telah memberikan banyak inspirasi, bantuan, dukungan dan banyak sekali memberikan warna dalam kehidupan saya.
- (4) Rekan-rekan di ekstensi elektro : Taufiq Alif Kurniawan, Bambang, Melda, Ahmad Fauzi, yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi, membantu dalam perancangan alat dan simulasi serta memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
- (5) Teman saya yang telah menemani sampai sejauh ini, menginspirasi, mendukung dan membangkitkan semangat untuk selalu bangkit dari kegagalan, serta tidak berhenti untuk selalu menggantungkan harapan setinggi bintang di langit.
- (6) Rekan-rekan mahasiswa ekstensi teknik elektro, khususnya angkatan 2007, yang telah memberikan dukungan moril, memberikan warna dan inspirasi sehingga saya dapat menyelesaikan kuliah di elektro dengan baik.

Tiada kata yang mampu melukiskan rasa terima kasih yang demikian besar. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini dengan balasan yang lebih baik. Semoga skripsi ini membawa manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 15 Juni 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yohanes Sakti Setyawan
NPM : 0706200024
Program Studi : Ekstensi Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :
Optimisasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor: *Slew Rate* dan XOR di *Phase Comparator*

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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 15 Juni 2010
Yang menyatakan

(Yohanes Sakti Setyawan)

ABSTRAK

Nama : Yohanes Sakti Setyawan
Program Studi : Ekstensi Teknik Elektro
Judul : Optimisasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor : *Slew Rate* dan XOR di *Phase Comparator*

Skripsi ini membahas mengenai optimisasi perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dengan zero crossing detector. Perancangan dilakukan dengan simulasi menggunakan multisim 10.0.1 dan Protel 99 , dan menerapkan hasil simulasi di pcb (*printed circuit board*). Ide awal dari penelitian ini adalah menggunakan IC phase comparator yang digunakan untuk detektor fasa sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dimana sinyal input dan output sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang berbentuk gelombang sinus langsung di bandingkan didalam IC tersebut, sehingga pergeseran fasa kedua sinyal masukan dapat di ukur tanpa mengubah bentuk sinyal masukan dan keluaran sensor tersebut. Hanya saja belum ditemukan detektor fasa yang dapat mendeteksi pergeseran fasa antara kedua sinyal masukan sinus. Oleh karena itu digunakan rangkaian *zero crossing detector* untuk mengubah sinyal sinus menjadi sinyal kotak dengan menggunakan Op Amp dengan slewrate yang tinggi ($> 200V/\mu s$), bertujuan agar sinyal kotak yang dihasilkan lebih baik, dengan demikian proses pembacaan fasa menjadi lebih akurat.

Kata kunci:

Zero crossing detector, *Slewrate*, Detektor fasa, sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, optimisasi rangkaian.

ABSTRACT

Name : Yohanes Sakti Setyawan
Study Program: Extention Electrical Engineering
Title : Optimization of Low Frequency Phase Detector Circuit as Read-Out Circuit of Sensor Output : Slew Rate and XOR in Phase Comparator

This final project describes about optimization of developing read output circuit which used to read output from moisture and electric conductivity sensor. Simulation circuit was developed by multisim 10.0.1 and ultiboard 10.0.1, and the product was applied in the pcb (printed circuit board). First idea from this watchfulness uses IC phase comparator for make detector fase as moisture and electric conductivity sensor, signal input and output moisture and electric conductivity sensor direct sine wave at compares inside ic phase comparator, so phase different value can be read without change input and output wave from moisture and electric conductivity sensor, but not yet be found phase comparator to detect phase different value for sine input signal. So used zero crossing detector schematic to change sine signal to square signal using operasional amplifier with high slewrate ($200V/\mu s$), high slewrate function is produce approach ideal square wave, therefore phase different value read to accurate.

Key words:

Zero crossing detector, Slewrate, Phase detector, moisture and electric conductivity sensor, circuit optimization.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1.1 Perumusan Masalah.....	1
1.1.2 Tujuan Penulisan Seminar.....	3
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Sistematika Penulisan.....	3
1.4 Metode Penulisan Seminar.....	4
2. LANDASAN TEORI	
2.1 Rangkaian Ganti Impedansi Tanah.....	5
2.2 Blok Diagram Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	8
2.3 Komponen yang digunakan untuk Perancangan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	10
2.3.1 <i>Operational Amplifier</i>	10
2.3.1.1 Pengertian Dasar.....	10
2.3.1.2 Karakteristik Ideal Operating Amplifier.....	10
2.3.1.3 Parameter-Parameter Penting Dalam Operational Amplifier.....	13
2.3.2 <i>CMOS Logic Gates</i>	17
2.4 Transmisi Daya dan Karakteristik Rugi Daya Pada Saluran Transmisi.....	18
3. RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH	
3.1 Ide Awal Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	21
3.2 Komponen <i>Phase Comparator</i> yang digunakan Sebagai Detektor Fasa.....	21
3.2.1 <i>Integrated Circuit</i> MM74C932.....	22
3.2.2 <i>Integrated Circuit</i> LM565.....	23
3.2.3 <i>Integrated Circuit</i> 74HC4046.....	24
3.2.4 <i>Integrated Circuit</i> MC4044.....	26
3.2.5 <i>Integrated Circuit</i> 74LS86.....	27
3.2.6 <i>Operational Amplifier</i> TL081.....	28
3.3 Metode Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	29
3.3.1 Rangkaian Detektor Fasa Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	29

3.3.1.1	Rangkaian Detektor Fasa MM74C932 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	30
3.3.1.2	Rangkaian Detektor Fasa LM 565 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	31
3.3.1.3	Rangkaian Detektor Fasa 74HC4046 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	31
3.3.1.4	Rangkaian Detektor Fasa MC4044 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	32
3.3.1.5	Rangkaian Detektor Fasa 74LS86 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	32
3.3.2	Rangkaian Detektor Fasa dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	33
3.3.2.1	Rangkaian Detektor Fasa MM74C932 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	34
3.3.2.2	Rangkaian Detektor Fasa LM 565 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	35
3.3.2.3	Rangkaian Detektor Fasa 74HC4046 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	35
3.3.2.4	Rangkaian Detektor Fasa MC4044 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	36
3.3.2.5	Rangkaian Detektor Fasa 74LS86 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	36
3.4	Hasil Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	37
3.4.1	Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	38
3.4.1.1	Hasil Percobaan MM74C932 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	39
3.4.1.2	Hasil Percobaan LM565 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	40
3.4.1.3	Hasil Percobaan 74HC4046 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i> ..	41
3.4.1.4	Hasil Percobaan MC4044 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	42
3.4.1.5	Hasil Percobaan 74LS86 Tanpa <i>Zero Crossing Detector</i>	44
3.4.2	Percobaan Rangkaian Detektor Fasa dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	45
3.4.2.1	Hasil Percobaan MM74C932 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	45
3.4.2.2	Hasil Percobaan LM565 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	47
3.4.2.3	Hasil Percobaan 74HC4046 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	48
3.4.2.4	Hasil Percobaan MC4044 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	50
3.4.2.5	Hasil Percobaan 74LS86 dengan <i>Zero Crossing Detector</i>	52
3.5	Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	53

4. ANALISA PEMILIHAN KOMPONEN UNTUK PERANCANGAN RANGKAIAN DETEKTOR FASA

4.1	Analisa Ketersediaan Komponen di Indonesia.....	59
4.2	Analisa Data Sheet Komponen <i>Operational Amplifier</i>	60
4.2.1	CMRR (<i>Common Mode Rejection Ratio</i>).....	62
4.2.2	Penguatan <i>Bandwidth Product</i>	63
4.2.3	<i>Slew Rate</i>	64
4.2.4	<i>Input Offset</i>	65
4.2.5	Penguatan Tegangan.....	66
4.3	Analisa Menggunakan Software Multisim 10.0.1	68
4.3.1	Analisa Rangkaian dan Grafik Keluaran	68
4.3.1.1	<i>Operational amplifier</i> LTC1051	68
4.3.1.2	<i>Operational Amplifier</i> LT1807.....	71
4.3.1.3	<i>Operational amplifier</i> LT1810CS8	72
4.3.1.4	<i>Operational Amplifier</i> MAX4106	73
4.3.1.5	<i>Operational Amplifier</i> LM675	73
4.3.2	Analisa Data Keluaran	74
4.3.2.1	Data Keluaran Beda Fasa	74
4.3.2.2	Data Keluaran <i>Spectrum Analyzer</i>	76
4.4	Analisa <i>Phase Comparator</i> menggunakan gerbang XOR.....	78
4.4.1	Analisa Uji Fungsi Gerbang XOR di <i>Phase Comparator</i> (secara praktek)	78

5. IMPLEMENTASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH

5.1	Implementasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	81
5.1.1	Desain Menggunakan Protel 99	81
5.1.2	Implementasi Desain pada PCB (<i>Printed Circuit Board</i>)	87
5.1.2.1	Rangkaian <i>Power Supply</i>	88
5.1.2.2	Rangkaian Pengganti Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Listrik	89
5.1.2.3	Rangkaian Utama Pembaca Beda Fasa.....	90
5.2	Pengujian Detektor Fasa Frekuensi Rendah.....	91
5.2.1	Pengujian Sinyal dari RC Generator	92
5.2.2	Pengujian Sinyal Masukan dan Keluaran Sensor.....	92
5.2.3	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz.....	93
5.2.3.1	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz Secara Praktek untuk <i>Operational Amplifier</i> LT1810CS8	93
5.2.3.2	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz Secara Simulasi untuk <i>Operational Amplifier</i> LT1886CS8.....	100
5.2.3.3	Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz Secara Simulasi untuk <i>Operational Amplifier</i> LT1810CS8.....	103
5.3	Perbandingan Hasil Keluaran Rangkaian Detektor Fasa.....	106

6.KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 KESIMPULAN.....	112
6.2 SARAN.....	113
DAFTAR ACUAN	114
DAFTAR PUSTAKA.....	116
LAMPIRAN.....	117

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil percobaan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah.....	37
Tabel 3.2	Karakteristik logika XOR	57
Tabel 4.1	Perbandingan <i>datasheet operational amplifier</i> uji	61
Tabel 4.2	Pemilihan <i>operational amplifier</i> berdasarkan parameter <i>datasheet</i> pada frekuensi 30 kHz.....	66
Tabel 4.3	Data keluaran hasil simulasi dengan lebar fasa 30°	69
Tabel 4.4	Perbandingan data keluaran beda fasa <i>operational amplifier</i> .	74
Tabel 4.5	Data keluaran <i>spectrum analyzer</i>	76
Tabel 4.6	Data pengujian gerbang XOR di <i>phase comparator</i> MM74C932 dalam lebar pulsa (second) secara praktek.....	78
Tabel 4.7	Data pengujian gerbang XOR di <i>phase comparator</i> MM74C932 dalam sudut fasa (°) secara praktek	79
Tabel 4.8	Data pengujian gerbang XOR dalam lebar pulsa (second) secara praktek	80
Tabel 4.9	Data pengujian gerbang XOR dalam sudut fasa (°) secara praktek.....	80
Tabel 5.1	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm.....	95
Tabel 5.2	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm.....	95
Tabel 5.3	Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8.....	96
Tabel 5.4	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1886CS8, dengan variasi beban 1 μ F dan 10 ohm secara simulasi	101
Tabel 5.5	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1886CS8, dengan variasi beban 1 μ F dan 10 ohm secara simulasi	101
Tabel 5.6	Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1886CS8.....	102
Tabel 5.7	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm secara simulasi	104
Tabel 5.8	Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm secara simulasi	104
Tabel 5.9	Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara simulasi	105
Tabel 5.10	Data pengujian detektor fasa dengan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara praktek	106

Tabel 5.11	Data pengujian detektor fasa dengan <i>operational amplifier</i> LT1886CS8 secara simulasi.....	106
Tabel 5.12	Data pengujian detektor fasa dengan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara simulasi.....	107



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rangkaian sensor dan rangkaian ganti sensor.....	2
Gambar 2.1	Rangkaian ganti impedansi tanah yang dibaca sensor Kelembaban dan konduktivitas listrik	5
Gambar 2.2	Grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh Dr.Ir.Agus Santoso Tamsir, M.T.....	6
Gambar 2.3	Blok diagram sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dan detektor fasa	9
Gambar 2.4	Simbol <i>operational amplifier</i>	10
Gambar 2.5	Grafik penguatan tegangan terhadap frekuensi <i>operational amplifier</i>	15
Gambar 2.6	Tabel fungsi <i>XOR Gate CMOS</i>	18
Gambar 2.7	Diagram fungsional dan digram <i>logic XOR Gate CMOS</i>	18
Gambar 2.8	Model berbasis elemen padu sebuah saluran transmisi	19
Gambar 3.1	Blok diagram ide awal rangkaian detektor fasa	21
Gambar 3.2	Koneksi dan blok diagram MM74C932.....	22
Gambar 3.3	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> I bekerja.....	22
Gambar 3.4	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> II bekerja	23
Gambar 3.5	Koneksi dan blok diagram LM565	23
Gambar 3.6	Koneksi dan blok diagram 74HC4046.....	24
Gambar 3.7	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> I bekerja.....	25
Gambar 3.8	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> II bekerja	25
Gambar 3.9	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> III bekerja	25
Gambar 3.10	Koneksi dan diagram blok MC4044.....	26
Gambar 3.11	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> I bekerja.....	26
Gambar 3.12	<i>Timing diagram</i> pada saat <i>phase comparator</i> II bekerja	27
Gambar 3.13	Tabel fungsi <i>XOR Gate CMOS</i>	28
Gambar 3.14	Diagram fungsional dan digram <i>logic XOR Gate CMOS</i>	28
Gambar 3.15	Koneksi dan blok diagram <i>operational amplifier</i> TL081	29
Gambar 3.16	Blok diagram ide awal rangkaian detektor fasa	30
Gambar 3.17	Rangkaian detektor fasa MM74C932 tanpa <i>zero crossing</i> <i>detector</i>	30
Gambar 3.18	Rangkaian detektor LM565 tanpa <i>zero crossing detector</i>	31
Gambar 3.19	Rangkaian detektor fasa 74HC4046 tanpa <i>zero crossing</i> <i>detector</i>	32
Gambar 3.20	Rangkaian detektor fasa MC4044 tanpa <i>zero crossing</i> <i>detector</i>	32
Gambar 3.21	Rangkaian detektor fasa 74LS86 tanpa <i>zero crossing</i> <i>detector</i>	33
Gambar 3.22	Blok diagram rangkaian detektor fasa <i>menggunakan zero</i> <i>crossing detector</i>	33
Gambar 3.23	Rangkaian detektor fasa MM74C932 dengan <i>zero crossing</i> <i>detector</i>	34

Gambar 3.24	Rangkaian detektor fasa LM565 dengan <i>zero crossing detector</i>	35
Gambar 3.25	Rangkaian detektor fasa 74HC4046 dengan <i>zero crossing detector</i>	35
Gambar 3.26	Rangkaian detektor fasa MC4044 dengan <i>zero crossing detector</i>	36
Gambar 3.27	Rangkaian detektor fasa 74LS86 dengan <i>zero crossing detector</i>	36
Gambar 3.28	Hasil pengamatan sinyal masukan MM74C932 dengan <i>oscilloscope</i>	39
Gambar 3.29	Hasil pengamatan sinyal keluaran MM74C932 dengan <i>oscilloscope</i>	39
Gambar 3.30	Hasil pengamatan sinyal masukan LM565 dengan <i>oscilloscope</i>	40
Gambar 3.31	Hasil pengamatan sinyal keluaran LM565 dengan <i>oscilloscope</i>	41
Gambar 3.32	Hasil pengamatan sinyal masukan 74HC4046 dengan <i>oscilloscope</i>	41
Gambar 3.33	Hasil pengamatan sinyal keluaran 74HC4046 dengan <i>oscilloscope</i>	42
Gambar 3.34	Hasil pengamatan sinyal masukan MC4044 dengan <i>oscilloscope</i>	43
Gambar 3.35	Hasil pengamatan sinyal keluaran MC4044 dengan <i>oscilloscope</i>	43
Gambar 3.36	Hasil pengamatan sinyal masukan 74LS86 dengan <i>oscilloscope</i>	44
Gambar 3.37	Hasil pengamatan sinyal keluaran 74LS86 dengan <i>oscilloscope</i>	45
Gambar 3.38	Hasil pengamatan sinyal masukan MM74C932 dengan <i>oscilloscope</i>	45
Gambar 3.39	Hasil pengamatan sinyal keluaran MM74C932 dengan <i>oscilloscope</i>	46
Gambar 3.40	Hasil pengamatan sinyal masukan LM565 dengan <i>oscilloscope</i>	47
Gambar 3.41	Hasil pengamatan sinyal keluaran LM565 dengan <i>oscilloscope</i>	47
Gambar 3.42	Hasil pengamatan sinyal masukan 74HC4046 dengan <i>oscilloscope</i>	48
Gambar 3.43	Hasil pengamatan sinyal keluaran 74HC4046 dengan <i>oscilloscope</i>	49
Gambar 3.44	Hasil pengamatan sinyal masukan MC4044 dengan <i>oscilloscope</i>	50
Gambar 3.45	Hasil pengamatan sinyal keluaran MC4044 dengan <i>oscilloscope</i>	51
Gambar 3.46	Hasil pengamatan sinyal masukan 74LS86 dengan <i>oscilloscope</i>	52
Gambar 3.47	Hasil pengamatan sinyal keluaran 74LS86 dengan <i>oscilloscope</i>	53

Gambar 3.48	Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan <i>zero crossing detector</i>	54
Gambar 3.49	Grafik <i>oscilloscope</i> keluaran dari <i>zero crossing detector</i>	55
Gambar 3.50	Grafik sinyal keluaran dan masukan sensor dengan detektor fasa	56
Gambar 3.51	Kurva perbandingan <i>slew rate</i> dan FPBW	57
Gambar 3.52	Hasil sinyal pencuplikan gerbang XOR.....	58
Gambar 4.1	Kurva CMRR vs Frekuensi pada LTC1051	62
Gambar 4.2	Simulasi rangkaian dengan menggunakan LTC1051	68
Gambar 4.3	Hasil pengamatan sinyal keluaran dengan <i>oscilloscope</i>	69
Gambar 4.4	Hasil pengamatan sinyal keluaran dengan <i>spectrum analyzer</i>	70
Gambar 4.5	Grafik pengamatan sinyal keluaran <i>operational amplifier</i> yang berfungsi sebagai komparator	70
Gambar 5.1	Desain rangkaian menggunakan Protel 99	81
Gambar 5.2	Desain rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik	82
Gambar 5.3	Desain rangkaian power supply +5 volt dan -5 volt.....	82
Gambar 5.4	Nilai arus pada masukan kaki positif dan kaki negatif <i>operational amplifier</i> tanpa kompensasi.....	83
Gambar 5.5	Nilai arus pada masukan kaki positif <i>operational amplifier</i> dengan rangkaian.....	84
Gambar 5.6	Nilai arus pada masukan kaki positif <i>operational amplifier</i> dengan rangkaian kompensasi yang sudah di optimisasi.....	85
Gambar 5.7	Diagram blok dual <i>operational amplifier</i> LT1810CS8	86
Gambar 5.8	Diagram blok IC MM74C932	87
Gambar 5.9	Implementasi desain rangkaian detektor fasa.....	87
Gambar 5.10	Rangkaian suplai tegangan.....	88
Gambar 5.11	Rangkaian <i>schematic</i> suplai tegangan	88
Gambar 5.12	Rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik	89
Gambar 5.13	Rangkaian <i>schematic</i> pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik	90
Gambar 5.14	Rangkaian utama pembaca beda fasa	90
Gambar 5.15	Pengujian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8.....	91
Gambar 5.16	Sinyal masukan detektor fasa dari RC Generator menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara praktek.....	92
Gambar 5.17	Sinyal masukan dan sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara praktek.....	92
Gambar 5.18	Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara praktek.....	93

Gambar 5.19	Sinyal keluaran detektor fasa frekuensi rendah pada 0,1 μ F dan 10 ohm menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara praktek	94
Gambar 5.20	<i>Quasi-static electric field</i>	97
Gambar 5.21	Kedalaman penetrasi garis medan listrik sebanding dengan jarak antara elektroda yang berdekatan sebanding dengan periode spasial λ	98
Gambar 5.22	<i>Interdigital dielectrometry sensor</i>	98
Gambar 5.23	Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1886CS8 secara simulasi	100
Gambar 5.24	Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan <i>operational amplifier</i> LT1810CS8 secara simulasi	103
Gambar 5.25	Grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara praktek terhadap teori pada variasi beban 0.1 μ F dan 10 Ω	108
Gambar 5.26	Grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara simulasi terhadap teori pada variasi beban 0.1 μ F dan 10 Ω	109

BAB 1 PENDAHULUAN

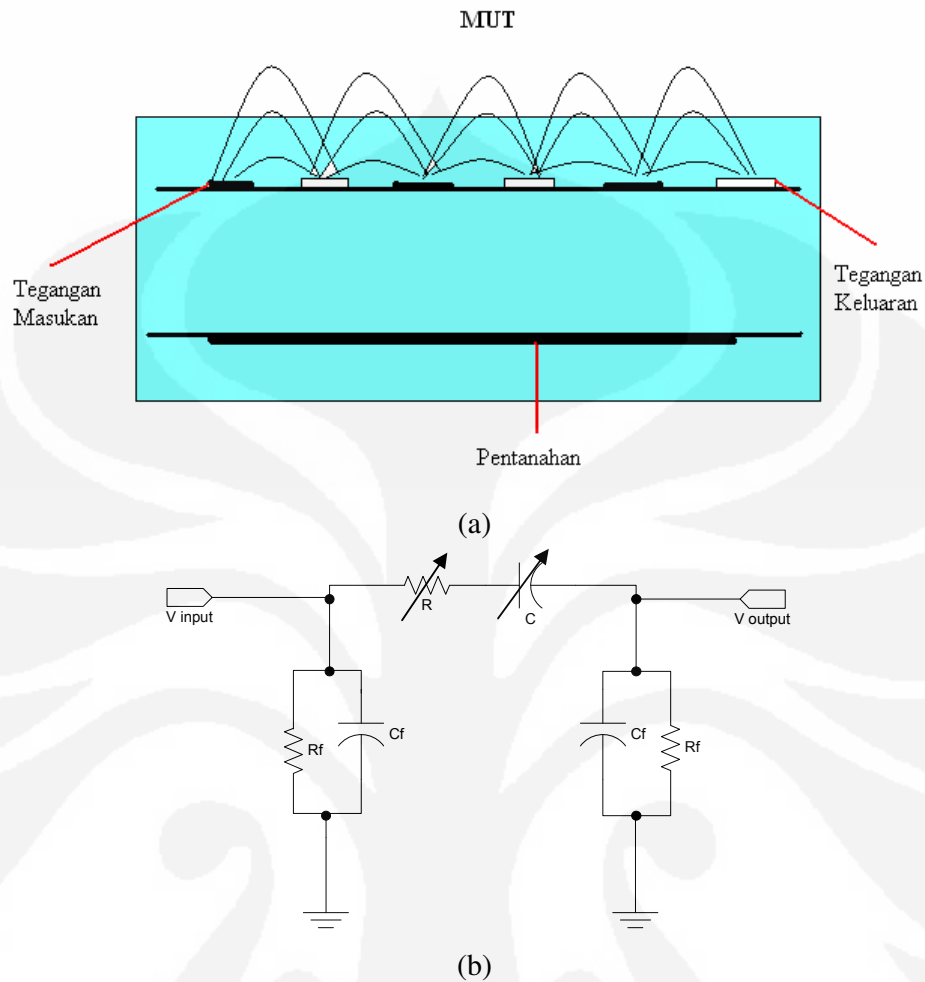
1.1 Latar Belakang

1.1.1 Perumusan Masalah

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

Dalam dunia pertanian, sebaiknya petani memperhitungkan keadaan konduktivitas listrik 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 listrik pada tanah dapat diukur dengan menggunakan sensor .

Salah satu parameter penting yang terdapat pada sensor kelembaban dan konduktivitas listrik adalah perbedaan fasa antara tegangan *input* dan tegangan *output*nya. Perbedaan fasa adalah salah satu parameter dalam menghitung nilai konduktivitas listrik di tanah, disamping dua parameter yang lain yakni besarnya tegangan input dan tegangan output sensor [2]. 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 listrik. Secara umum gambar rangkaian ganti dari sensor tersebut dapat dilihat pada gambar 1.1,



Gambar 1.1 Rangkaian Sensor, (a) rangkaian sensor (b) rangkaian ganti sensor

Dari rangkaian ganti tersebut, nilai R dan C merupakan nilai variabel atau berubah-ubah tergantung konduktivitas listrik 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 listrik tersebut. Adapun frekuensi kerja dari sensor ini yaitu pada rentang 30 – 100 KHz.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian yang dilakukan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan dengan menggunakan rangkaian yang sama, hanya saja pada rangkaian pembacaan sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Sebelumnya saudara Taufiq alif kurniawan metode *zero crossing detector*

menggunakan IC LT1886CS8, sedang pada penelitian ini metode *zero crossing detector* menggunakan IC yang berbeda yaitu pada IC LT1810CS8. Pada penelitian yang dilakukan saudara Taufiq Alif Kurniawan menggunakan CMOS logic gate eksklusif OR sebagai phase comparator, sedang pada penelitian ini menggunakan gerbang eksklusif OR yang khusus di desain sebagai Phase Comparator.

1.1.2 Tujuan Penulisan Seminar

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan,

- a. Melakukan perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang keluarannya berupa nilai beda fasa antara tegangan masukan dan keluaran sensor tersebut.
- b. Melakukan optimisasi perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah yang akan digunakan sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan optimisasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebagai pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik, 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 99.
- 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

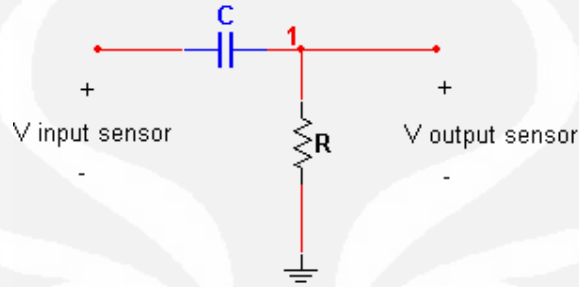
diagram perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, komponen yang digunakan untuk perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, transmisi daya dan karakteristik rugi daya pada saluran transmisi. Bab tiga adalah Penjelasan mengenai percobaan dengan menggunakan empat buah IC phase comparator yang digunakan sebagai ide awal didalam melakukan phase comparator tanpa menggunakan zero crossing detector . Bab empat adalah analisa pemilihan komponen untuk perancangan detektor fasa, yang meliputi analisa ketersediaan komponen di Indonesia, analisa *datasheet* komponen *operational amplifier* dan analisa menggunakan *software* multisim 10.0.1. Bab lima adalah implementasi dan optimisasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah yang meliputi implementasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah dan optimisasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah. Bab enam adalah kesimpulan dan saran.

1.4 Metode Penulisan Seminar

Skripsi ini disusun dengan melakukan studi literatur, kajian simulasi pada multisim 10.0.1 dan Protel 99, mengimplementasikan dan menguji hasil simulasi dengan membuat model rangkaian di pcb, serta melakukan optimisasi rangkaian untuk mendapatkan hasil keluaran yang tepat.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Rangkaian Ganti Impedansi Tanah



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

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 listrik. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi yang berbeda-beda untuk setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai konduktivitas listrik 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,

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

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

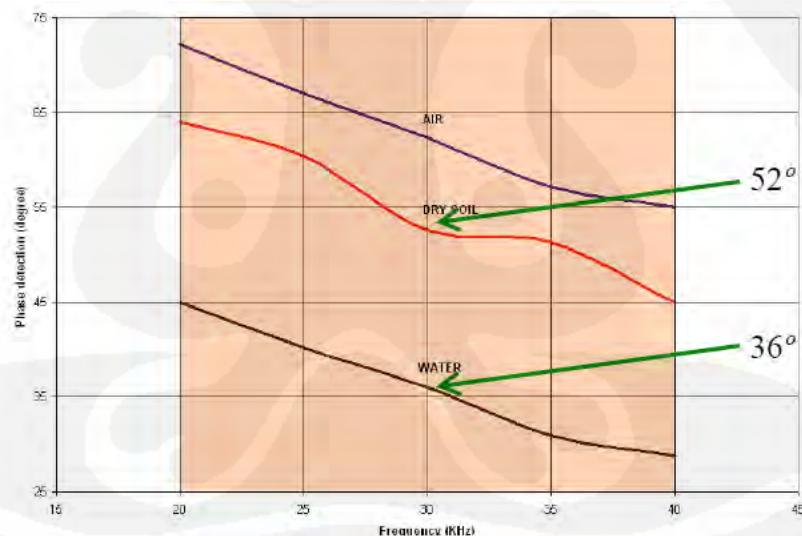
Tegangan *input* dan *output* dipisahkan oleh impedansi (*Z*) yang terdiri dari komponen resistor (*R*) dan kapasitor (*C*).

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

Xc merupakan resistansi kapasitif yang besarnya

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

nilai frekuensi yang digunakan untuk menghitung besarnya ω tergantung dari spesifikasi dari sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang digunakan. Dalam perancangan rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, 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 $Z = \sqrt{(R_2)^2 + (Xc^2)}$ 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,

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

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

$$C = \epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{L} \quad (2.14)$$

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.

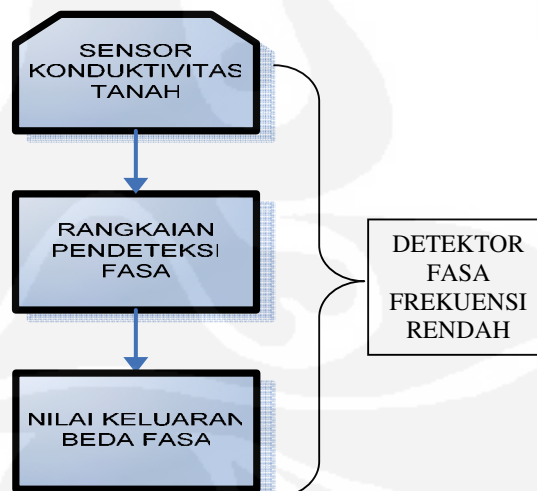
2.2 Blok Diagram Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dan detektor fasa merupakan satu kesatuan rangkaian yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain dalam

menjalankan fungsinya untuk membaca nilai konduktivitas listrik 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 listrik dan detektor fasa ditunjukkan pada gambar 2.3. Bagian ujung dari sensor kelembaban dan konduktivitas listrik 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 keluaran (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 listrik dan detektor fasa

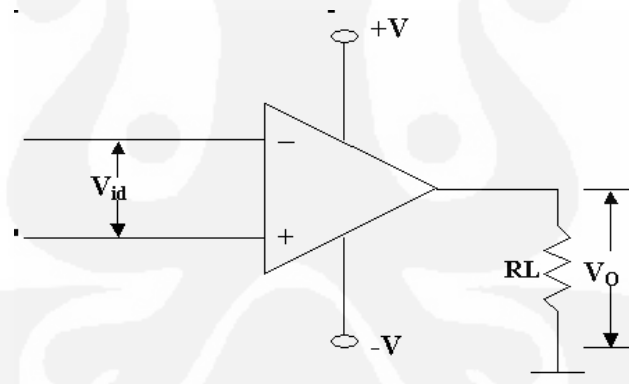
2.3 Komponen yang digunakan untuk Perancangan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

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

2.3.1 *Operational Amplifier* [3][4][6][7]

2.3.1.1 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*

2.3.1.2 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 $5 \text{ k}\Omega$ hingga $20 \text{ M}\Omega$, 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.

2.3.1.3 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*

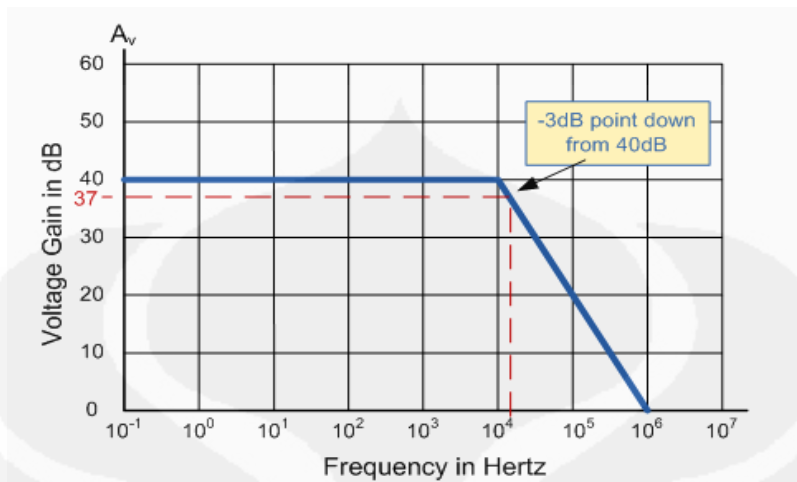
V_{ocm} = Tegangan keluaran *common mode*

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 akurasi.

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 *Application 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 [2]. 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* [4]

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_{io}) dan tegangan *input offset* (V_{io}). 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_{io}) 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* [5]

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 kecepataannya 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).

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

2.3.2 CMOS 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,

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

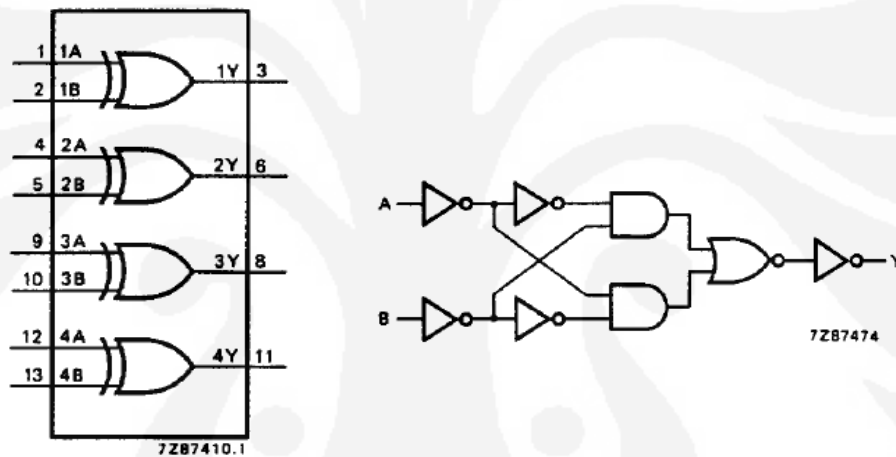
Dalam aplikasinya di rangkaian, *XOR Gate CMOS* berfungsi untuk mendapatkan sinyal keluaran dari dua sinyal input tegangan yang berbentuk pulsa. Salah satu *XOR gate CMOS* yang tersedia di pasaran dan sering digunakan dalam membuat suatu rancangan elektronika adalah 74HC/HCT86. CMOS ini adalah *Si-gate 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

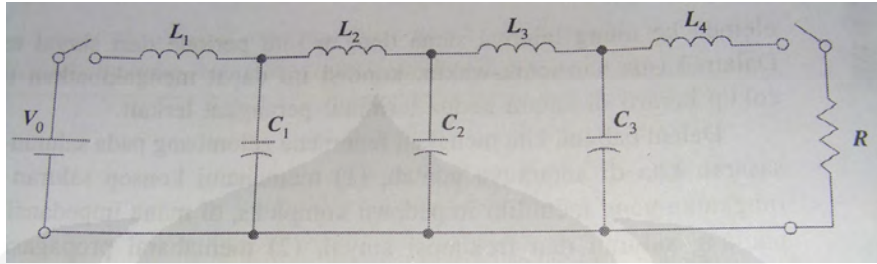


Gambar 2.7 Diagram fungsional dan diagram logik XOR Gate CMOS

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai CMOS 74LS86 terdapat pada *data sheet* yang terdapat di lampiran.

2.4 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 [5]

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. [7].

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):

$$\Gamma \equiv \frac{V_{0r}}{V_{0i}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = |\Gamma| e^{j\phi} \quad (2.28)$$

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

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

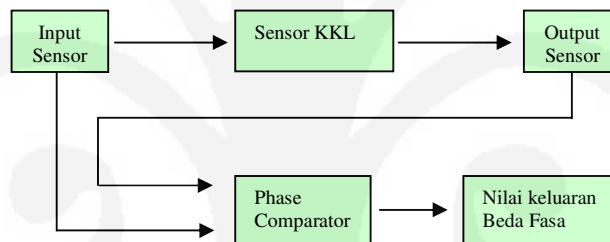
Sedangkan bagian yang diterima beban (terdisipasi beban) adalah:

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

BAB 3 RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH

3.1 Ide Awal Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Ide awal dari penelitian ini adalah menggunakan sebuah IC *phase comparator* yang digunakan untuk detektor fasa sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dimana sinyal masukan dan sinyal keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang berbentuk gelombang sinus langsung di bandingkan didalam IC tersebut, dengan demikian pergeseran fasa antara sinyal masukan sensor dan sinyal keluaran sensor dapat di ukur tanpa mengubah bentuk sinyal masukan dan sinyal ke luaran sensor tersebut. Berikut blok diagram ide awal dari penelitian ini :



Gambar 3.1 Blok diagram ide awal rangkaian detektor fasa

Sinyal masukan sensor kelembaban dan konduktivitas listrik adalah sinyal sinus dengan frekuensi 30 KHz, adapun sinyal keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik adalah sinyal sinus dengan frekuensi 30 KHz namun telah terjadi pergeseran fase. Besar kecilnya beda fasa antara sinyal masukan dan sinyal keluaran ditentukan oleh besar kecilnya impedansi pada tanah yang diukur. Kedua sinyal tersebut digunakan sebagai sinyal masukan suatu *phase comparator*, dimana sinyal keluaran *phase comparator* merupakan nilai beda fasa kedua sinyal tersebut.

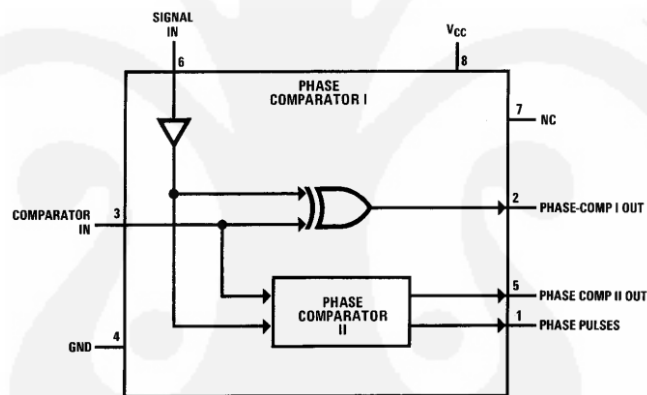
3.2 Komponen *Phase Comparator* yang digunakan Sebagai Detektor Fasa

Jenis *phase comparator* yang dianalisa terdiri dari 5 komponen yang diambil secara acak, yakni MM74C932, LM565, 74HC4046, MC4044, dan 74LS86.

3.2.1 Integrated Circuit MM74C932

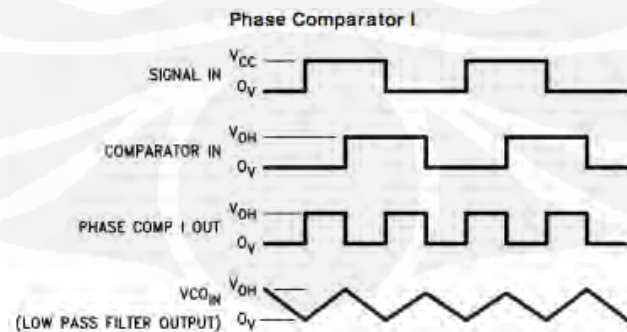
MM74C932 terdiri dari dua output *phase comparator circuit* yang masing – masing berdiri sendiri. Dua *phase comparator* memiliki sebuah *common signal input* dan sebuah *common comparator input*.

Phase Comparator I, adalah sebuah *exclusive-OR gate*, menyediakan sebuah data pergeseran / beda fasa yaitu antara signal input dengan comparator input (dengan 50% duty cycle) dengan memiliki ketelitian sebesar 90° *phase shifts*. *Phase comparator II* adalah sebuah *edge controlled digital memory network*. Phase comparator II menyediakan sebuah *output signal digital* (*Phase comparator II out*) dan sinyal *phase pulse* untuk mengindikasikan sebuah kondisi yang terkunci dimana pada saat sinyal pergeseran phase 0° antara *signal input* dan *comparator input*.



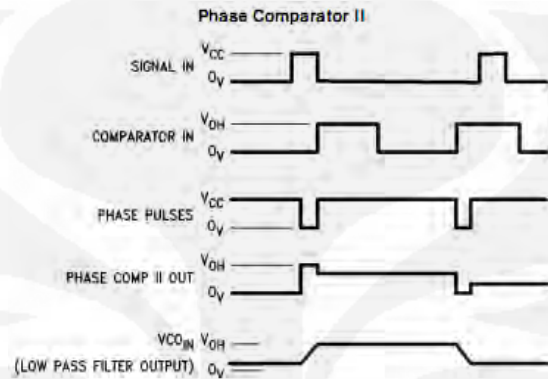
Gambar 3.2 Koneksi dan blok diagram MM74C932

Phase Comparator I sebuah gerbang eksklusif OR, berikut adalah timing diagram pada saat *phas comparator I* bekerja :



Gambar 3.3 Timing diagram pada saat *phase comparator I* bekerja

Phase Comparator II sebuah blok *phase comparator* dimana penulis tidak mengetahui rangkaian dari blok tersebut, berikut adalah timing diagram pada saat *phas comparator II* bekerja :

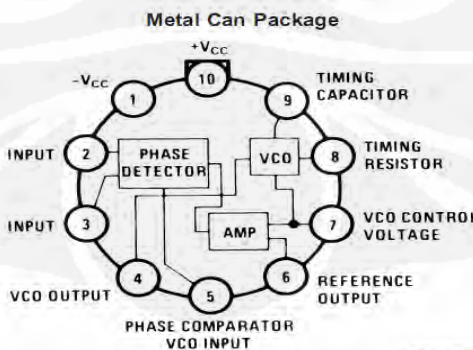


Gambar 3.4 Timing diagram pada saat *phase comparator II* bekerja

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai MM74C932 dapat dilihat pada *data sheet*.

3.2.2 Integrated Circuit LM565

LM565 adalah sebuah *integrated circuit* yang sangat umum, didalam LM565 terdapat sebuah modul *phase comparator*, modul *vco* dan sebuah *amplifier*, dimana masing-masing terpisah dari sistem PLL, pada penelitian ini penulis ingin memanfaatkan modul *phase comparator* yang digunakan sebagai detektor fasa, hanya saja keluaran dari modul *phase comparator* tidak dapat langsung dimonitoring, namun harus melalui modul *amplifier* terlebih dahulu, baru kemudian dapat dimonitor melalui pin 7. Berikut koneksi diagram dialam LM565:

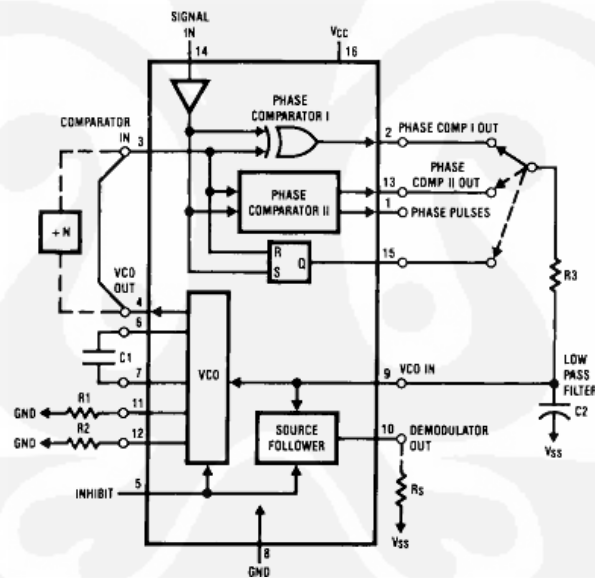


Gambar 3.5 Koneksi dan blok diagram LM565

Modul *Phase detector* memiliki dua buah *signal input*, dan sebuah *comparator input*, *signal input* pin 3 di groundkan, yang digunakan dalam sistem ini adalah *signal input* pin 2 digunakan sebagai masukan dari sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, sedangkan *comparator input* pin 5 digunakan sebagai masukan dari sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Untuk keterangan lebih lengkap mengenai LM565 dapat dilihat pada *data sheet*.

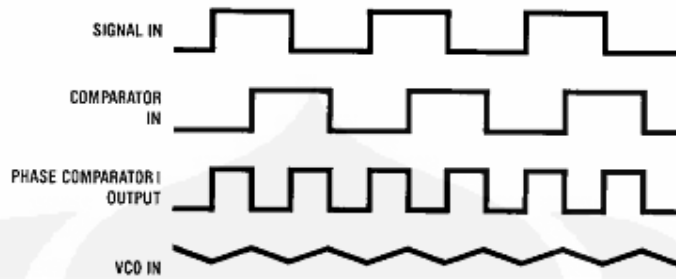
3.2.3 Integrated Circuit 74HC4046

74HC4046 adalah sebuah CMOS *phase lock loop* dengan power yang rendah, didalam 74HC4046 terdapat satu modul VCO, satu modul *source follower*, dan tiga buah *phase comparator* dengan satu *input signal* dan satu *input comparator*. Berikut koneksi dan diagram blok 74HC4046 :



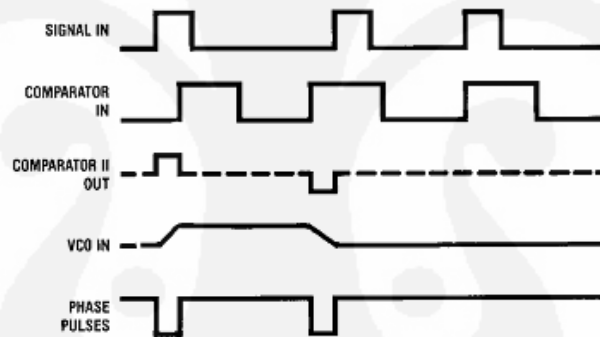
Gambar 3.6 Koneksi dan blok diagram 74HC4046

Phase Comparator I adalah sebuah gerbang *eksklusif OR*, yang dapat mendeteksi sampai 90^0 pergeseran fasa antara *input signal* dengan *input comparator* dengan 50% *duty cycle*. Dibawah ini adalah *timing diagram* pada saat *phase comparator I* bekerja, diasumsikan *signal in* fasanya mendahului *comparator in*.



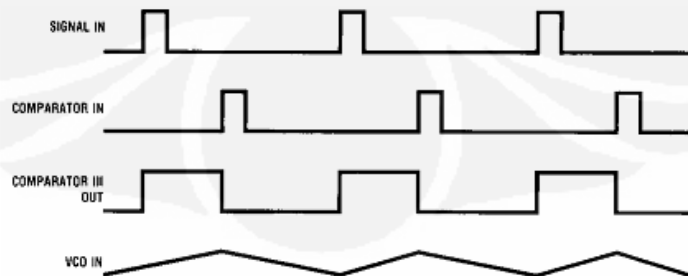
Gambar 3.7 Timing diagram pada saat *phase comparator I* bekerja

Phase comparator II sebuah *edge controlled digital memory network*. *Phase comparator II* menyediakan sebuah *output signal digital* (*Phase comparator II out*) dan sinyal *phase pulse* untuk mengindikasikan sebuah kondisi yang terkunci dimana pada saat sinyal pergeseran phase 0° antara *signal input* dan *comparator input*. *phase comparator*



Gambar 3.8 Timing diagram pada saat *phase comparator II* bekerja

Phase comparator III adalah sebuah gerbang RS flip - flop dengan kemampuan yang hampir sama dengan *phase comparator I*

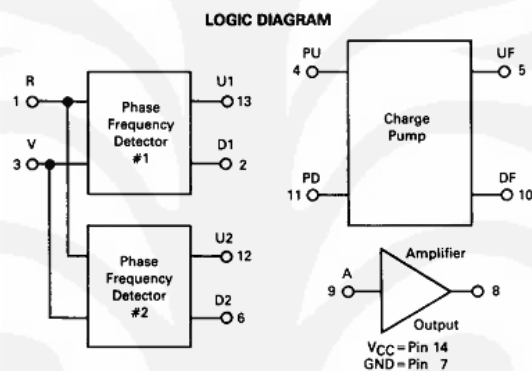


Gambar 3.9 Timing diagram pada saat *phase comparator III* bekerja

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai 74HC4046 dapat dilihat pada *data sheet*.

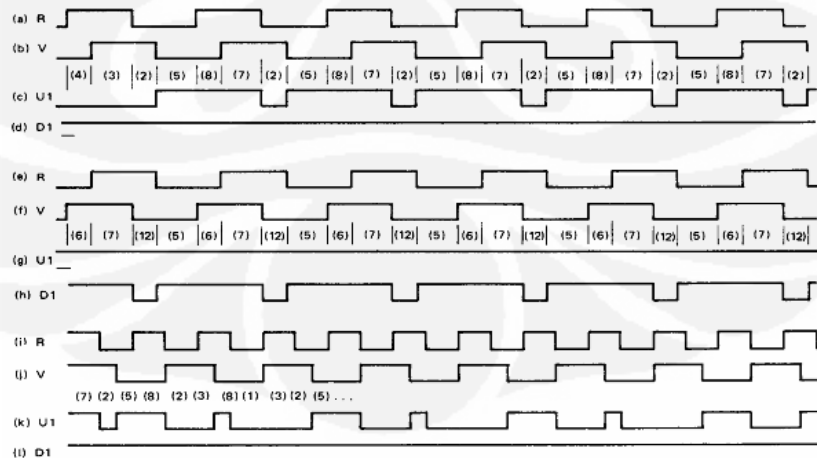
3.2.4 Integrated Circuit MC4044

MC4044 terdiri daridua buah modul *phase detector*, sebuah *charge pump*, dan sebuah amplifier, dalam kombinasi dengan sebuah tegangan kontrol *multivibrator*. MC4044 dapat digunakan untuk aplikasi *phase locked loop*. Dua buah modul *phase detector* yang tertanam didalam MC4044 memiliki satu *signal input* dan satu *comparator input*, berikut adalah koneksi dan diagram blok dari MC4044 :



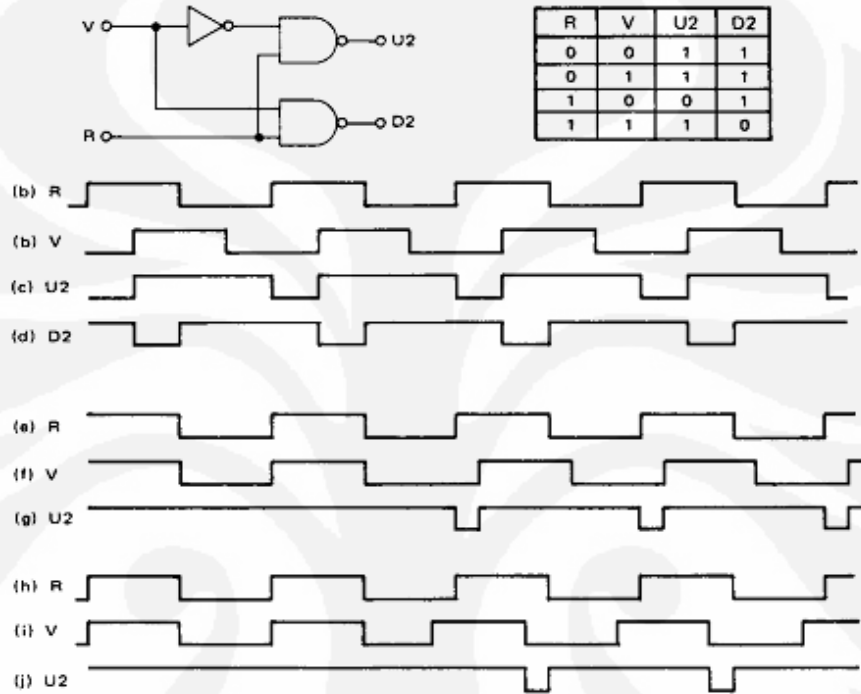
Gambar 3.10 Koneksi dan diagram blok MC4044

Phase detector I digunakan dalam sistem *zero frequency* dan *phase difference at lock*. *Timing diagram* pada saat *phase detector* I bekerja adalah sebagai berikut :



Gambar 3.11 *Timing diagram* pada saat *phase comparator* I bekerja

Phase comparator II digunakan jika *quadrature lock is desired*, juga digunakan untuk mengindikasi dalam loop tertutup yang digunakan *phase detector II* yang keluar dari kunci. Berikut adalah *timing diagram* pada saat *phase detector II* bekerja :



Gambar 3.12 *Timing diagram* pada saat *phase comparator II* bekerja

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai MC4044 dapat dilihat pada *data sheet*.

3.2.5 Integrated Circuit 74LS86

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,

$$Y = (A + B)(\overline{AB}) \quad (3.1)$$

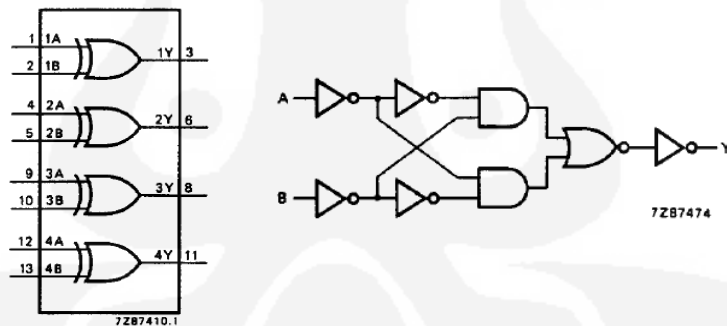
Dalam aplikasinya di rangkaian, *XOR Gate CMOS* berfungsi untuk mendapatkan sinyal keluaran dari dua sinyal input tegangan yang berbentuk pulsa. Salah satu *XOR gate CMOS* yang tersedia di pasaran dan sering digunakan dalam membuat suatu rancangan elektronika adalah 74HC/HCT86. CMOS ini adalah *Si-gate 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 3.13 Tabel fungsi XOR Gate CMOS

Keterangan:

L = Level tegangan rendah
H = Level tegangan tinggi



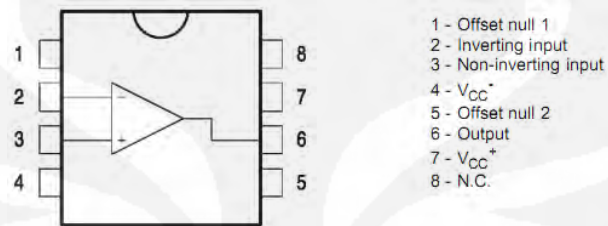
Gambar 3.14 Diagram fungsional dan digram logic XOR Gate CMOS

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai CMOS 74LS86 terdapat pada *data sheet*.

3.2.6 Operational Amplifier TL081

Operational amplifier adalah komponen utama yang digunakan didalam membuat rangkaian *zero crossing detector*. Dalam penelitian ini penulis menggunakan *operational amplifier* yang dipilih secara acak yaitu TL 081. TL 081

adalah sebuah *J-FET input single operational amplifier*, didalamnya terdapat J-FET dengan tegangan tinggi dan transistor bipolar yang tertanam didalam satu *integrated circuit*, TL081 memiliki nilai input bias yang rendah, *offset currents* rendah, dan *offset voltage temperature coefficient* yang rendah juga, dengan *slewrate* 13V/ μ s. Berikut koneksi dan blok diagram dari TL 081 :



Gambar 3.15 Koneksi dan blok diagram *operational amplifier* TL081

Untuk keterangan lebih lengkap mengenai TL081 dapat dilihat pada *data sheet*.

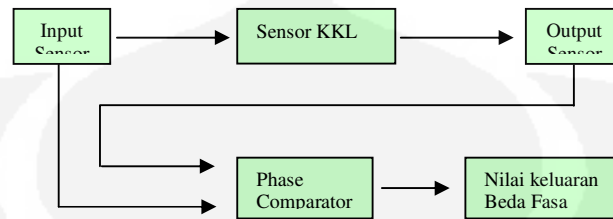
3.3 Metode Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Metode percobaan yang digunakan didalam penelitian ini ada dua macam metode, yaitu : metode percobaan tanpa menggunakan *zero crossing detector*, dan metode percobaan dengan menggunakan *zero crossing detector*. Metode percobaan tanpa menggunakan *zero crossing detector* digunakan sebagai implementasi dari ide awal rangkaian detektor fasa frekuensi rendah. Adapun kedua metode yang digunakan didalam penelitian ini diterapkan terhadap kelima komponen *integrated circuit phase comparator* yang dipilih secara acak, yaitu : MM74C932, LM565, 74HC4046, MC4044, dan 74LS86.

3.3.1 Rangkaian Detector Fasa Tanpa *Zero Crossing Detector*

Sama halnya dengan ide awal dari penelitian ini dimana sebuah IC *phase comparator* yang digunakan untuk detektor fasa sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dimana sinyal masukan dan sinyal keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang berbentuk gelombang sinus langsung di bandingkan didalam IC tersebut, dengan demikian pergeseran fasa antara sinyal masukan sensor dan sinyal keluaran sensor dapat di

ukur tanpa mengubah bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran sensor tersebut. Berikut blok diagram ide awal dari penelitian ini :

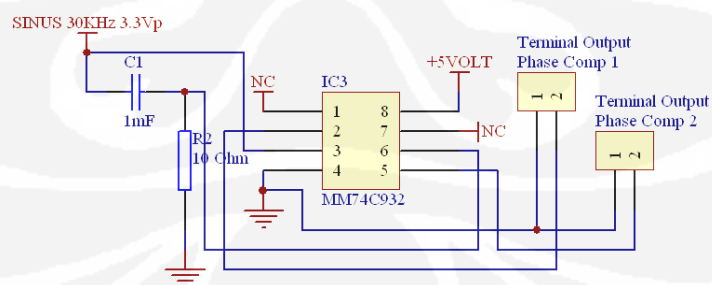


Gambar 3.16 Blok diagram ide awal rangkaian detektor fasa

Sinyal masukan sensor kelembaban dan konduktivitas listrik adalah sinyal sinus dengan frekuensi 30 KHz, adapun sinyal keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik adalah sinyal sinus dengan frekuensi 30 KHz namun telah terjadi pergeseran fase. Besar kecilnya beda fasa antara sinyal masukan dan sinyal keluaran ditentukan oleh besar kecilnya impedansi pada tanah yang diukur. Kedua sinyal tersebut digunakan sebagai sinyal masukan suatu *phase comparator*, dimana sinyal keluaran *phase comparator* merupakan nilai beda fasa kedua sinyal tersebut.

3.3.1.1 Rangkaian Detektor Fasa MM74C932 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa MM74C932 tanpa *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,



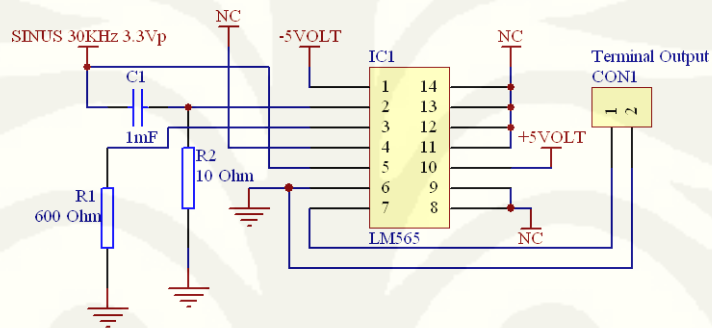
Gambar 3.17 Rangkaian detektor fasa MM74C932 tanpa *zero crossing detector*

Gambar rangkaian diatas menggunakan IC MM74C932 yang berfungsi sebagai detektor fasa, C1 dan R2 digunakan sebagi rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. 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 listrik. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi yang berbeda-beda untuk setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai konduktivitas listrik di dalam tanah.

3.3.1.2 Rangkaian Detektor Fasa LM 565 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa LM565 tanpa *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,

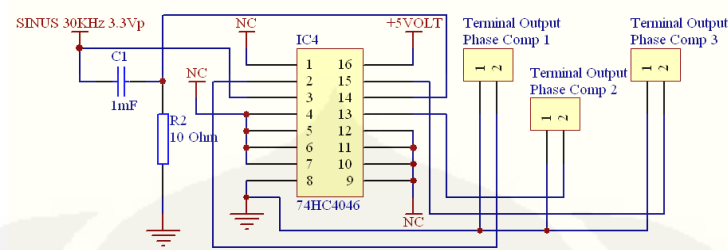


Gambar 3.18 Rangkaian detektor LM565 tanpa *zero crossing detector*

LM565 adalah IC *phase locked loop* dimana didalamnya terdapat modul *phase comparator* yang terpisah dari sistem PLL tersebut, didalam penelitian ini penulis ingin memanfaatkan modul *phase comparator* tersebut sebagai detektor fasa yang akan digunakan dalam sistem ini. Sama halnya dengan MM74C932 untuk LM565 juga digunakan sinyal sinus 30KHz dengan 3.3Vp sebagai sinyal masukan modul *phase comparator* didalam LM565, dimana sinyal sinus yang masuk pin 5 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, untuk sinyal sinus yang masuk pin 2 adalah sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Output dari modul *phase comparator* tidak dapat langsung di monitor, namun harus melalui modul amplifier dimana sinyal keluaran dapat di monitor melalui pin 7.

3.3.1.3 Rangkaian Detektor Fasa 74HC4046 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa 74HC4046 tanpa *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,

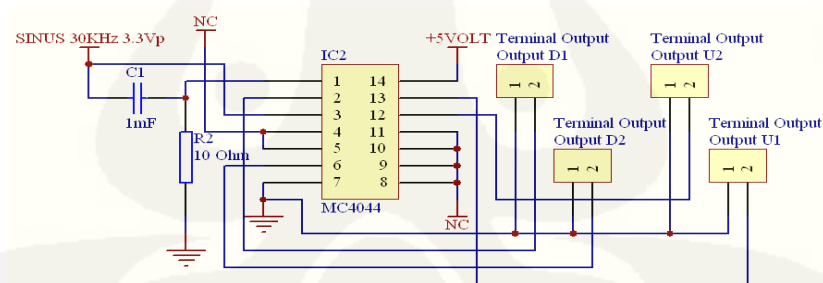


Gambar 3.19 Rangkaian detektor fasa 74HC4046 tanpa *zero crossing detector*

IC 74HC4046 adalah sebuah CMOS *phase lock loop*, dimana didalam IC ini terdapat 3 modul *phase comparator* yang terpisah dari sistem PLL tersebut. Dalam penelitian ini penulis ingin menggunakan 3 modul phase comparator yang tertanam dalam 74HC4046 sebagai detektor fasa yang digunakan untuk mengetahui beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dengan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.

3.3.1.4 Rangkaian Detektor Fasa MC4044 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa MC4044 tanpa *zero crossing detector* adalah sebagai berikut

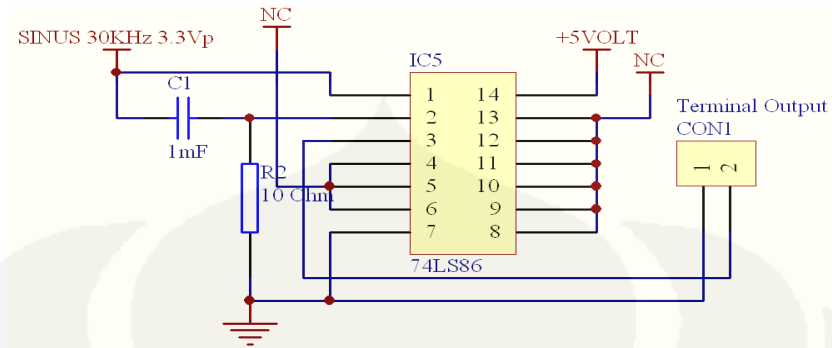


Gambar 3.20 Rangkaian detektor fasa MC4044 tanpa *zero crossing detector*

MC4044 adalah sebuah *phase frequency detector* dimana didalamnya terdapat 2 modul *phase frekuensi detektor*, didalam penelitian ini penulis ingin menggunakan 2 modul *phase frekuensi detektor* tersebut sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan sinus seperti pada gambar 3.20 diatas.

3.3.1.5 Rangkaian Detektor Fasa 74LS86 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa 74LS86 tanpa *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,

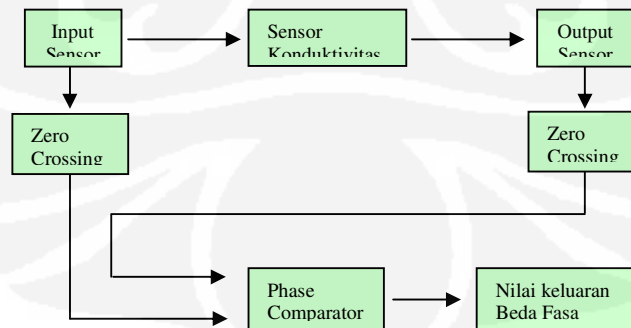


Gambar 3.21 Rangkaian detektor fasa 74LS86 tanpa *zero crossing detector*

74LS86 adalah sebuah gerbang *Eksklusif OR*, dimana penulis ingin mengetahui apakah 74LS86 dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan berbentuk sinus, rangkaian yang digunakan seperti pada gambar 3.21. 74LS86 terdapat empat buah gerbang *eksklusif OR* hanya saja pada penelitian ini penulis menggunakan 1 gerbang logika saja, dengan asumsi keempat gerbang *eksklusif OR* yang tertanam dalam 74LS86 adalah sama.

3.3.2 Rangkaian Detektor Fasa dengan *Zero Crossing Detector*

Metode yang kedua yang digunakan didalam penelitian ini adalah metode rangkaian detektor fasa dengan *zero crossing detector*, dimana sinyal masukan dan sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik tidak langsung masuk ke *phase comparator*, melainkan harus melewati *zero crossing detector*, keluaran dari *zero crossing detector* menjadi sinyal masukan untuk *phase comparator*, berikut blok diagram rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *zero crossing detector*.

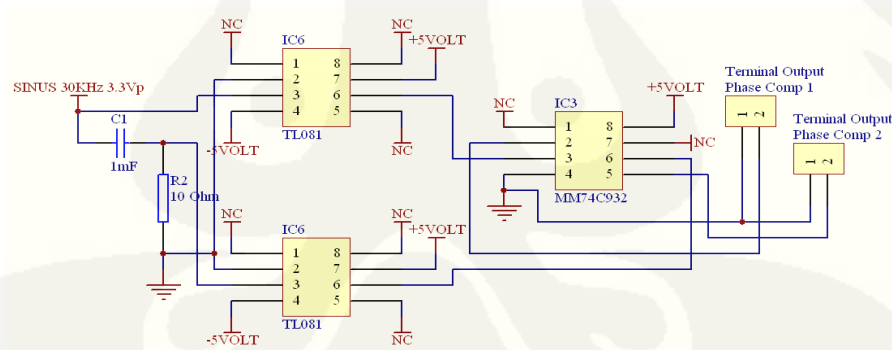


Gambar 3.22 Blok diagram rangkaian detektor fasa menggunakan *zero crossing detector*

Mengubah sinyal sinus menjadi sinyal kotak menggunakan *zero crossing detector* sangat dipengaruhi oleh kemampuan operasional amplifier yang dipakai. Semakin tinggi nilai slewrate yang digunakan semakin bagus didalam mengubah sinyal sinus menjadi sinyal kotak yang mendekati ideal, tentunya di dukung dengan bandwidth product yang lebar, sehingga operasional amplifier tahan terhadap noise dengan demikian sinyal keluaran yang dihasilkan akan lebih baik. Pada percobaan yang dilakukan pada lima buah ic *phase comparator* penulis hanya menggunakan operasional amplifier dengan nilai slewrate yang sangat kecil, hal ini yang menyebabkan sinyal kotak yang dihasilkan jauh dari ideal. Dengan demikian perlu dilakukan pemilihan jenis operasional amplifier yang cocok untuk rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, semakin mendekati ideal sinyal kotak yang dihasilkan maka sangat memudahkan kerja detektor fasa yang kemudian beda fasa antara kedua sinyal masukan detektor fasa juga dapat dibaca dengan mudah.

3.3.2.1 Rangkaian Detektor Fasa MM74C932 dengan *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa MM74C932 dengan *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,



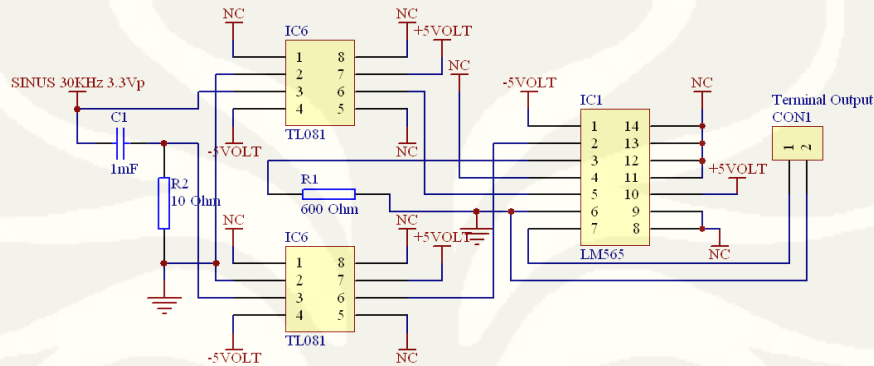
Gambar 3.23 Rangkaian detektor fasa MM74C932 dengan *zero crossing detector*

Sudah diketahui bahwa MM74C932 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa jika sinyal masukan yang digunakan berupa sinyal sinus, didalam penelitian ini penulis mencoba untuk menggunakan *zero crossing detector* sebagai pengubah sinyal sinus menjadi sinyal kotak / *square*, pemilihan metode *zero crossing detector* dibandingkan dengan *peak detector* berdasarkan penelitian yang

dilakukan saudara Ahmad Fauzi dimana *zero crossing detektor* memiliki nilai akurasi lebih baik dibandingkan metode *peak detektor*.

3.3.2.2 Rangkaian Detektor Fasa LM 565 dengan *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa LM565 dengan zero crossing detector adalah sebagai berikut,

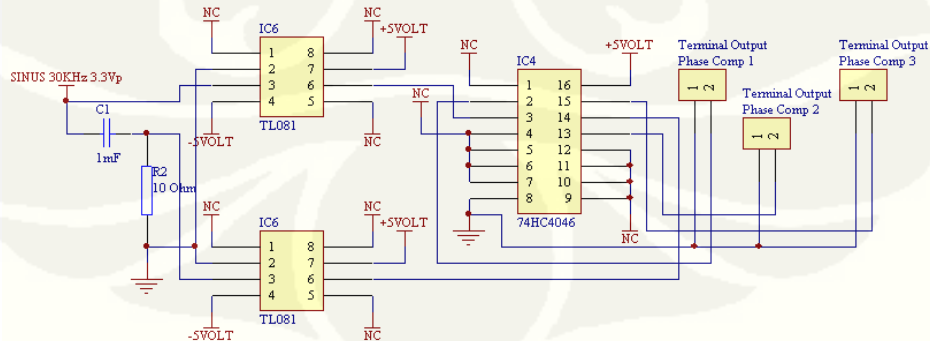


Gambar 3.24 Rangkaian detektor fasa LM565 dengan *zero crossing detector*

LM565 diketahui tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa jika sinyal masukan yang digunakan berupa sinyal sinus, dengan demikian penulis mencoba untuk mengubah bentuk sinyal masukan dari sinyal sinus menjadi sinyal kotak dengan *zero crossing detector*.

3.3.2.3 Rangkaian Detektor Fasa 74HC4046 dengan *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa 74HC4046 dengan *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,

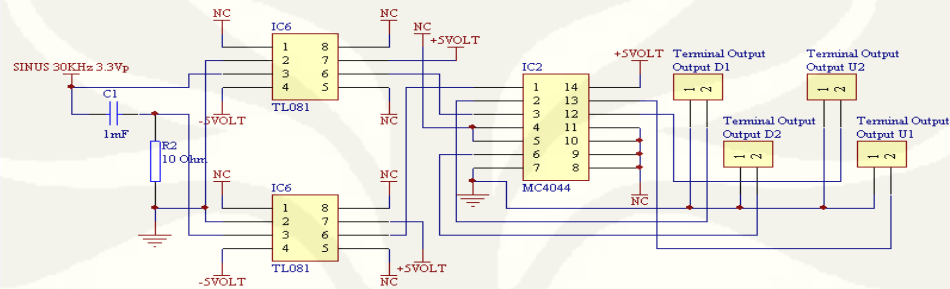


Gambar 3.25 Rangkaian detektor fasa 74HC4046 dengan *zero crossing detector*

74HC4046 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa jika menggunakan sinyal masukan berbentuk sinus, dengan demikian penulis mencoba menggunakan TL 081 sebagai *zero crossing detector* untuk mengubah sinyal masukan berbentuk sinus menjadi sinyal masukan berbentuk kotak.

3.3.2.4 Rangkaian Detektor Fasa MC4044 dengan *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa MC4044 dengan *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,

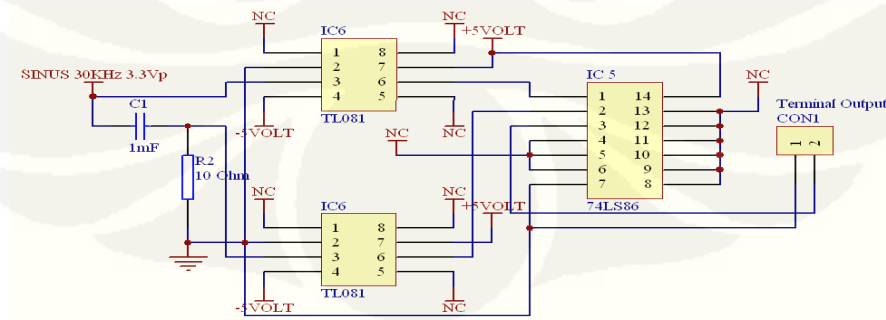


Gambar 3.26 Rangkaian detektor fasa MC4044 dengan zero crossing detector

Seperti yang telah dijelaskan diatas diketahui bahwa MC4044 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan sinus, dengan demikian penulis mencoba mengubah sinyal masukan sinus menjadi sinyal masukan kotak dengan menggunakan TL081 sebagai *zero crossing detector* seperti pada gambar 3.26.

3.3.2.5 Rangkaian Detektor Fasa 74LS86 dengan *Zero Crossing Detector*

Gambar rangkaian detektor fasa 74LS86 dengan *zero crossing detector* adalah sebagai berikut,



Gambar 3.27 Rangkaian detektor fasa 74LS86 dengan zero crossing detector

Berdasarkan hasil percobaan untuk LM565, 74HC4046, MM74C932, dan MC4044 diketahui bahwa modul *phase comparator* yang tertanam pada setiap IC yang diuji memiliki hasil yang berbeda – beda, hanya saja pada IC 74HC4046 dan MM74C932 terdapat kesamaan dimana didalam IC tersebut terdapat modul phase comparator yang berbentuk gerbang *eksklusif OR* yang sinyal keluaran dari masing – masing *phase comparator* tersebut dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan IC tersebut dengan sinyal masukan berbentuk kotak. Oleh karena itu penulis ingin melakukan percobaan sebuah IC CMOS digital standart dimana dalam penggunaannya bukan sebagai phase comparator melainkan sebagai gerbang logika biasa seperti pada gambar 3.27.

3.4 Hasil Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Hasil percobaan dari rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, dapat di kelompokkan menjadi dua, yaitu : hasil percobaan rangkaian detektor fasa tanpa *zero crossing detector*, dan hasil percobaan rangkaian detektor fasa dengan *zero crossing detector*. Adapun pengambilan data dilakukan dengan metode visual, karena dengan metode pengambilan data secara visual sudah dapat diketahui informasi mengenai dapat atau tidak sebuah *integrated circuit* merepresentasikan pergeseran fasa / beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dengan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.

Tabel 3.1 Hasil percobaan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah

No	Komponen	Tanpa ZCD	Dengan ZCD
1	MM74C932		
	- Phase Comparator 1	Fail	Pass
2	- Phase Comparator 2	Fail	Fail
	LM565		
3	- Phase Comparator 1	Fail	Fail
	74HC4046		
4	- Phase Comparator 1	Fail	Pass
	- Phase Comparator 2	Fail	Fail
	- Phase Comparator 3	Fail	Fail
	MC4044		
5	- Phase Comparator 1 U1	Fail	Fail
	- Phase Comparator 1 D1	Fail	Fail
	- Phase Comparator 2 U2	Fail	Fail
	- Phase Comparator 2 D2	Fail	Fail
5	74LS86		
	- Phase Comparator 1	Fail	Pass

Ket : ZCD adalah *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan tabel 3.1 dapat diketahui kelima *integrated circuit* tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan berbentuk sinus (tanpa *zero crossing detector*), dengan menggunakan *zero crossing detector* tidak semua *integrated circuit* dapat digunakan sebagai detektor fasa frekuensi rendah, dimana masing – masing *integrated circuit* tertanam modul *phase comparator* yang berbeda-beda, untuk informasi lebih lengkap pada datasheet masing – masing *integrated circuit* di lembar lampiran. Apabila *phase comparator* dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dengan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, maka kotak akan dicetak abu-abu, sedangkan jika tidak memenuhi kotak akan tetap putih.

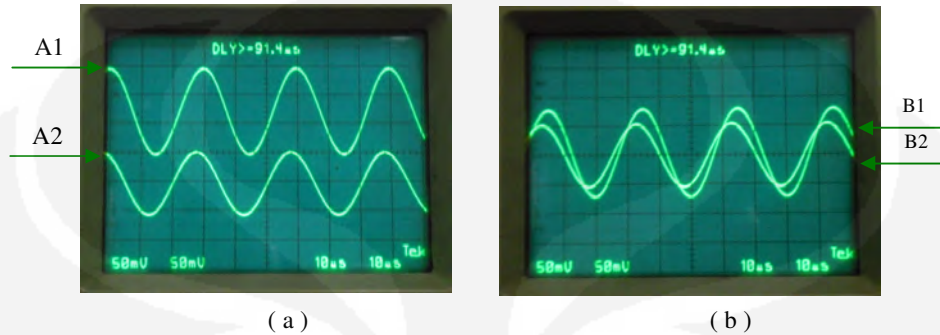
Sinyal keluaran MM74C932 *phase comparator* 1 , 74HC4046 *phase comparator* 1, dan 74LS86 dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dengan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Ketiga *phase comparator* dari masing – masing *integrated circuit* diatas (MM74C932, 74HC4046, 74LS86) adalah *phase comparator* yang menggunakan gerbang logika *eksklusif* OR. Untuk Sinyal keluaran LM565 juga dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara sinyal masukan dan sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, hanya saja LM565 membebani sinyal keluaran dari *zero crossing detector*, sehingga amplitude sinyal keluaran dari LM565 menjadi kecil, hal ini tidak sesuai dengan teori bahwa *amplitude* sinyal keluaran dari *phase comparator* tidak dipengaruhi oleh *amplitude* sinyal masukan [8]. Informasi dari *phase comparator* yang tertanam didalam LM 565 tidak terlalu detil, didalam datasheet hanya digambarkan sebuah diagram blok *phase comparator*, untuk informasi lebih lengkap pada datasheet LM565 yang dapat dilihat pada lembar lampiran.

3.4.1 Percobaan Rangkaian Detektor Fasa Tanpa *Zero Crossing Detector*

Seperti yang telah dijelaskan diatas rangkaian detektor fasa frekuensi rendah tanpa *zero crossing detector* digunakan untuk kelima komponen *integrated circuit phase comparator* seperti pada bab 3.3.1

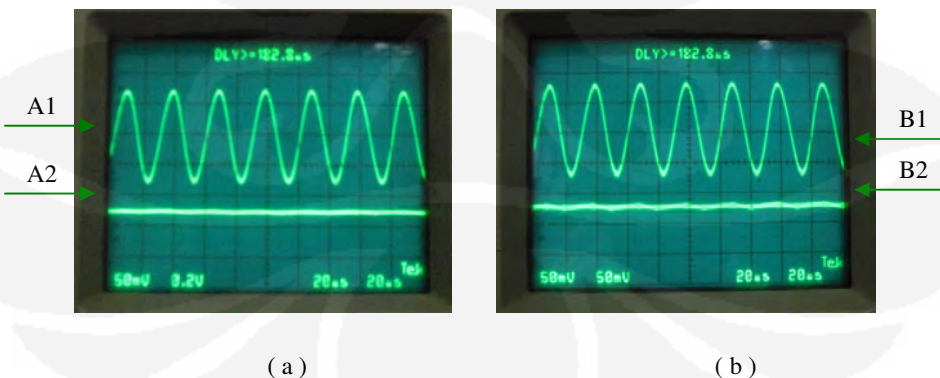
3.4.1.1 Hasil Percobaan MM74C932 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.17, dilakukan pengamatan sinyal dengan *oscilloscope* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.28 Hasil pengamatan sinyal masukan MM74C932 dengan *oscilloscope* (a dan b) Sinyal masukan MM74C932

Sinyal masukan MM74C932 adalah sinyal sinus 30KHz dengan Amplitude 3,3 V_{peak}. Gambar 3.28 (a dan b) sinyal A1 dan B1 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik merupakan sinyal masukan pin 3 MM74C932, gambar sinyal A2 dan B2 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik merupakan sinyal masukan pin 6 MM74C932. Didalam MM74C932 terdapat dua buah *phase comparator*, dimana masing – masing memiliki keluaran sendiri, berikut adalah hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* :

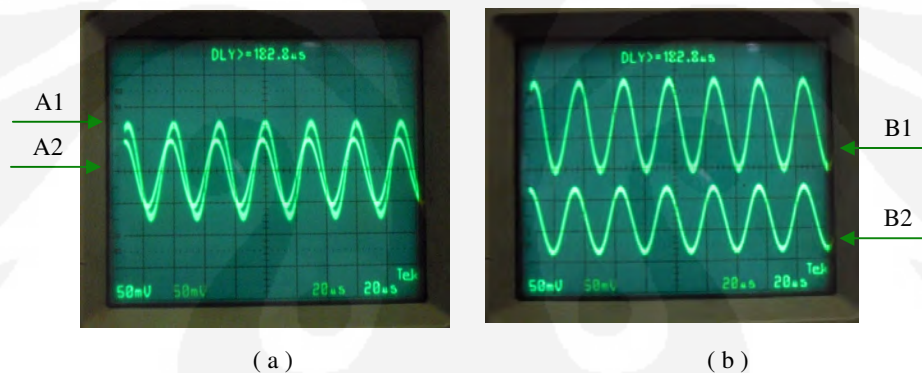


Gambar 3.29 Hasil pengamatan sinyal keluaran MM74C932 dengan *oscilloscope* (a) *Phase comparator* 1 (b) *Phase comparator* 2

Gambar 3.29 (a) dan (b) sinyal A1 dan B1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 dan B2 adalah dua buah sinyal keluaran MM74C932 pada pin 2 dan pin 5, dengan 0.2V/div dan 50mV/div. Dengan dua buah sinyal masukan sinus 30Khz 3.3 Vp, dihasilkan sinyal keluaran seperti gambar 3.29 dimana kedua sinyal keluaran sama sekali tidak merepresentasikan pergeseran atau beda fasa antara kedua sinyal masukan MM74C932, dengan demikian dapat diketahui bahwa IC MM74C932 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa jika menggunakan sinyal masukan berbentuk gelombang sinus.

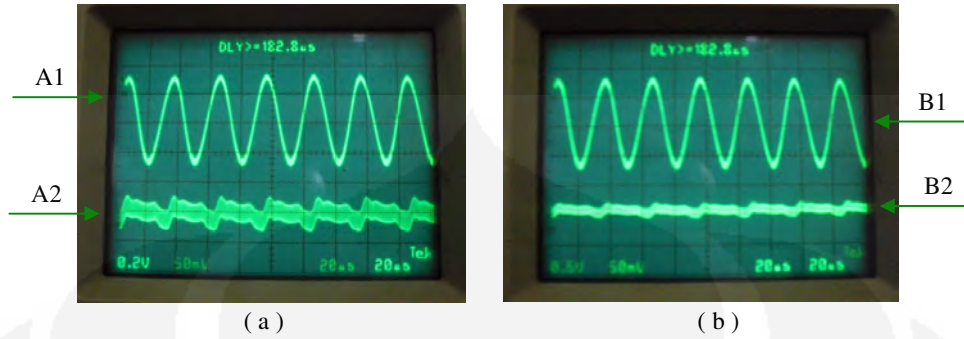
3.4.1.2 Hasil Percobaan LM565 Tanpa Zero Crossing Detector

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.18, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut :



Gambar 3.30 Hasil pengamatan sinyal masukan LM565 dengan *oscilloscope* (a dan b) Sinyal masukan LM565

Sinyal masukan LM565 adalah sinyal sinus 30KHz dengan Amplitude 3,3 Vpeak. Gambar 3.30 (a dan b) sinyal A1 dan B1 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik merupakan sinyal pin 5 LM565, gambar sinyal A2 dan B2 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik merupakan input pin 2 LM565. Adapun sinyal keluaran dari LM565 dapat di monitor melalui pin 7, Hasil pengamatan sinyal dengan *oscilloscope* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.31 Hasil pengamatan sinyal keluaran LM565 dengan *oscilloscope*

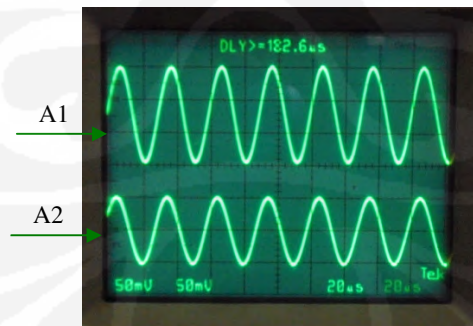
(a) Sinyal keluaran LM565 dengan 0.2V/div

(b) sinyal keluaran LM565 dengan 0.5V/div

Gambar 3.31 adalah sinyal A1 dan B1 merupakan sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 dan B2 adalah sinyal keluaran dari modul *phase comparator* yang terdapat didalam LM565 dengan 0.2V/div dan 0.5V/div menggunakan 20µs/div. Berdasarkan gambar 3.31 sinyal keluaran LM565 tersebut tidak merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan LM565 yang berbentuk sinus. Dengan demikian dapat diketahui bahwa LM565 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan gelombang sinus.

3.4.1.3 Hasil Percobaan 74HC4046 Tanpa *Zero Crossing Detector*

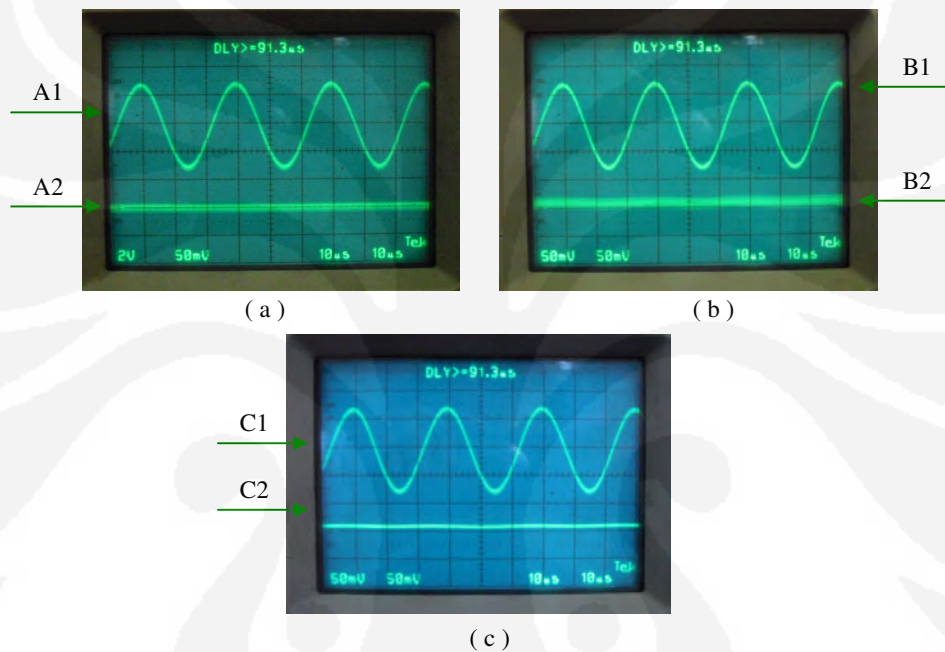
Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.19, dilakukan pengamatan sinyal dengan *oscilloscope* adalah sebagai berikut,



Gambar 3.32 Hasil pengamatan sinyal masukan 74HC4046 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan 74HC4046 dalam penelitian ini adalah berupa sinyal sinus, hal ini dilakukan untuk mengetahui 74HC4046 dapat atau tidak dapat

digunakan sebagai detektor fasa, yaitu dapat merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua input masukan 74HC4046, dengan sinyal masukan berbentuk sinus. Gambar 3.32 sinyal A1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Hasil pengamatan sinyal keluaran 74HC4046 dengan *oscilloscope* adalah sebagai berikut :

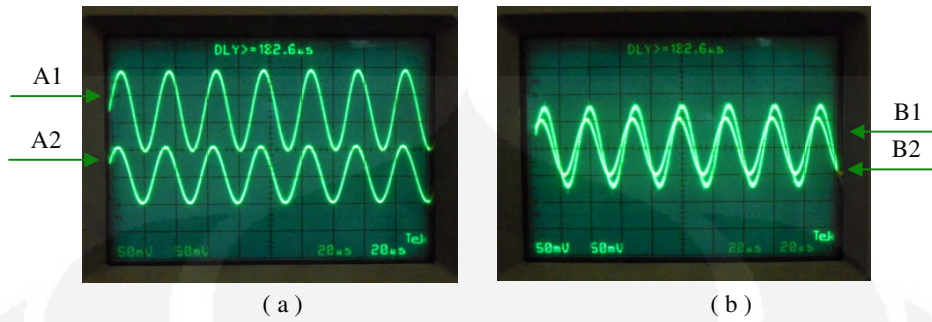


Gambar 3.33 Hasil pengamatan sinyal keluaran 74HC4046 dengan *oscilloscope*
 (a) Phase comparator 1, (b) Phase comparator 2, (c) Phase comparator 3

Sinyal keluaran 74HC4046 pada gambar 3.33 gambar sinyal A1, B1, dan C1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2, B2, dan C2 adalah sinyal keluaran 74HC4046 dengan sinyal masukan berbentuk sinus. Berdasarkan gambar 3.33 sinyal keluaran dari ketiga modul phase comparator yang tertanam didalam 74HC4046 tidak merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua masukan 74HC4046, dengan sinyal masukan sinus.

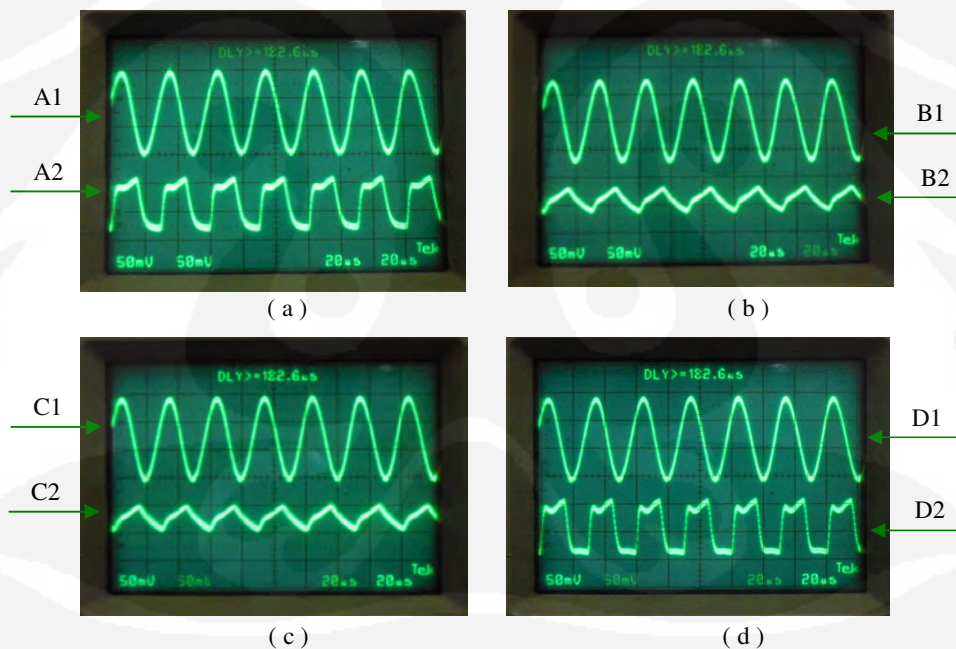
3.4.1.4 Hasil Percobaan MC4044 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.20, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.34 Hasil pengamatan sinyal masukan MC4044 dengan *oscilloscope*

Gambar 3.34 sinyal A1 dan B1 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 dan B2 adalah sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Kedua sinyal masukan digunakan division sama dengan 50mV/div dan 20 μ s/div.



Gambar 3.35 Hasil pengamatan sinyal keluaran MC4044 dengan *oscilloscope*

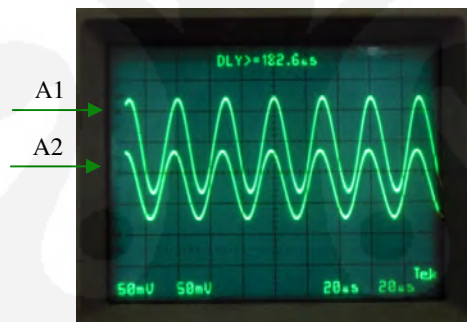
(a) *Phase detector 1 U1* (b) *Phase detector 1 D1*
 (c) *Phase detector 2 U2* (d) *Phase detector 2 D2*

Sinyal keluaran MC4044 seperti gambar 3.35 masing – masing terdiri dari dua gambar sinyal. Gambar sinyal A1, B1, C1, dan D1 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal

A2, B2, C2, dan D2 adalah sinyal keluaran dari masing – masing *phase detektor* yang tertanam didalam MC 40044. Sinyal keluaran *phase detektor 1* seperti gambar 3.35 (a) tidak dapat merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua sinyal masukan MC4044 yang berbentuk sinus, *phase detektor 1* adalah sebuah blok *phase detektor* dimana didalamnya tersusun dari beberapa gerbang digital. Sinyal keluaran *phase detektor 2* seperti gambar 3.35 (b) tidak dapat merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua sinyal masukan MC4044 yang berbentuk sinus, *phase detektor 2* terdiri dari beberapa gerbang logika yang membentuk gerbang eksklusif OR. Berdasarkan gambar 3.35 dapat diketahui MC4044 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa baik untuk *phase detektor 1* atau *phase detektor 2* dengan menggunakan sinyal masukan berbentuk sinus.

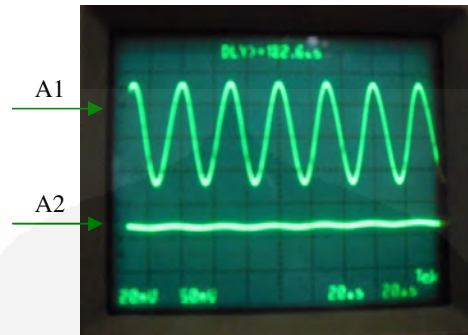
3.4.1.5 Hasil Percobaan 74LS86 Tanpa *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.21, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.36 Hasil pengamatan sinyal masukan 74LS86 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan yang digunakan pada 74LS86 adalah sinyal sinus 30Khz dengan $3.3V_p$, gambar sinyal terlihat jauh lebih kecil dibandingkan *amplitude* sinyal masukan yang digunakan hal ini disebabkan sinyal masukan dari signal generator terbebani oleh rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Gambar 3.36 sinyal A1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal B1 adalah sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dimana kedua sinyal tersebut dimonitor pada $50mV/div$ dan $20\mu s/div$. Berikut hasil pengamatan sinyal keluaran 74LS86 dengan menggunakan *oscilloscope* :



Gambar 3.37 Hasil pengamatan sinyal keluaran 74LS86 dengan *oscilloscope*

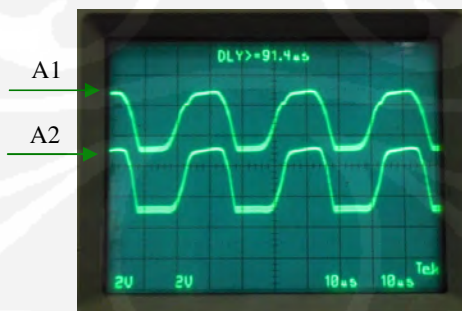
Gambar 3.37 sinyal A1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah sinyal keluaran 74LS86 dengan sinyal masukan berbentuk sinus. Berdasarkan gambar 3.37 sinyal keluaran 74LS86 tidak merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan 74LS86 yang berbentuk sinus, dengan demikian dapat diketahui 74LS86 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan sinyal masukan berbentuk sinus.

3.4.2 Percobaan Rangkaian Detektor Fasa dengan *Zero Crossing Detector*

Seperti yang telah dijelaskan diatas rangkaian detektor fasa frekuensi rendah dengan *zero crossing detector* digunakan untuk kelima komponen *integrated circuit phase comparator* seperti pada bab 3.3.2

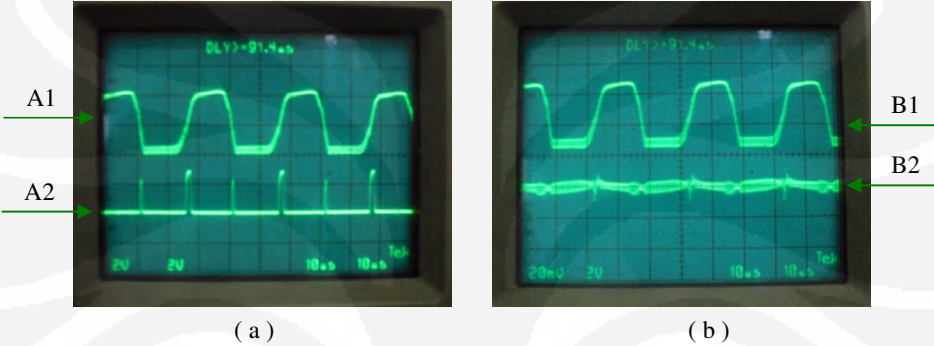
3.4.2.1 Hasil Percobaan MM74C932 dengan *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.23, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut :



Gambar 3.38 Hasil pengamatan sinyal masukan MM74C932 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan MM74C932 adalah sinyal sinus yang sudah diubah menjadi sinyal kotak oleh Op-Amp TL081. Sinyal keluaran dari TL081 tidak berbentuk kotak ideal, hal ini disebabkan nilai slewrate dari IC TL081 sangat kecil yaitu 13V/ μ s. Gambar 3.38 sinyal A1 adalah sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, sedangkan untuk gambar sinyal A2 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.

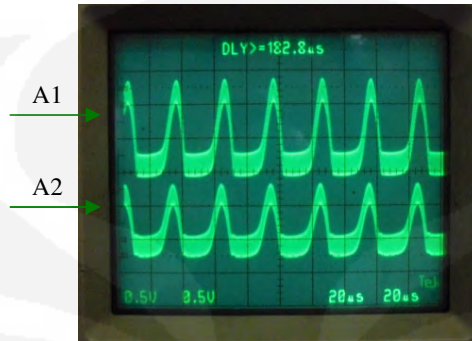


Gambar 3.39 Hasil pengamatan sinyal keluaran MM74C932 dengan *oscilloscope*
(a) *Phase comparator 1* (b) *Phase comparator 2*

Didalam IC MM74C932 terdapat dua buah *phase comparator*, *phase comparator 1* berupa sebuah gerbang logika *eksklusif OR*, dengan sinyal keluaran pada gambar 3.39 (a) sinyal A1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah dengan 2V/div dan 10 μ s/div. Untuk *phase comparator 2* berupa sebuah blok *comparator* dimana penulis tidak mengetahui rangkaian didalam blok tersebut, dengan sinyal keluaran pada gambar 3.39 (b) sinyal B1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal B2 adalah sinyal keluaran dengan 20mV/div dan 10 μ s/div. Berdasarkan gambar 3.39 diketahui bahwa sinyal keluaran *phase comparator 1* dapat merepresentasikan pergeseran fasa dari dua sinyal masukan MM74C932, sedangkan untuk sinyal keluaran *phase comparator 2* tidak merepresentasikan pergeseran fasa dari dua sinyal masukan MM74C932. Dengan demikian dapat diketahui MM74C932 dapat digunakan sebagai *detector fasa* jika sinyal masukan yang digunakan berupa sinyal kotak, dalam hal ini menggunakan *phase comparator 1* yang tertanam didalam MM74C932.

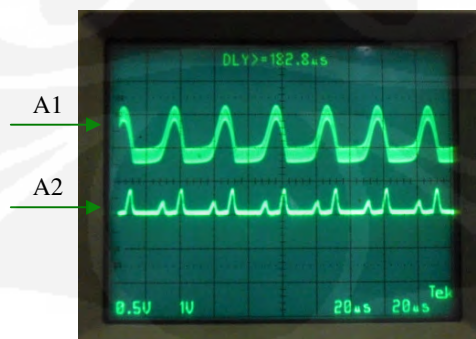
3.4.2.2 Hasil Percobaan LM565 dengan *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.24, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.40 Hasil pengamatan sinyal masukan LM565 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan LM565 adalah sinyal sinus yang sudah diubah menjadi sinyal kotak oleh Op-Amp TL081. Sinyal keluaran dari TL081 tidak berbentuk kotak ideal, hal ini disebabkan nilai slewrate dari IC TL081 sangat kecil yaitu $13\text{V}/\mu\text{s}$. Gambar 3.40 sinyal A1 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, sedangkan untuk gambar sinyal A2 adalah sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Selain nilai slewrate yang kecil bentuk sinyal masukan LM565 juga terbebani oleh IC LM565 itu sendiri, oleh karena itu bentuk sinyal masukan tidak sama dengan sinyal masukan yang digunakan pada phase comparator yang lain. Sinyal keluaran dari LM565 dapat dimonitoring melalui pin7, hasil pengamatan sinyal dengan *oscilloscope* adalah sebagai berikut :

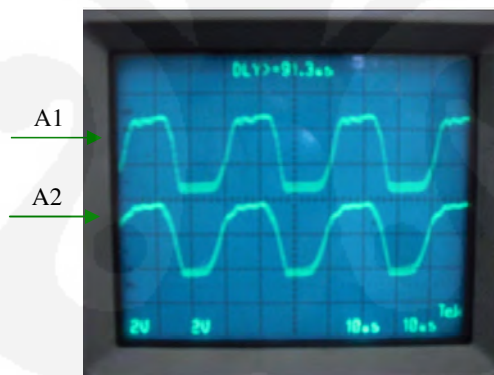


Gambar 3.41 Hasil pengamatan sinyal keluaran LM565 dengan *oscilloscope*

Sinyal keluaran yang ditampilkan pada gambar 3.40 sinyal A1 adalah masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah sinyal keluaran LM565 dengan $0.5V/div$ dan $20\mu s/div$. Berdasarkan gambar 3.41 sinyal keluaran LM565 dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan LM565 dengan sinyal masukan berbentuk kotak, hanya saja tidak dapat maksimal karena sinyal masukan LM565 yang terbebani, hal ini menyebabkan bentuk sinyal masukan LM565 menjadi lebih jauh dari ideal, dengan demikian keakuratan pergeseran / beda fasa yang terbaca menjadi berkurang.

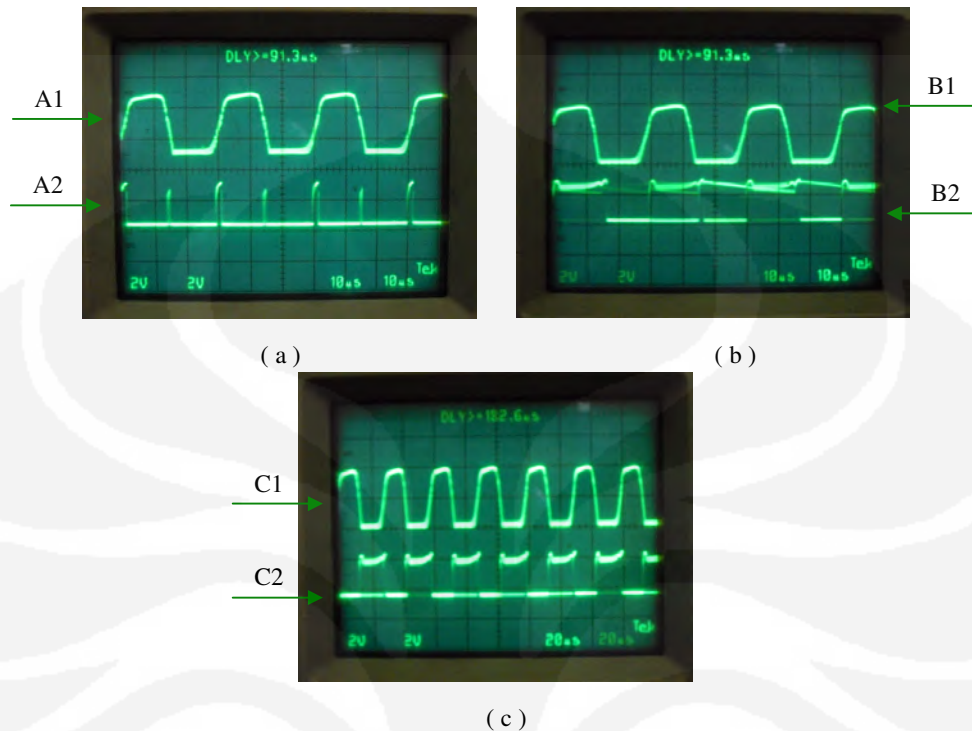
3.4.2.3 Hasil Percobaan 74HC4046 dengan *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.25, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.42 Hasil pengamatan sinyal masukan 74HC4046 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan 74HC4046 pada gambar 3.42 terdiri dari dua buah sinyal, dimana gambar sinyal A1 adalah sinyal masukan 74HC4046 dari keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah sinyal masukan 74HC4046 dari masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Kedua sinyal masukan tersebut di monitor dengan $2V/div$ dan $10\mu s/div$.



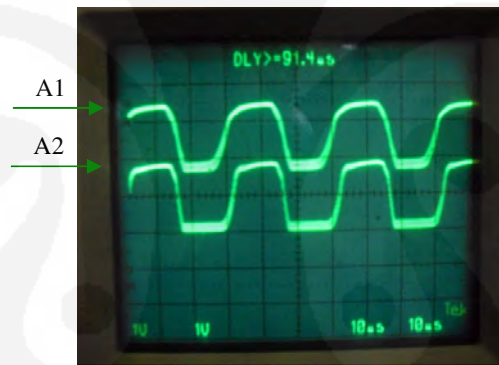
Gambar 3.43 Hasil pengamatan sinyal keluaran 74HC4046 dengan *oscilloscope*
 (a) Phase comp 1, (b) Phase comp 2, (c) phase comp 3

Sinyal keluaran 74HC4046 terdiri dari 3 macam, dikarenakan didalam 74HC4046 tertanam 3 modul *phase comparator* yang masing – masing terpisah dari sistem PLL tersebut. Gambar 3.43 masing – masing terdiri dari dua gambar sinyal, dimana gambar sinyal A1, B1 dan C1 adalah sinyal masukan 74HC4046 yaitu sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2, B2 dan C2 adalah sinyal keluaran dari masing – masing *phase comparator* yang tertanam didalam 74HC4046. Berdasarkan gambar sinyal keluaran *phase comparator* 1 seperti pada gambar 3.43 (a) dapat merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua masukan 74HC4046 dengan sinyal masukan berbentuk kotak, *phase comparator* 1 ini adalah sebuah gerbang eksklusif OR. Sinyal keluaran *phase comparator* 2 seperti pada gambar 3.43 (b) tidak merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua masukan 74HC4046 dengan sinyal masukan berbentuk kotak, *phase comparator* 2 adalah sebuah blok *phase comparator* dalam hal ini penulis tidak mengetahui isi blok tersebut, namun blok tersebut merupakan *phase comparator* yang tertanam

dalam 74HC4046. Berdasarkan gambar sinyal keluaran *phase comparator 3* seperti pada gambar 3.43 (c) tidak merepresentasikan pergeseran fasa antara kedua masukan 74HC4046 dengan sinyal masukan berbentuk kotak, *phase comparator 3* adalah sebuah RS flip – flop digital yang digunakan sebagai detector fasa didalam 74HC4046. Dengan demikian dapat diketahui 74HC4046 dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan *phase comparator 1* dan dengan sinyal masukan berbentuk kotak, 74HC4046 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan *phase comparator 2* dan *phase comparator 3* walaupun sinyal masukan berbentuk kotak.

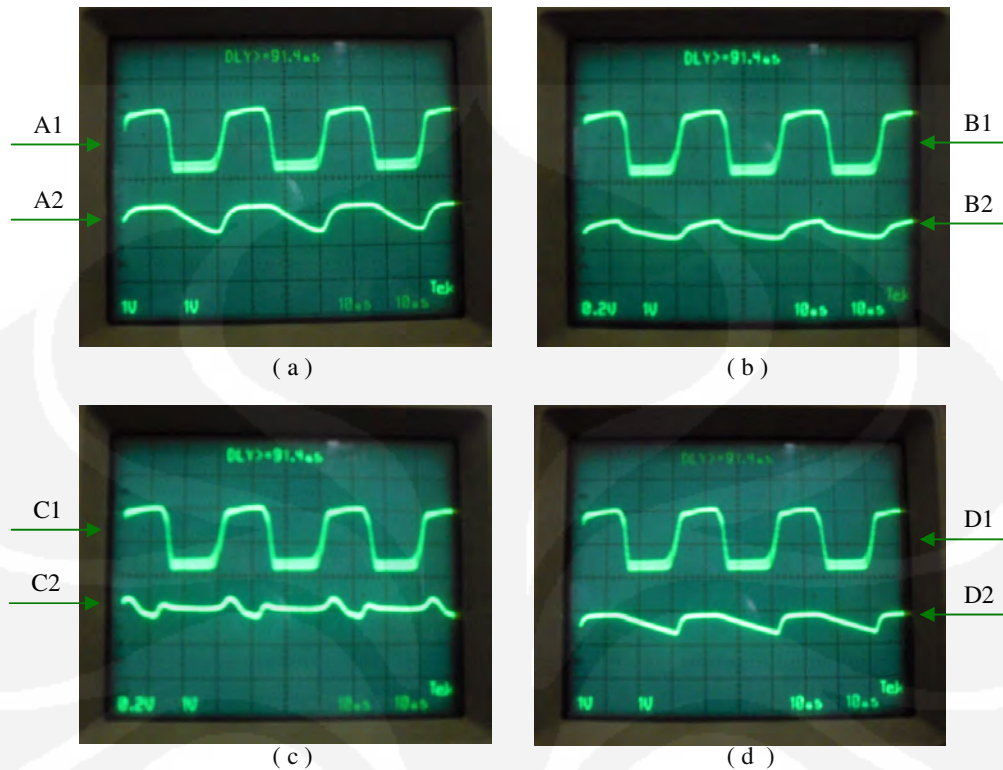
3.4.2.4 Hasil Percobaan MC4044 dengan *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.26, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.44 Hasil pengamatan sinyal masukan MC4044 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan MC4044 seperti pada gambar 3.44 memiliki dua gambar sinyal, dimana gambar sinyal A1 adalah sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 adalah sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Kedua sinyal masukan diatas sudah diubah dalam bentuk kotak, hanya saja tidak dapat mendekati sinyal kotak ideal, hal ini disebabkan nilai slewrate TL081 yang kecil yaitu $13\text{v}/\mu\text{s}$. Berikut pengamatan sinyal keluaran MC4044 :



Gambar 3.45 Hasil pengamatan sinyal keluaran MC4044 dengan *oscilloscope*
 (a) *Phase detector* 1 U1, (b) *Phase frekuensi detector* 1 D1
 (c) *Phase detector* 2 U2, (d) *Phase frekuensi detector* 2 D2

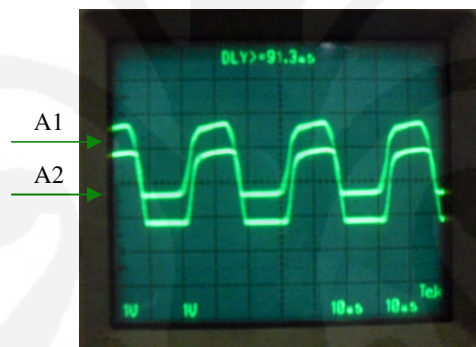
Seperti yang dijelaskan diatas MC4044 memiliki dua buah *phase detector* dimana masing – masing *phase detector* memiliki dua sinyal keluaran, untuk *phase detektor* 1 memiliki sinyal keluaran U1 dan D1, untuk *phase detektor* 2 memiliki sinyal keluaran U2 dan D2. Pada gambar 3.45 terdapat 4 gambar sinyal keluaran masing – masing memiliki dua gambar sinyal, dimana gambar sinyal A1, B1, C1 dan D1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2, B2, C2 dan D2 adalah sinyal keluaran dari masing – masing *phase detector* yang tertanam pada MC4044. Berdasarkan gambar 3.45 keempat sinyal keluaran *phase detector* yang tertanam pada MC4044 tidak merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan MC4044 yang berbentuk kotak, dengan demikian diketahui bahwa MC4044 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa walaupun menggunakan sinyal masukan kotak.

Seperti yang telah di jelaskan diatas, bahwa sebagian besar *phase comparator* yang terdiri dari gerbang eksklusif OR, sinyal keluarannya dapat

merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan *phase comparator* tersebut, MC4044 juga mempunyai *phase frekuensi detector* yang terdiri dari gerbang eksklusif OR, hanya saja sinyal keluaran yang dihasilkan tetap tidak merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan MC4044. Hal ini disebabkan oleh daerah frekuensi kerja MC4044 pada frekuensi 8MHz, dengan demikian semua sinyal dibawah 80 MHz tidak dapat diolah MC4044. Dengan demikian MC4044 juga tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa pada frekuensi kerja 30 KHz.

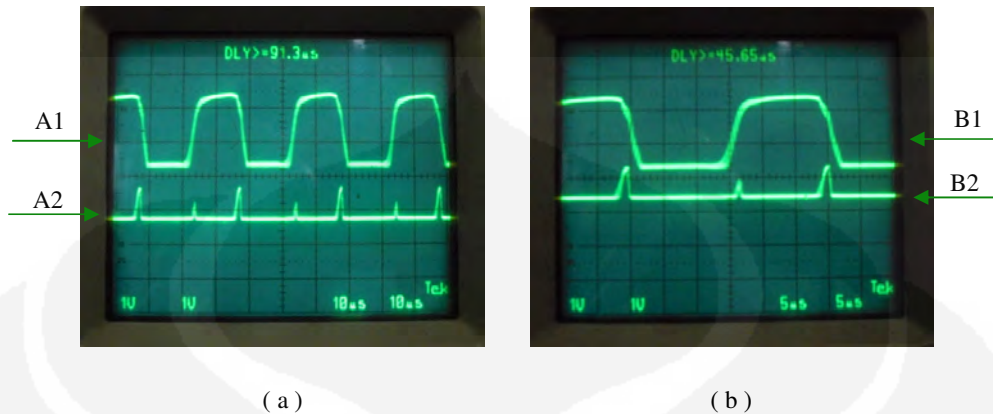
3.4.2.5 Hasil Percobaan 74LS86 dengan *Zero Crossing Detector*

Berdasarkan rangkaian detektor fasa seperti gambar 3.27, dilakukan pengamatan sinyal dengan oscilloscope adalah sebagai berikut,



Gambar 3.46 Hasil pengamatan sinyal masukan 74LS86 dengan *oscilloscope*

Sinyal masukan 74LS86 tidak jauh berbeda dengan sinyal masukan IC *phase comparator* yang diuji pada percobaan sebelumnya, dalam percobaan ini juga menggunakan TL081 sebagai *zero crossing detector*, hal ini yang menyebabkan sinyal masukan 74LS86 yang dihasilkan tidak mendekati sinyal kotak ideal, dikarenakan nilai slewrate TL081 yang kecil yaitu 13V/ μ s. Gambar 3.46 terdapat dua buah gambar sinyal masukan, dimana gambar A1 adalah sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar A2 adalah sinyal masukan 74LS86 yaitu sinyal masukan dari rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Sinyal keluaran 74LS86 dapat dimonitor melalui pin 3, berikut hasil pengamatan sinyal keluaran dengan *oscilloscope* :



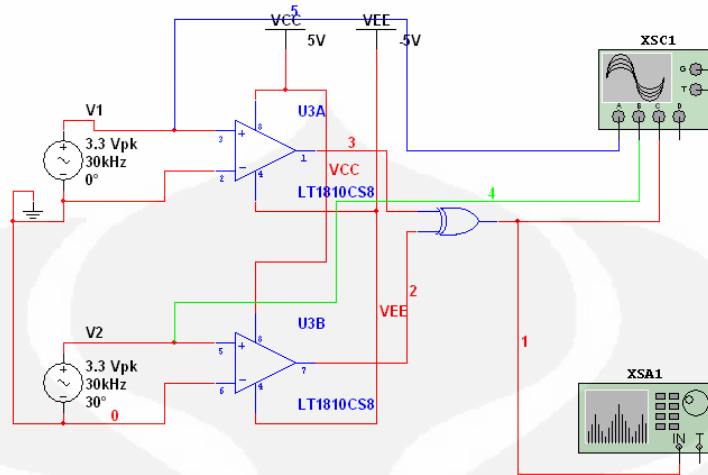
Gambar 3.47 Hasil pengamatan sinyal keluaran 74LS86 dengan *oscilloscope*

Dua buah sinyal yang ditampilkan dalam gambar 3.47 yaitu sinyal A1 dan B1 adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, gambar sinyal A2 dan B2 adalah sinyal keluaran 74LS86. Berdasarkan gambar 3.47 sinyal keluaran 74LS86 dapat merepresentasikan pergeseran / beda fasa antara kedua sinyal masukan 74LS84, dengan demikian dapat diketahui 74LS86 dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan berbentuk kotak.

3.5 Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Berdasarkan percobaan yang dilakukan pada lima buah *phase comparator*, yaitu : MM74C932, LM565, 74HC4046, MC4044, dan 74LS86, dapat diketahui kelima *phase comparator* tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa dengan menggunakan sinyal masukan sinus. Dengan demikian diambil keputusan untuk melanjutkan penelitian dengan mengubah sinyal masukan sinus menjadi sinyal kotak menggunakan *zero crossing detector*

Zero crossing detector 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 (*zero crossing*). Kita asumsikan komponen yang digunakan untuk membangun rangkaian detektor fasa ini adalah dua buah *operational amplifier* LT1810CS, dan gerbang XOR.



Gambar 3.48 Rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *zero crossing detector*

Pada 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 3.33.

$$v_o = V_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (3.2)$$

$$v_i = V_m \cos(\omega t) \quad (3.3)$$

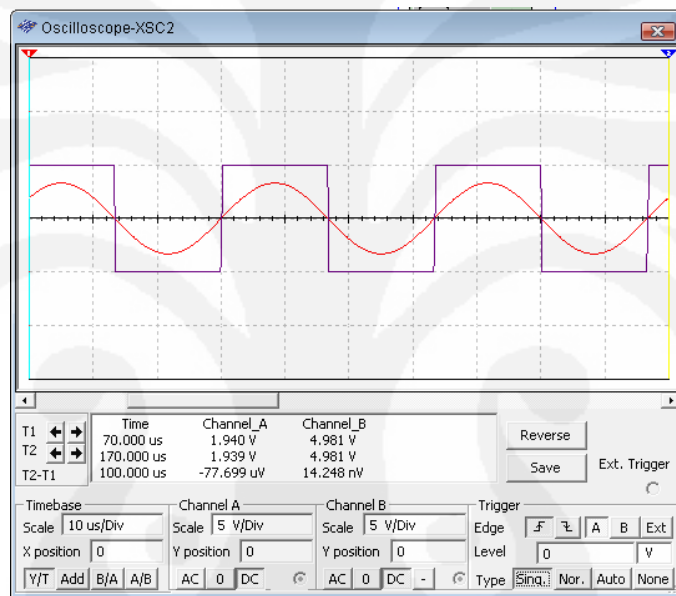
Keterangan:

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

LT1810CS 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 LT1810CS8 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 listrik 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.

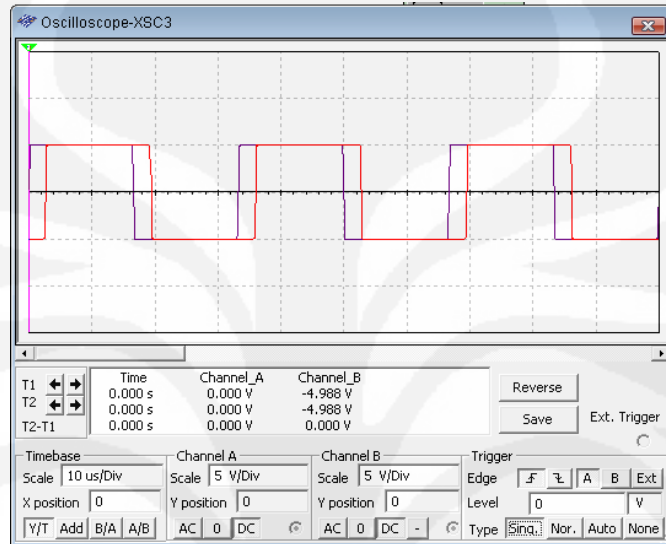
Sesuai dengan karakteristik *operational amplifier*, apabila nilai input tegangan pada kaki positif *operational amplifier* lebih besar dari 0 volt maka keluaran dari *operational amplifier* adalah VCC (+) nya yakni sebesar 5 volt. Jika nilai input tegangan pada kaki positif *operational amplifier* lebih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



Gambar 3.49 Grafik *oscilloscope* keluaran dari *zero crossing detector*

Grafik sinyal yang berwarna merah merupakan sinyal masukan dari *operational amplifier* atas yang dihubungkan dengan masukan sensor (pada gambar 3.27). Tepat ketika sinyal merah bernilai 0 volt, maka sinyal ungu 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 ungu akan bernilai 5 volt sesuai dengan VCC positif. Sebaliknya ketika nilai masukan pada kaki positif nilainya dibawah nol volt, sinyal keluaran yang berwarna ungu akan bernilai -5 volt.

Dapat dilihat pada gambar 3.35 bahwa perbedaan fasa antara tegangan masukan sensor dan tegangan keluaran sensor dapat diperhitungkan dengan menggunakan rangkaian detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* ini.

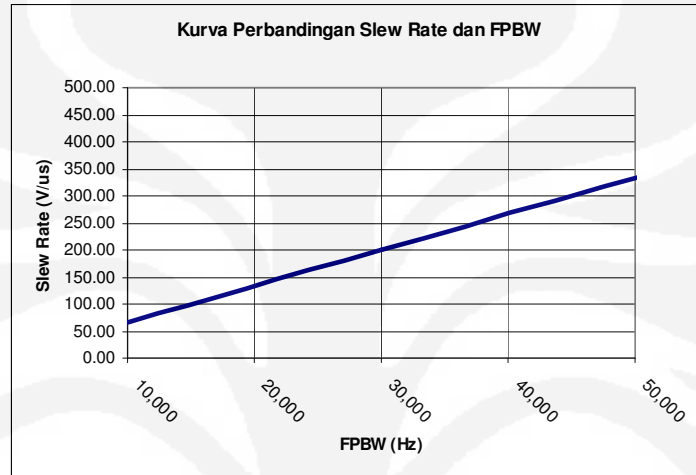


Gambar 3.50 Grafik sinyal keluaran dan masukan sensor dengan detektor fasa

Grafik yang berwarna ungu merupakan sinyal keluaran *operational amplifier* keluaran sensor sedangkan yang berwarna merah merupakan sinyal keluaran *operational amplifier* masukan sensor. Perbedaan fasa antara sinyal yang berwarna ungu dan merah 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* sebagai *zero crossing detector* ini bisa digunakan. *Operational amplifier* yang digunakan harus mempunyai nilai *slew rate* harus lebih besar dari 200V/us, sehingga pada frekuensi 30 kHz mempunyai ketelitian dibawah $0,05^\circ$. Hal ini berdasarkan gambar 3.36 dari data

perhitungan perbandingan antara *slew rate* dengan FPBW (*Full Power Bandwidth*) pada ketelitian $0,0446^\circ$ pada penelitian yang dilakukan Taufiq Alif Kurniawan. Pada gambar 3.36 terlihat bahwa untuk frekuensi kerja (FPBW) sebesar 30 kHz diperlukan operational amplifier yang mempunyai *slew rate* minimal sebesar 200 V/us.



Gambar 3. 51 Kurva perbandingan *slew rate* dan FPBW

Selanjutnya untuk mengukur nilai beda fasa antara kedua sinyal ditambahkan komponen untuk mencuplik besarnya beda fasa antara keluaran dan masukan sensor. Komponen yang dapat digunakan untuk mencuplik beda fasa sesuai dengan output dari *operational amplifier* pada gambar 3.50 adalah rangkaian XOR (*Exclusive OR*). Dalam simulasi yang telah dilaksanakan, penulis menambahkan CMOS 74HC86D_4V sebagai gerbang XOR pada detektor fasa ini. Secara logika, XOR mempunyai karakteristik sebagai berikut

Tabel 3.2 Karakteristik logika XOR

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

Sesuai dengan tabel 3.2 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 3.48 maka selisih antara fasa tegangan output dengan tegangan input bisa dicuplik. Hasil dari pencuplikan selisih fasa tersebut dapat dilihat pada gambar 3.52.



Gambar 3.52 Hasil sinyal pencuplikan gerbang XOR

Sinyal yang berwarna hijau merupakan selisih fasa antara sinyal yang berwarna ungu dan merah, yang juga merupakan selisih fasa antara dua sinyal pada gambar 3.50.

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,s

$$\frac{\text{lebar pulsa detektor fasa}}{\text{lebar pulsa } 90^\circ} \times 90^\circ = \text{beda fasa antara output dan input sensor} \quad (3.4)$$

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 berdasarkan hasil percobaan sampai bab sebelumnya didalam rangkaian detektor fasa harus menggunakan pengubah sinyal masukan dan sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor kelembaban yang berbentuk sinus menjadi kotak, dalam hal ini menggunakan rangkaian *zero crossing detector*, baru kemudian masuk kedalam *phase comparator* yang berbentuk gerbang eksklusif OR. Dengan demikian komponen utama rangkaian detektor fasa terdiri dari *operational amplifier* dan gerbang logika XOR. Pada bab 4 ini akan dijabarkan mengenai beberapa analisa untuk memilih jenis *operational amplifier* dan gerbang logika XOR yang akan digunakan dalam menyusun rangkaian pembaca keluaran sensor, sehingga didapatkan rangkaian yang optimal.

Jenis *operational amplifier* yang dianalisa terdiri dari 5 komponen yang diambil secara acak, yakni LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675, dan LTC1051. 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. Didalam analisa tersebut digunakan LT1886CS8 sebagai pembanding untuk keenam *operational amplifier* tersebut, LT1886CS8 adalah *operational amplifier* yang digunakan pada penelitian saudara Taufiq Alif Kurniawan, dikarenakan penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas sinyal keluaran dari *zero crossing detector*, maka nantinya *operational amplifier* yang akan digunakan harus memiliki spesifikasi lebih tinggi dari IC LT1886CS8.

4.1 Analisa Ketersediaan Komponen di Indonesia

Dari kelima jenis *operational amplifier* yang dianalisa, LT1807 dan LT1810CS8 yang diproduksi oleh *Linear Technology* yang tidak tersedia di

Indonesia, demikian juga dengan MAX4106 yang diproduksi oleh MAXIM juga 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

Berdasarkan hasil percobaan yang sudah dilakukan yang telah dibahas pada bab 3 sebelumnya, *operational amplifier* digunakan sebagai komponen pembanding tegangan dengan nilai 0 volt (*zero crossing detector*). Oleh karena itu, rangkaian dengan menggunakan *operational amplifier* sebagai pembanding dengan 0 volt disebut sebagai *zero crossing detector*. Penggunaan *operational amplifier* sebagai komponen pembanding (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

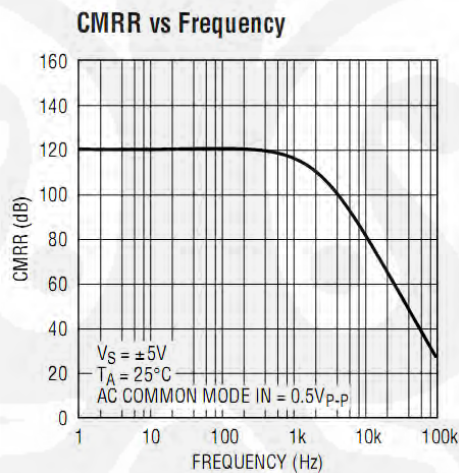
No	Op-Amp	Parameter Pemanding					
		CMRR	GBP	Slew Rate	Masukan Offset		Tegangan Penguatan
					Tegangan	Arus	
dB	Mhz	(V/ μ s)	mV	μ A	dB		
0	LT1886CS8	98	700	200	± 1	$\pm 0,15$	40
1	LTC1051	112	2.5	4	± 0.5	± 0.5	160
2	LT1810CS8	89	170	350	± 0.6	± 0.05	70
3	MAX4106	100	350	275	± 0.25	± 0.05	14
4	LM675	90	5.5	8	± 1	± 0.05	90
5	LT1807	106	325	140	± 0.1	± 1	40

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 pembanding ini didasarkan pada karakteristik yang diinginkan oleh alat.

4.2.1 CMRR (*Common Mode Rejection Ratio*)

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, besar kecilnya nilai CMRR menentukan tingkat akurasi dari *operational amplifier* dan kemampuan *operational amplifier* untuk menekan nilai *noise* seminimal mungkin. Berdasarkan tabel 4.1 diatas, untuk kondisi ideal pada frekuensi rendah nilai CMRR tertinggi dimiliki oleh LTC1051 sebesar 112 dB diikuti oleh LT1807 sebesar 106 dB dan MAX4106 sebesar 100 dB. Dari sini terlihat bahwa LTC1051 cocok untuk digunakan pada aplikasi yang memerlukan tingkat ketepatan yang tinggi, dibandingkan dengan *operational amplifier* uji lainnya.

Nilai CMRR juga dipengaruhi oleh frekuensi kerja rangkaian, dalam hal ini rangkaian fasa detektor yang dirancang beroperasi pada 30 kHz. Berikut ini adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara frekuensi kerja dengan nilai CMRR,



Gambar 4. 1 Kurva CMRR vs Frekuensi pada LTC1051

Pada kurva CMRR vs frekuensi pada LTC1051 diatas, terlihat bahwa untuk frekuensi kerja sebesar 30 kHz maka nilai CMRR LTC1051 adalah sebesar 65 dB.

Untuk MAX4106, nilai CMRR pada frekuensi 30 kHz adalah sebesar 80. Nilai CMRR pada MAX4106 pada awalnya stabil pada nilai 70 dB sampai pada frekuensi kerja sebesar 100 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. Grafik CMRR terhadap frekuensinya dapat dilihat pada lembar lampiran 1.

Menurut *datasheet* LM675, pada frekuensi kerja 30 kHz nilai CMRRnya adalah sebesar 80 dB, sedangkan untuk LT1807 pada frekuensi kerja 30 kHz adalah sebesar 96 dB atau lebih tinggi dibandingkan LM675. Grafik CMRR terhadap frekuensinya dapat dilihat pada lembar lampiran 1.

Menurut *data sheet operational amplifier* LT1810CS8, nilai CMRR pada frekuensi kerja rangkaian sebesar 30 kHz adalah sebesar 99 dB. Paling tinggi dibandingkan nilai CMRR pada frekuensi 30kHz yang dimiliki oleh LT1807, MAX4106, LM675, dan LTC1051. Gambar grafik CMRR terhadap frekuensi LT1810CS8 dapat dilihat pada lembar lampiran 1.

Dengan demikian, menurut data yang terdapat dalam *datasheet*, nilai *Common Mode Rejection Ratio* tertinggi pada frekuensi kerja sebesar 30 kHz dimiliki oleh LT1810CS8. Hal ini berarti idealnya LT1810CS8 adalah *operational amplifier* yang mempunyai kemampuan untuk mereduksi nilai *noise* paling besar dibandingkan dengan *operational amplifier* uji lainnya pada frekuensi 30 kHz. Nilai CMRR yang tinggi diperlukan pada perancangan fasa detektor berfrekuensi rendah, sehingga nilai keluaran dari rangkaian tersebut akurat dan mempunyai nilai ketelitian tinggi.

4.2.2 Penguatan *Bandwidth Product*

Parameter *datasheet* kedua sebagai pembanding kelima *operational amplifier* uji adalah besarnya *penguatan bandwidth product*. *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.

Berdasarkan tabel 4.1, *penguatan bandwidth product* terbesar dimiliki oleh MAX4106 sebesar 350 MHz. Data ini menunjukkan bahwa MAX4106 dapat beroperasi dengan penguatan tegangan (*voltage penguatan*) yang tetap sampai pada frekuensi 350 MHz, sehingga dapat dikatakan bahwa ketepatan penguatan tegangan MAX4106 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, dalam hal ini *operational amplifier* uji yang memenuhi adalah LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675, dan LTC1051.

4.2.3 Slew Rate

Parameter ketiga yang digunakan sebagai pembanding kelima *operational amplifier* uji sebagai dasar pemilihan komponen yang paling tepat untuk digunakan dalam perancangan detektor fasa frekuensi rendah adalah besarnya nilai *slew rate*. Sebagaimana dijelaskan pada bab 2, nilai *slew rate* terkait erat dengan respon tegangan keluaran *operational amplifier* setiap detik. Pada perancangan detektor fasa frekuensi rendah ini, *operational amplifier* digunakan untuk membandingkan tegangan sinusoidal 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. 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. Kecepatan transisi dari nol volt menjadi sama dengan nilai tegangan suplai positif ditentukan oleh besar kecilnya *slew rate* nya.

Berdasarkan data pada tabel 4.1, nilai *slew rate* terbesar dimiliki oleh LT1810CS8 sebesar 350 V/ μ s, kemudian MAX4106 sebesar 275 V/ μ s Menurut rumus FPBW pada penjelasan sebelumnya, untuk frekuensi sebesar 30 kHz maka kita dapat menghitung nilai *slew rate* minimum yang diijinkan sehingga nilai keluaran dari rangkaian masih tepat.

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

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

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

Slew rate sebesar 6,22 V/ μ s untuk frekuensi 30 kHz adalah kondisi ideal, artinya penulis tidak memperhatikan faktor-faktor lain. Akan tetapi karena masalah fabrikasi dan *slew rate* sangat rentan terhadap perubahan suhu, 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 6,22 V/ μ s. Oleh karena itu, *operational amplifier* uji yang dapat digunakan pada rangkaian detektor fasa dengan frekuensi 30 kHz adalah LT1807, LT1810CS8, MA4106, dan LM675 sedangkan LTC1051 tidak dapat digunakan pada rangkaian detector fasa dengan frekuensi 30kHz, dikarenakan slewrate LTC1051 hanya 4 V/ μ s.

4.2.4 Input Offset

Parameter keempat yang digunakan untuk membandingkan kelima *operational amplifier* uji adalah besarnya *input offset*, baik itu tegangan ataupun arus. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, nilai *input offset* suatu *operational amplifier* merupakan parameter yang penting apabila *operational amplifier* digunakan sebagai komparator. Tegangan *input offset* terkait erat dengan keseimbangan tegangan antara dua terminal *operational amplifier*. Sedangkan arus *input offset* digunakan sebagai indikator derajat ketidakseimbangan diantara dua arus bias. Oleh sebab itu, kedua parameter *offset* masukan ini sangat berpengaruh terhadap akurasi pembacaan.

Berdasarkan data pada tabel 4.1 diatas, tegangan offset masukan terendah dimiliki oleh LT1807 yakni sebesar ± 0.1 mV, kemudian diikuti oleh MAX4106 sebesar 0.25 mV. Sedangkan arus offset masukan terendah dimiliki oleh LT1810CS8, MAX4146, dan LM675 sebesar ± 0.05 μ A, lalu kemudian LTC1051 sebesar 0.5 μ A. Data ini menunjukkan bahwa LT1810CS8 merupakan *operational amplifier* yang mempunyai keseimbangan tegangan dan arus antara kedua terminalnya paling baik dibandingkan dengan *operational amplifier* uji

lainnya. Dengan demikian LT1810CS8 layak dikedepankan sebagai *operational amplifier* untuk detektor fasa frekuensi rendah, mengingat pada parameter sebelumnya tingkat kehandalan LT1810CS8 masih diatas *operational amplifier* uji lainnya.

4.2.5 Penguatan Tegangan

Parameter kelima yang digunakan untuk membandingkan kelima jenis *operational amplifier* uji adalah nilai penguatan tegangannya (*voltage penguatan*). Nilai *voltage penguatan* berpengaruh terhadap nilai CMRR, *voltage penguatan* yang tinggi mengakibatkan beda tegangan (tegangan *hysteresis*) yang kecil yang akan menyebabkan tegangan keluaran komparator dapat berubah dengan cepat diantara level saturasinya. Oleh karena itu, keakuratan pembacaan *operational amplifier* dalam membandingkan tegangan nol volt dengan tegangan masukan semakin baik.

Berdasarkan tabel 4.1 diatas, nilai tegangan penguatan tertinggi dipunyai oleh LTC1051 yakni sebesar 160 dB, dan terendah dimiliki oleh MAX4106 sebesar 14 dB. Berdasarkan parameter ini, LTC1051 merupakan *operational amplifier* yang paling baik dalam mereduksi tegangan *hysteresis* yang mungkin terjadi di sinyal keluarannya pada frekuensi rendah. Hal ini sesuai dengan nilai CMRR pada frekuensi rendah dari LTC1051 yang besar. Ini menunjukkan bahwa besarnya tegangan penguatan sebanding dengan nilai CMRR nya. Dengan analogi tersebut maka untuk frekuensi sebesar 30 kHz nilai tegangan penguatan tertinggi dimiliki oleh LTC1051 karena pada frekuensi tersebut nilai CMRR LTC1051 paling tinggi dibanding *operational amplifier* uji yang lainnya.

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

No	Op-Amp	Parameter Pembanding					
		GBP	Slew Rate	CMRR	Masukan Offset		Tegangan Penguatan
					Tegangan	Arus	
1	LTC1051						
2	LT1810CS8						
3	MAX4106						
4	LM675						
5	LT1807						

Oleh karena itu, untuk menentukan *operational amplifier* uji mana yang cocok untuk digunakan oleh detektor fasa frekuensi rendah yang dirancang penulis membuat tabel pemilihan 4.2. Apabila *operational amplifier* uji memenuhi kriteria parameter pembanding yaitu LT1886CS8 pada frekuensi 30kHz, maka kotak akan dicetak abu-abu. Sedangkan jika tidak memenuhi kotak akan tetap dicetak putih. Urutan prioritas parameter pembanding mulai dari yang terbesar ke terkecil sesuai dengan susunan pada tabel 4.2 dari kolom paling kiri ke kanan.

Jika dibandingkan dengan nilai GBP LT1886CS8 sangat besar yaitu sebesar 700 MHz, maka kelima *operational amplifier* uji tersebut tidak memenuhi kriteria pembanding, hanya saja didalam perancangan detektor fasa nantinya menggunakan frekuensi kerja 30 kHz, sebagaimana telah dijelaskan di awal pembahasan bahwa nilai GBP harus lebih tinggi dibandingkan frekuensi kerja yang akan digunakan, maka ada tiga *operational amplifier* uji dinyatakan memenuhi parameter yang akan digunakan untuk perancangan detektor fasa, yaitu LT1810CS8, MAX4106 dan LT1807, hanya saja penentuan *operational amplifier* sebagai komponen utama rangkaian tetap berdasarkan nilai GBP yang paling tinggi.

Dengan demikian dapat diketahui, hanya LT1810CS8 yang memenuhi semua kriteria untuk digunakan sebagai komponen utama detektor fasa. maka tipe *operational amplifier* yang diproduksi oleh *Linear Technology* ini layak dikedepankan sebagai komponen utama rangkaian. *Operational amplifier* yang menempati peringkat kedua adalah MAX4106. Dari sisi *bandwidth* yang lebar dan *slew rate* yang tinggi sebenarnya tipe ini dapat dikedepankan untuk dipilih. Akan tetapi karena detektor fasa yang dirancang harus memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam membandingkan nilai beda fasa antara sinyal masukan dan keluaran sensor maka MAX4106 menjadi kurang baik untuk digunakan. Sebagaimana yang telah dijelaskan di awal pembahasan, tingkat akurasi yang tinggi ditentukan oleh nilai CMRR, masukan *offset* dan tegangan penguatan

Dengan demikian peringkat ketiga adalah LT1807, hanya saja nilai tegangan penguat rendah, dengan demikian sangat berpengaruh terhadap tingkat keakurasian *operational amplifier* didalam membandingkan nilai beda fasa antara

sinyal masukan dan keluaran sensor, ditambah dengan nilai *slewrate* yang masih dibawah LT1810CS8 dan MAX4106, Untuk kedua *operational amplifier* uji lainnya, berdasarkan parameter-parameter perbandingan dapat disimpulkan bahwa ketiganya tidak memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai komponen utama detektor fasa.

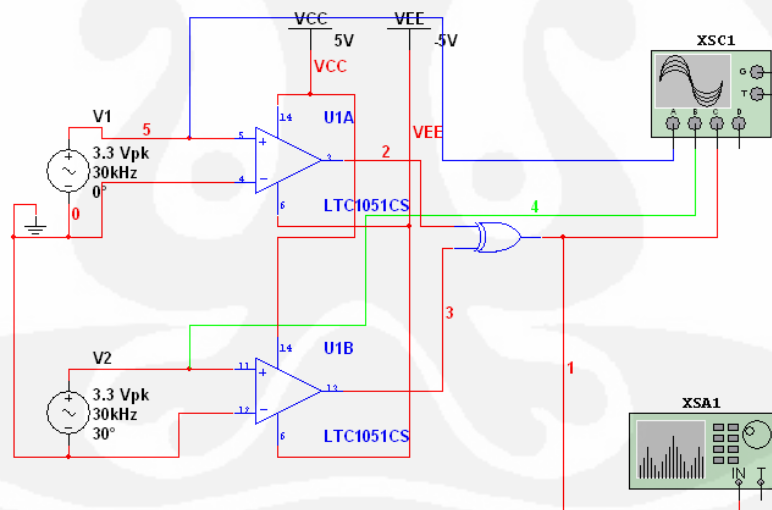
4.3 Analisa Menggunakan Software Multisim 10.0.1

Dengan menggunakan simulasi yang telah dirancang dengan menggunakan multisim 10.0.1, kelima jenis *operational amplifier* tersebut digunakan sebagai komponen dalam rancangan simulasi rangkaian.

4.3.1 Analisa Rangkaian dan Grafik Keluaran

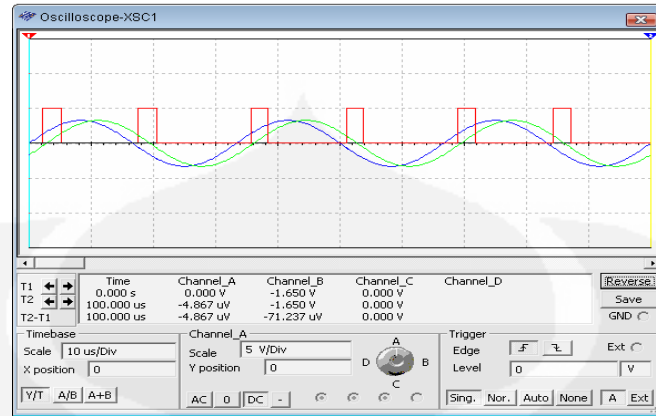
4.3.1.1 *Operational amplifier* LTC1051

Gambar rangkaian simulasi untuk *operational amplifier* LTC1051 adalah sebagai berikut,



Gambar 4. 2 Simulasi rangkaian dengan menggunakan LTC1051

Hasil keluaran sinyal dengan menggunakan *oscilloscope* adalah sebagai berikut,



Gambar 4. 3 Hasil pengamatan sinyal keluaran dengan *oscilloscope*

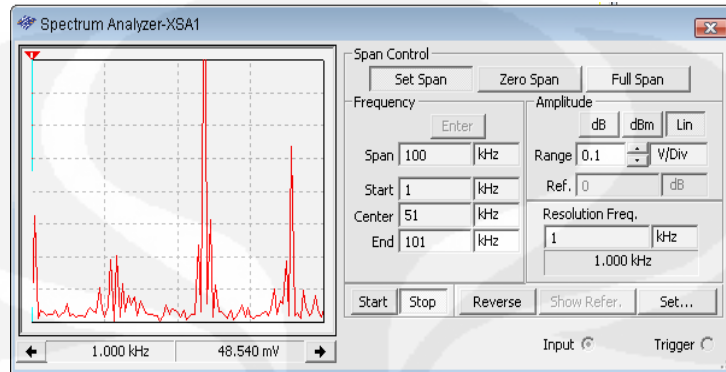
Sinyal yang berwarna hijau dan biru merupakan sinyal masukan rangkaian *operational amplifier* yang mempunyai beda fasa 30° . Sinyal merah merupakan sinyal keluaran dari *exclusive OR*. Sinyal merah keluaran dari *oscilloscope* berupa sinyal berbentuk kotak, namun kurang teratur periodenya.

Tabel 4.3 Data keluaran hasil simulasi dengan lebar fasa 30°

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-rata (s)
<u>1</u>	2.890569000E-06	11	2.695256000E-06	21	2.695256000E-06	2.783902067E-06
<u>2</u>	2.885569000E-06	12	2.690256000E-06	22	2.690256000E-06	
<u>3</u>	2.695256000E-06	13	2.695256000E-06	23	2.890569000E-06	9.828265086E-15
<u>4</u>	2.690256000E-06	14	2.885569000E-06	24	2.885569000E-06	
<u>5</u>	2.890569000E-06	15	2.890569000E-06	25	2.695256000E-06	3.530391821E-09
<u>6</u>	2.885569000E-06	16	2.690256000E-06	26	2.690256000E-06	
<u>7</u>	2.695256000E-06	17	2.695256000E-06	27	2.890569000E-06	9.913760682E-08
<u>8</u>	2.690256000E-06	18	2.690256000E-06	28	2.885569000E-06	
<u>9</u>	2.890569000E-06	19	2.890569000E-06	29	2.695256000E-06	
<u>10</u>	2.885569000E-06	20	2.885569000E-06	30	2.690256000E-06	

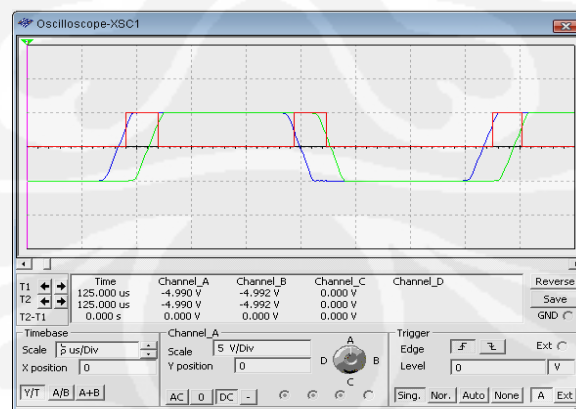
Tabel 4.3 merupakan data keluaran yang merepresentasikan beda fasa dari simulasi rangkaian pembaca keluaran sensor dengan menggunakan *operational amplifier* LTC1051 (lebar sinyal pulsa berwarna merah). Untuk data ke-1 sampai ke 30 terlihat variasi data cenderung stabil dan setelah di rata-rata didapatkan nilai $2.783902067E-06$. Nilai variasi dari ke-30 data yang diambil adalah $9.828265086E-15$, sehingga perbandingan antara variasi dan rata-rata adalah sebesar $3.530391821E-09$. Nilai perbandingan antara variasi dan rata-rata tersebut cukup kecil, sehingga kita dapat menggunakan nilai rata-rata lebar pulsa

itu sebagai nilai lebar pulsa 30° . Jika besarnya rata-rata lebar pulsa dibagi 30, maka didapatkan nilai lebar pulsa untuk setiap beda fasa 1° yakni sebesar $9.279673556E-08$.



Gambar 4.4 Hasil pengamatan sinyal keluaran dengan *spectrum analyzer*

Apabila sinyal keluaran dari *exclusive OR* (sinyal yang berwarna merah) diamati dengan menggunakan *spectrum analyzer*, maka akan didapatkan keluaran seperti gambar 4.4. Berdasarkan gambar tersebut, jika diambil 4 frekuensi yang paling tinggi magnitudenya maka didapat pada frekuensi 60 kHz; 90 kHz; 2 kHz dan 62 kHz disamping nilai *ripple* frekuensi lainnya yang mempunyai penguatan yang tinggi. *Magnitude* frekuensi sinyal spektrum frekuensi tertinggi berada pada frekuensi 60 kHz yakni sebesar 1.5214 Volt, sedangkan *magnitude* sinyal kedua tertinggi sebesar 0.5341 Volt pada frekuensi 90 kHz. Sehingga didapatkan perbandingan kedua *magnitude* tersebut adalah 2,8485.



Gambar 4. 5 Grafik pengamatan sinyal keluaran *operational amplifier* yang berfungsi sebagai komparator

Berdasarkan grafik pengamatan menggunakan *spectrum analyzer*, frekuensi yang dominan adalah 60 kHz dan 90 kHz. Nilai *magnitude* untuk frekuensi 60 kHz sebesar 1.5214 volt, sedangkan untuk frekuensi 90 kHz sebesar 0.5341 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. Hal ini bisa dilihat pada gambar 4.5.

4.3.1.2 Operational Amplifier LT1807

Gambar rangkaian simulasi, hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dengan menggunakan *operational amplifier* LT1807 dapat dilihat pada lembar lampiran 2.

Berdasarkan data keluaran hasil simulasi pada lampiran 4, data lebar pulsa relatif stabil dari data pertama sampai data ke-30. Nilai lebar pulsa rata-rata adalah sebesar $2.762743498\text{E}-06$, dengan nilai variasi data sebesar $4.176073188\text{E}-15$. Perbandingan antara variasi data dan data rata-rata lebar pulsa adalah $1.511567466\text{E}-09$. Dengan nilai perbandingan yang kecil, kita dapat menggunakan nilai rata-rata lebar pulsa sebesar $2.762743498\text{E}-06$ untuk mewakili 30° data lebar pulsa seperti halnya pada tabel 4.3 diatas untuk LTC1051. Selanjutnya lebar pulsa sebesar 1° didapatkan dengan membagi nilai rata-rata lebar pulsa dengan 30, dan didapatkan nilai sebesar $9.209144992\text{E}-08$. Akan tetapi berdasarkan grafik sinyal pengamatan menggunakan *oscilloscope*, pulsa merah yang menunjukkan besarnya beda fasa tidak mempunyai periode yang tetap dan munculnya pulsa tidak tepat saat sinyal masukan berwarna kuning dan biru bernilai nol volt. Hal ini tampak jelas apabila diamati dengan menggunakan *spectrum analyzer*.

Berdasarkan grafik pengamatan menggunakan *spectrum analyzer*, frekuensi yang dominan adalah 60 kHz dan 28 kHz. Nilai *magnitude* untuk frekuensi 60 kHz sebesar $1.58588551\text{E}+00$ volt, sedangkan untuk frekuensi 28

kHz sebesar $3.53267039E-01$ volt. Apabila dibandingkan nilai *magnitude* antara frekuensi dominan dengan frekuensi dominan kedua didapatkan nilai $4.48919749E+00$

4.3.1.3 *Operational amplifier* LT1810CS8

Gambar rangkaian, hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dapat dilihat pada lampiran 2.

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

Menurut tabel data hasil pengamatan pada lampiran 4, data hasil keluaran dari simulasi cenderung stabil dengan variasi data sebesar $7.361497988E-15$, sedikit lebih besar dari LT1807 dan nilai rata-rata data keluarannya sebesar $2.746996285E-06$. Data keluaran seperti ini didapatkan karena nilai *slew rate* dari LT1810CS8 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 LT1810CS8 karena perbandingan antara variasi data dan rata-rata data kecil yakni sebesar $2.679835437E-09$. Sehingga didapatkan lebar pulsa 1° sebesar $9.156654283E-08$.

Berdasarkan pengamatan sinyal dalam domain frekuensi menggunakan *spectrum analyzer*, nilai frekuensi yang dominan terdapat pada 60 kHz yang mempunyai *magnitude* sebesar $1.56874678E+00$ Volt. Frekuensi lain yang mempunyai *magnitude* kedua terbesar adalah pada 28 kHz dengan *magnitude* sebesar $3.49143909E-01$ Volt. Perbandingan kedua *magnitude* tersebut adalah sebesar $4.49312372E+00$ atau paling besar dibandingkan dengan keluaran dari keempat *operational amplifier* uji lainnya. Hasil perbandingan ini menandakan *operational amplifier* LT1810CS8 lebih stabil dibandingkan keempat *operational amplifier* sebelumnya. Kestabilan keluaran dari *operational amplifier* LT1810CS8 tidak lepas dari tingginya *slew rate* dan *bandwidth* yang lebar seperti yang telah dijelaskan pada analisa *data sheet* LT1810CS8.

4.3.1.4 *Operational Amplifier* MAX4106

Gambar rangkaian simulasi, hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dapat dilihat pada lembar lampiran 2.

Berdasarkan tabel data rangkaian detektor fasa menggunakan OPA2652U pada lampiran 4, maka data keluaran yang merepresentasikan beda fasa sebesar 30° diperoleh nilai rata-rata sebesar $2.758313112\text{E}-06$ dengan variasi data sebesar $4.965325674\text{E}-15$. Variasi dibanding dengan data rata-rata adalah sebesar $1.800131266\text{E}-09$, dengan nilai perbandingan yang kecil ini kita dapat menggunakan nilai data rata-rata sebagai representasi beda fasa sebesar 30° dengan menggunakan MAX4106. Oleh karena itu, besarnya beda fasa sebesar 1° dari simulasi menggunakan MAX4106 adalah sebesar $9.194377041\text{E}-08$.

Dari pengamatan menggunakan *spectrum analyzer*, nilai frekuensi yang dominan untuk rangkaian simulasi dengan menggunakan *operational amplifier* MAX4106 adalah 60 kHz dengan besarnya *magnitude* sebesar $1.55190349\text{E}+00$ V. Frekuensi dominan kedua adalah 28 kHz yang mempunyai *magnitude* sebesar $3.50433332\text{E}-01$ V dan frekuensi 32 kHz *magnitudenya* sebesar $3.19454604\text{E}-01$ V. Apabila dibandingkan nilai *magnitude* antara frekuensi dominan dengan frekuensi dominan kedua didapatkan nilai $4.42852706\text{E}+00$. Dari sisi ini, dapat dikatakan bahwa data keluaran dari rangkaian pembaca keluaran sensor dengan menggunakan MAX4106 cenderung kurang stabil dibandingkan dengan kedua *operational amplifier* sebelumnya.

4.3.1.5 *Operational Amplifier* LM675

Gambar rangkaian simulasi, hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer* dapat dilihat pada lampiran 2.

Berdasarkan tabel data pada lampiran 4, data keluaran lebar fasa hasil simulasi mengalami banyak perubahan mulai data ke-1 sampai data ke-30. Hal ini menunjukkan bahwa data yang diperoleh kurang stabil. Nilai rata-rata lebar pulsanya adalah $2.770881200\text{E}-06$ dengan variasi data sebesar $9.544835840\text{E}-15$. Perbandingan antara variasi dan rata-rata lebar pulsa adalah sebesar $3.444693277\text{E}-09$. Lebar pulsa 1° menurut simulasi menggunakan *operational amplifier* LM675 adalah sebesar $9.236270666\text{E}-08$.

Hasil pengamatan dengan menggunakan *spectrum analyzer* dari rangkaian dengan menggunakan *operational amplifier* LM675 menunjukkan bahwa frekuensi utama dari sinyal warna merah adalah pada frekuensi 60 kHz. Besarnya *magnitude* pada frekuensi tersebut adalah sebesar 1.59490284E+00 Volt. Sedangkan frekuensi lain yang mempunyai *magnitude* cukup tinggi adalah 2 kHz dan 58 kHz. Besarnya *magnitude* pada 2 kHz adalah sebesar 2.68114344E-01 V dan pada 58 kHz sebesar 2.54059038E-01 V. Perbandingan antara *magnitude* maksimum dan kedua maksimum adalah sebesar 5.94859198E+00. Oleh karena perbandingan *magnitude* yang cukup besar, dapat dikatakan bahwa sinyal warna merah yang merepresentasikan beda fasa tersebut mempunyai frekuensi yang stabil pada 60 kHz.

4.3.2 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 Sebesar 30°				
		Lebar Rata-Rata	Variasi Data	Variasi/Rata-Rata	Standar Deviasi	Lebar 1°
1	LT1807	2.76274E-06	4.17607E-15	1.51156E-09	6.46225E-08	9.20914E-08
2	LT1810CS8	2.74699E-06	7.36149E-15	2.67983E-09	8.57991E-08	9.15665E-08
3	MAX4106	2.75831E-06	4.96532E-15	1.80013E-09	7.04650E-08	9.19437E-08
4	LM675	2.77088E-06	9.54483E-15	3.44469E-09	9.76976E-08	9.23627E-08
5	LTC1051	2.78390E-06	9.82826E-15	3.53039E-09	9.91376E-08	9.27967E-08

Tabel 4.4 merupakan tabel perbandingan data keluaran simulasi rangkaian pembaca keluaran sensor dengan pengaturan beda fasa antara kedua sinyal masukan sebesar 30°. Perbandingan keenam *operational amplifier* didasarkan pada lima parameter data keluaran adalah sebagai berikut,

a. Lebar Rata-Rata

Lebar rata-rata sinyal warna merah bervariasi untuk setiap *operational amplifier* yang diuji. LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675 dan LTC1051 mempunyai lebar rata-rata sinyal yang hampir sama sebesar $2,7 \times 10^{-6}$. Lebar pulsa sinyal warna 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 LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675 dan LTC1051 mempunyai variasi data yang hampir sama pada kisaran 10^{-15} . Variasi data keluaran simulasi terkecil diperoleh ketika rangkaian menggunakan *operational amplifier* LT1807 yaitu sebesar $4.17607E-15$, diikuti oleh MAX4106 dengan variasi sebesar 4.96532×10^{-15} . Besarnya variasi data tersebut menunjukkan kestabilan data keluaran yang paling besar dimiliki oleh LT1807, diikuti oleh MAX4106 dan LT1810CS8.

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* LT1807 yakni sebesar 1.51156×10^{-9} , kemudian MAX4106 sebesar 1.80013×10^{-9} dan yang ketiga adalah LT1810CS8. Hal ini menandakan bahwa LT1810CS8 adalah *operational amplifier* dengan keluaran data paling stabil dibandingkan keempat *operational amplifier* yang diuji lainnya. Namun, karena kelima data tersebut memiliki nilai perbandingan variasi dan data rata-rata yang kecil, maka data rata-rata dari kelima *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* LT1807 mempunyai standar deviasi terkecil yakni sebesar 6.46225×10^{-8} , diikuti oleh MAX4106 sebesar 7.04650×10^{-8} .

e. Lebar Pulsa 1°

Lebar pulsa sebesar 1° didapat dengan membagi lebar pulsa 30° hasil keluaran simulasi dengan 30. 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 LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675 dan LTC1051 mempunyai lebar pulsa 1° yang sama yakni sebesar 9×10^{-8} .

Dari lima parameter yang digunakan untuk membandingkan lima jenis *operational amplifier*, didapat bahwa LT1807 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.

4.3.2.2 Data Keluaran *Spectrum Analyzer*

Tabel 4.5 Data keluaran *spectrum analyzer*

No	Op-Amp	Sinyal Maksimum		Sinyal Kedua Maksimum		perbandingan kedua sinyal
		Frekuensi (kHz)	Magnitudo (V)	Frekuensi (kHz)	Magnitudo (V)	
1	LT1807	60	1.58588551	28	0.35326703	4.48919749E+00
2	LT1810CS8	60	1.56874678	28	0.34914390	4.49312372E+00
3	MAX4106	60	1.55190349	28	0.35043333	4.42852706E+00
4	LM675	60	1.59490284	2	0.26811434	5.94859198E+00
5	LTC1051	60	1.52141635	90	0.53408543	2.84863851E+00

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 LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675 dan LTC1051 berada pada frekuensi yang sama di 60 kHz. Diantara kelima *operational amplifier* tersebut yang mempunyai *magnitude* terbesar pada frekuensi 60 kHz adalah LM675 dengan *magnitude* sebesar 1,59490284. Diikuti oleh LT1807 dengan 1,58588551 dan LT1810CS8 sebesar 1,56874678. 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* LT1807, LT1810CS8, dan MAX4106 berada pada frekuensi 28 kHz. *Magnitude* terkecil untuk sinyal kedua maksimum dari ketiga *operational amplifier* tersebut dipunyai oleh LT1810CS8 sebesar 0.34914390, diikuti oleh MAX4106 sebesar 0.35043333 dan LT1807 sebesar 0.35326703.

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 LM675 sebesar 5.94859198E+00 kemudian diikuti oleh LT1810CS8 sebesar 4.49312372E+00. Hal ini menunjukkan bahwa dari analisa *spectrum analyzer* didapatkan bahwa *operational amplifier* LM675 paling stabil dibandingkan *operational amplifier* uji yang lain.

4.4 Analisa *Phase Comparator* menggunakan gerbang XOR

Berdasarkan analisa penjelasan pada bab tiga, diketahui bahwa *phase comparator* yang dapat digunakan didalam sistem detektor fasa frekuensi rendah adalah *phase comparator* yang berbentuk gerbang XOR, diantara kelima *phase comparator* uji yang digunakan yaitu MM74C932, LM565, 74HC4046, MC4044, dan 74LS86, *phase comparator* yang berbentuk gerbang XOR adalah MM74C932, 74HC4046, dan 74LS86. Dengan demikian penulis melakukan analisa mengenai pemilihan *phase comparator* untuk menunjukkan *phase comparator* dengan gerbang XOR yang layak dikedepankan sebagai komponen utama sistem detektor fasa frekuensi rendah.

4.4.1 Analisa Uji Fungsi Gerbang XOR di *Phase Comparator* (secara praktek)

Didalam menganalisa gerbang XOR di *phase comparator* penulis melakukan pengujian secara praktek, berikut data pengujian untuk gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 dengan variasi beban 0,1 μ F dan 100 Ω menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8.

Tabel 4.6 Data pengujian gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 dalam lebar pulsa (second) secara praktek

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	2,65800E-06	18	2,62200E-06	35	2,62400E-06	2,6435E-06
2	2,61900E-06	19	2,59600E-06	36	2,58900E-06	Variasi
3	2,61900E-06	20	2,63000E-06	37	2,65900E-06	1,4818E-15
4	2,59400E-06	21	2,69600E-06	38	2,66500E-06	Variasi/Rata-rata
5	2,58100E-06	22	2,64600E-06	39	2,64500E-06	5,6054E-10
6	2,69100E-06	23	2,67700E-06	40	2,59800E-06	Standar deviasi
7	2,67600E-06	24	2,67300E-06	41	2,66500E-06	3,84943E-08
8	2,61500E-06	25	2,65800E-06	42	2,58900E-06	Frek. Percobaan (khz)
9	2,62400E-06	26	2,58700E-06	43	2,59500E-06	2,99600E+04
10	2,67900E-06	27	2,64900E-06	44	2,72400E-06	90 derajat (second)
11	2,62300E-06	28	2,68900E-06	45	2,59500E-06	8,34446E-06
12	2,66000E-06	29	2,66000E-06	46	2,69200E-06	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	2,61300E-06	30	2,60300E-06	47	2,71000E-06	2,79587E+01
14	2,61700E-06	31	2,66000E-06	48	2,71400E-06	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	2,62000E-06	32	2,70300E-06	49	2,63800E-06	2,85121E+01
16	2,62300E-06	33	2,70300E-06	50	2,64600E-06	Persentase Kesalahan (%)
17	2,67200E-06	34	2,62800E-06	51	2,60800E-06	1,97911E+00

Tabel 4.7 Data pengujian gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 dalam sudut fasa (°) secara praktek

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	28,6681	18	28,2798	35	28,3014	28,5121
2	28,2475	19	27,9994	36	27,9239	Variasi
3	28,2475	20	28,3661	37	28,6789	0,1724
4	27,9778	21	29,0780	38	28,7436	Variasi/Rata-rata
5	27,8376	22	28,5387	39	28,5279	0,0060458
6	29,0240	23	28,8731	40	28,0210	Standar deviasi
7	28,8623	24	28,8299	41	28,7436	0,4152
8	28,2043	25	28,6681	42	27,9239	Frek. Percobaan (khz)
9	28,3014	26	27,9023	43	27,9886	29960,00
10	28,8946	27	28,5711	44	29,3800	90 derajat (second)
11	28,2906	28	29,0025	45	27,9886	8,3445E-06
12	28,6897	29	28,6897	46	29,0348	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	28,1828	30	28,0749	47	29,2290	27,9587
14	28,2259	31	28,6897	48	29,2721	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	28,2583	32	29,1535	49	28,4524	28,5121
16	28,2906	33	29,1535	50	28,5387	Persentase Kesalahan (%)
17	28,8191	34	28,3446	51	28,1288	1,9791

Tabel 4.6 adalah data pengukuran yang diambil melalui *oscilloscope*, dengan demikian masih dalam satuan second, hanya saja tidak mudah melakukan pengamatan data dalam satuan second, dikarenakan perubahannya sangat kecil, dengan demikian penulis membuat tabel 4.7 yaitu data pengukuran yang sudah dalam sudut fasa dengan satuan derajat, dengan demikian lebih mudah didalam melakukan analisa data. Melalui tabel 4.7 dapat diketahui bahwa rangkaian detektor fasa menggunakan gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 untuk variasi beban 0,1 μ F dan 100 ohm pada frekuensi kerja 30 kHz memiliki rata – rata percobaan sebesar 28,5121°, sedangkan jika dilakukan perhitungan secara teori didapat besar sudut fasa perhitungan sebesar 27,9587°, dengan demikian untuk hasil pengujian gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 dengan variasi beban 0,1 μ F dan 100 ohm memiliki presentase kesalahan sebesar 1,9791 %, dengan VMR (*Varian Mean Ratio*) sebesar 0,0060458 dan standar deviasi sebesar 0,4152.

Pengujian gerbang XOR di *phase comparator* 74HC4046AN dan gerbang XOR di *phase comparator* 74LS86 juga dilakukan menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 untuk variasi beban yang sama di 0,1 μ F dan 100 ohm,

adapun data hasil pengujian dapat dilihat di lampiran 5. Berikut data pengujian Gerbang XOR untuk ketiga *phase comparator*.

Tabel 4.8 Data pengujian gerbang XOR dalam lebar pulsa (second) secara praktek

No	Gerbang XOR	Lebar Pulsa Keluaran (s)	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor		Standar Deviasi	Persentase Kesalahan (%)
			Sudut Fasa Praktek (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)		
1	74HC4046AN	2,6652E-06	2,87462E+01	2,79587E+01	1,67077E-07	2,81645E+00
2	MM74C932	2,6435E-06	2,85121E+01	2,79587E+01	3,84943E-08	1,97911E+00
3	74LS86	2,6535E-06	2,86193E+01	2,79587E+01	7,40576E-08	2,36261E+00

Tabel 4.9 Data pengujian gerbang XOR dalam sudut fasa (°) secara praktek

No	Gerbang XOR	Sudut fasa Keluaran (°)	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor		Standar Deviasi	Persentase Kesalahan (%)
			Sudut Fasa Praktek (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)		
1	74HC4046AN	28,7462	28,7462	27,9587	1,8020	2,8165
2	MM74C932	28,5121	28,5121	27,9587	0,4152	1,9791
3	74LS86	28,6193	28,6193	27,9587	0,7988	2,3626

Tabel 4.8 adalah data hasil pengujian gerbang XOR untuk ketiga *phase comparator* dalam lebar pulsa, hanya saja tidak mudah melakukan analisa dalam satuan *second*, dikarenakan perubahan nilai data yang sangat kecil, dengan demikian penulis membuat tabel 4.9 data pengujian gerbang XOR untuk ketiga *phase comparator* dalam sudut fasa (°) untuk mempermudah didalam melakukan analisa data, berdasarkan tabel 4.9 dapat diketahui gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 memiliki persentase kesalahan paling kecil yaitu 1,9791 %, dengan standar deviasi paling kecil juga yaitu 0,4152. Peringkat kedua nilai persentase kesalahan yang kecil adalah *phase comparator* 74LS86 yaitu 2,3626 %, dengan standar deviasi 0,7988. *Phase comparator* 74HC4046 menduduki peringkat terakhir dengan persentase kesalahan terbesar yaitu 2,8165 %, dan nilai standar deviasi 1,8020.

Berdasarkan analisa diatas maka MM74C932 layak dikedepankan sebagai komponen utama didalam rangkaian detektor fasa frekuensi rendah, dikarenakan diantara ketiga komponen uji yang lain, MM74C932 memiliki nilai persentase terkecil, dan nilai standar deviasi terkecil, dengan demikian dapat di ambil kesimpulan sinyal keluaran gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932 lebih stabil dibandingkan kedua *phase comparator* lainnya.

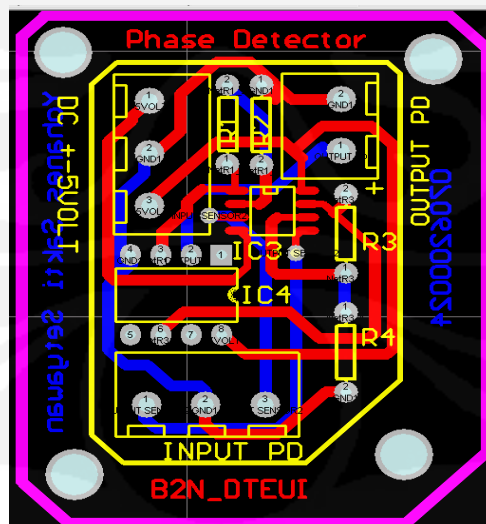
BAB 5 IMPLEMENTASI RANGKAIAN DETEKTOR FASA FREKUENSI RENDAH

5.1 Implementasi Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Implementasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah ini dilakukan dengan melalui beberapa tahap, yakni desain dengan menggunakan Protel 99, implementasi desain pada *pcb (printed circuit board)* dan pengujian alat di laboratorium elektronika. Untuk komponen *operational amplifier* yang digunakan dalam perancangan, penulis memilih menggunakan LT1810CS8. Pemilihan ini didasarkan hasil analisa pemilihan komponen pada bab 4 sebelumnya. Penelitian ini mengacu kepada penelitian yang dilakukan saudara Taufiq Alif Kurniawan, dengan dilakukan *improvisasi* pada desain rangkaian dan pemilihan komponen yang digunakan.

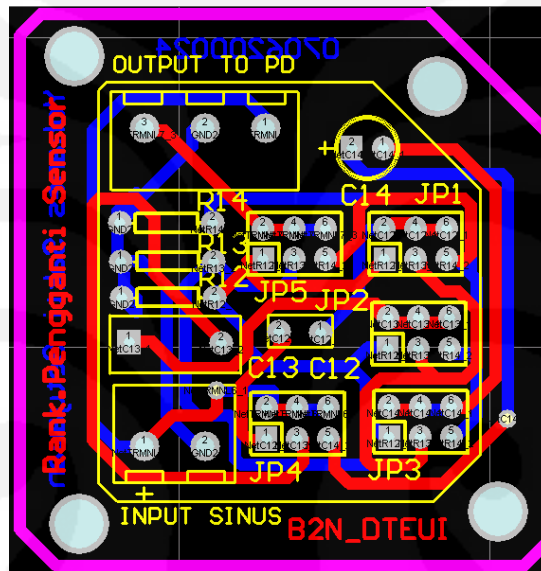
5.1.1 Desain Menggunakan Protel 99

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan rangkaian detektor fasa yang disimulasikan dengan menggunakan protel 99, dengan mendesign dalam form PCB, berikut adalah desain PCB yang akan digunakan sebagai rangkaian detektor fasa frekuensi rendah.

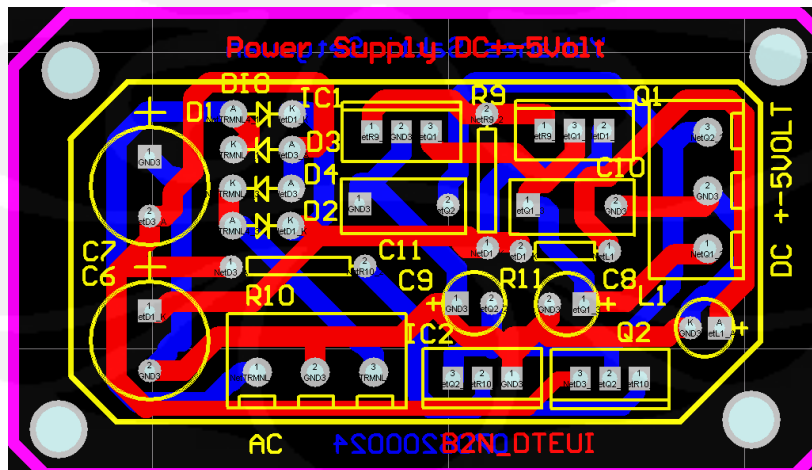


Gambar 5. 1 Desain rangkaian menggunakan Protel 99

Selanjutnya dengan menggunakan Protel 99, penulis mendesain rangkaian detektor fasa yang nantinya akan dicetak di pcb. Hasil rancangannya dapat dilihat pada gambar 5.1 diatas. Pada gambar rangkaian 5.1 di atas, selain beberapa komponen penyusun detektor fasa yang telah dijelaskan pada bab 3 sebelumnya, penulis juga mendesain untuk rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dan power supply,

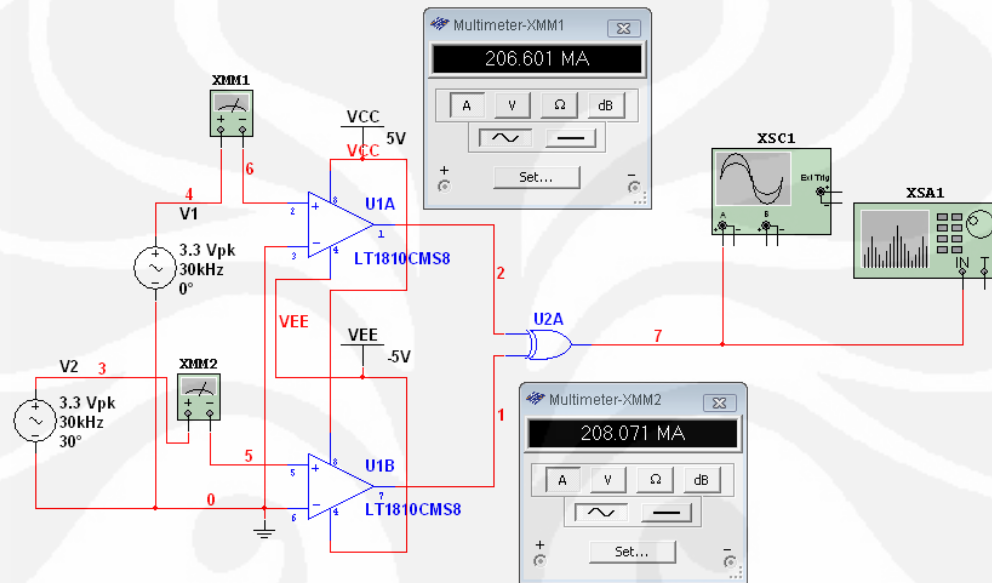


Gambar 5. 2 Desain rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.



Gambar 5. 3 Desain rangkaian power supply +5 volt dan -5 volt

Didalam penelitian yang dilakukan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan, diketahui arus yang masuk kedalam ic comparator sangat besar jika tidak ditambahkan rangkaian kompensasi, dengan demikian digunakan rangkaian kompensasi untuk mengurangi arus yang masuk kedalam ic comparator, berikut merupakan rangkaian yang digunakan saudara Taufiq Alif Kurniawan,

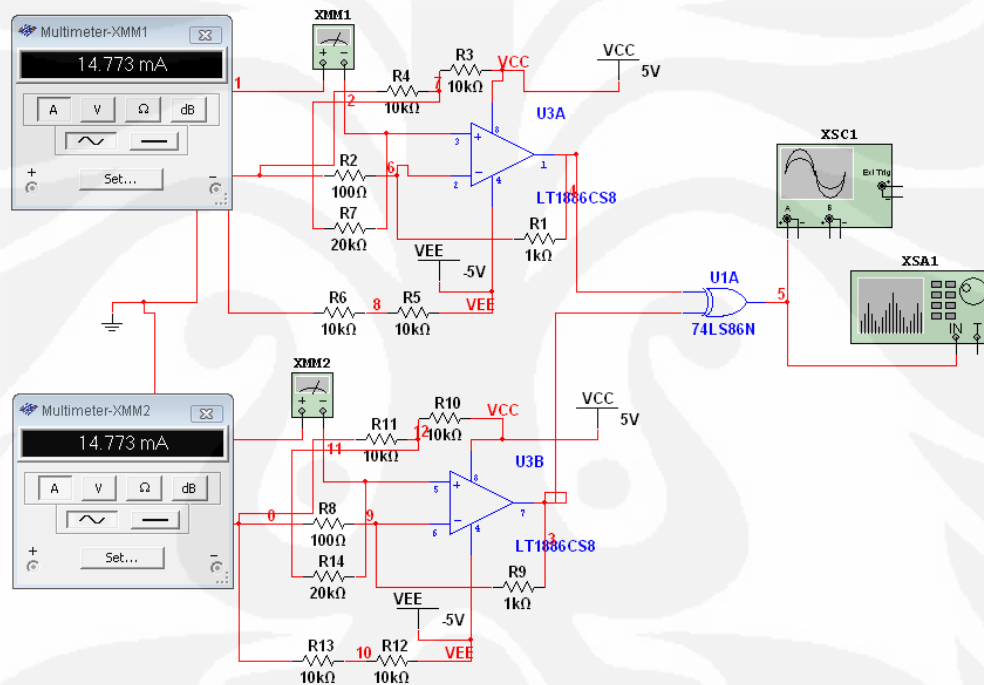


Gambar 5.4 Nilai arus pada masukan kaki positif dan kaki negatif *operational amplifier* tanpa kompensasi

Gambar 5.4 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 206.601 MA dan yang masuk ke kaki positif untuk *operational amplifier* sebesar 208.071 MA. Nilai arus pada kedua kaki masukan *operational amplifier* tersebut berubah-ubah setiap saat, meskipun demikian nilai arus yang ditunjukkan oleh multimeter selalu sangat tinggi. Bisa dibayangkan besarnya disipasi daya yang terdapat didalam IC tersebut, dan besarnya panas yang dapat ditimbulkan oleh arus tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan rangkaian kompensasi untuk membatasi arus yang masuk kedalam *operational amplifier*. Didalam penelitian yang dilakukan saudara Taufiq Alif Kurniawan dilakukan penambahan rangkaian kompensasi seperti pada gambar 5.5 di halaman

selanjutnya dapat dilihat bahwa nilai arus pada kaki positif pada rangkaian dengan menggunakan kompensasi berdasarkan salah satu sampel yang diambil dari simulasi adalah sebesar 14.773 mA dan 14.773 mA. 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* untuk dapat bekerja dengan baik pada daerah kerjanya.



Gambar 5.5 Nilai arus pada masukan kaki positif *operational amplifier* dengan rangkaian kompensasi saudara Taufiq Alif Kurniawan [15].

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,

$$P = i^2 \cdot R \quad (5.1)$$

Keterangan :

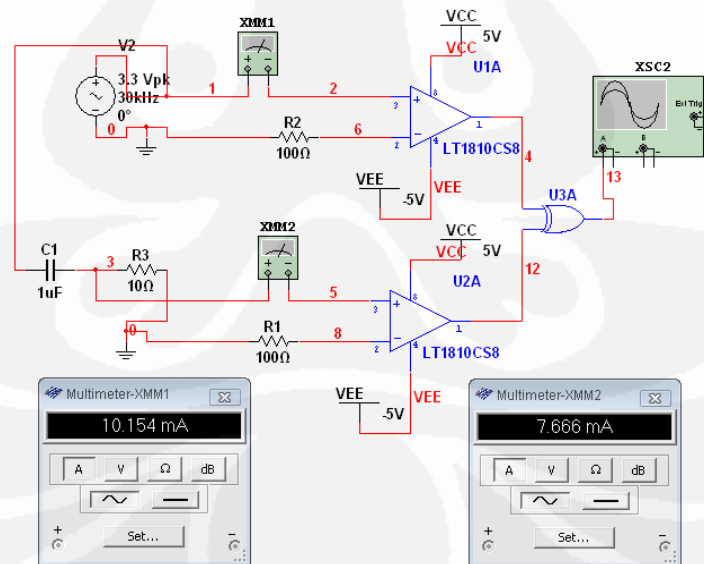
P = rugi disipasi daya (watt)

i = arus yang mengalir (ampere)

R = besarnya resistansi (ohm)

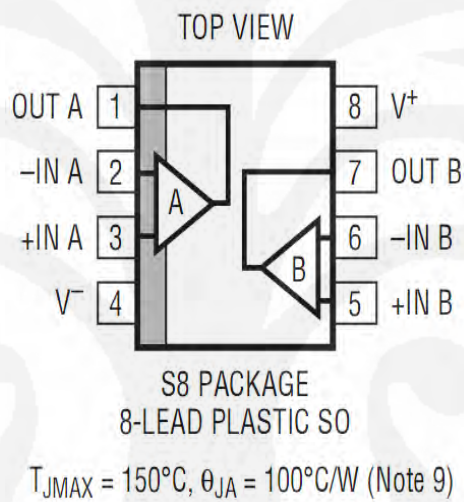
Dalam hal ini besarnya daya (P) akan menghasilkan panas yang berlebih didalam rangkaian *operational amplifier*, padahal kinerja komponen elektronika, khususnya IC sangat rentan terhadap panas. *Operational amplifier* LT1810CS8 sendiri sesuai dengan *datasheet*nya memiliki daerah operasi kerja dari -40° sampai 85° . Oleh sebab itu, agar *operational amplifier* tersebut tetap dapat bekerja dengan baik, perlu dijaga nilai arus yang masuk ke dalamnya.

Besar arus yang masuk ke dalam *operational amplifier* sudah dapat diatasi dengan menggunakan rangkaian kompensasi, hanya saja rangkaian kompensasi yang digunakan justru mempengaruhi nilai kapasitansi dan resistansi pada rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik yang digunakan, dengan demikian penulis menggunakan rangkaian kompensasi sendiri, tetapi tidak mempengaruhi sinyal keluaran dari rangkaian pengganti sensor, serta tetap menjaga agar arus yang masuk kedalam *operational amplifier* tetap kecil.



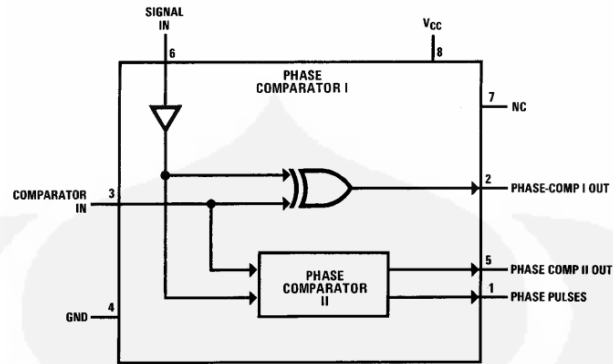
Gambar 5.6 Nilai arus pada masukan kaki positif *operational amplifier* dengan rangkaian kompensasi yang sudah di optimisasi.

Ada sedikit perbedaan antara desain di multisim dengan desain yang dibuat pada Protel 99. Jika pada simulasi dengan menggunakan multisim, seperti pada gambar 5.6 digunakan dua buah *operational amplifier* LT1810CS8, maka pada desain dengan menggunakan Protel 99 digunakan satu buah *operational amplifier* LT1810CS8. Hal ini *operational amplifier* LT1810CS8 merupakan dual *operational amplifier* (dua buah *operational amplifier* yang digabungkan dalam satu *chip*). Oleh karena itu, untuk mengoptimisasikan komponen maka desain rangkaian detektor fasanya hanya menggunakan satu buah IC.



Gambar 5.7 Diagram blok dual *operational amplifier* LT1810CS8

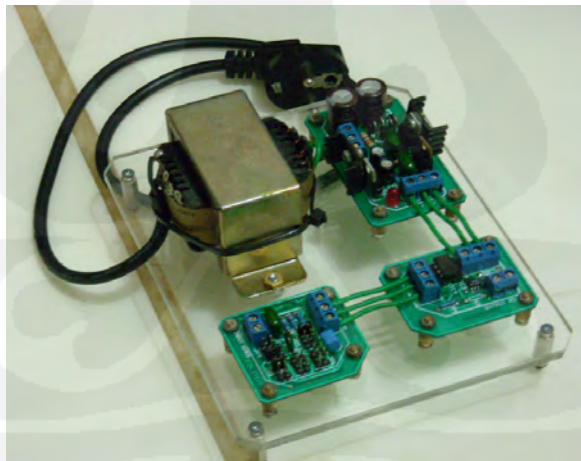
Berdasarkan desain yang telah dibuat di Protel 99 pin ke dua dan tiga digunakan sebagai kaki masukan *input* rangkaian pengganti sensor, sedangkan pin lima dan enam digunakan sebagai masukan *output* rangkaian pengganti sensor. Pin satu dan pin tujuh akan dihubungkan dengan kaki masukan IC MM74C932, yang didalamnya adalah sebuah gerbang XOR. Pin satu pada LT1810CS8 akan dihubungkan dengan pin tiga pada MM74C932, dan pin tujuh pada LT1810CS8 dihubungkan dengan pin enam pada MM74C932. Sementara pada pin delapan dan pin empat pada LT1810CS8 dihubungkan dengan masukan VCC positif (+5 Volt) dan VCC negatif (-5 Volt).



Gambar 5.8 Diagram blok IC MM74C932

Untuk IC *phase comparator* MM74C932, pin duanya merupakan keluaran dari alat yang berupa sinyal pulsa yang mencerminkan beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Pin 8 dihubungkan dengan VCC (+5 Volt) dan pin 4 nya dihubungkan dengan *ground*.

5.1.2 Implementasi Desain pada PCB (*Printed Circuit Board*)

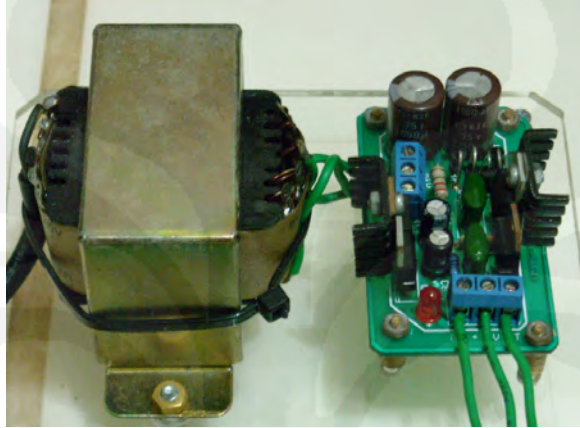


Gambar 5. 9 Implementasi desain rangkaian detektor fasa

Berdasarkan gambar 5.9 diatas, hasil implementasi rangkaian detektor fasa dapat dibagi menjadi tiga bagian yakni rangkaian *power supply*, rangkaian Pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dan rangkaian utama pembaca beda fasa.

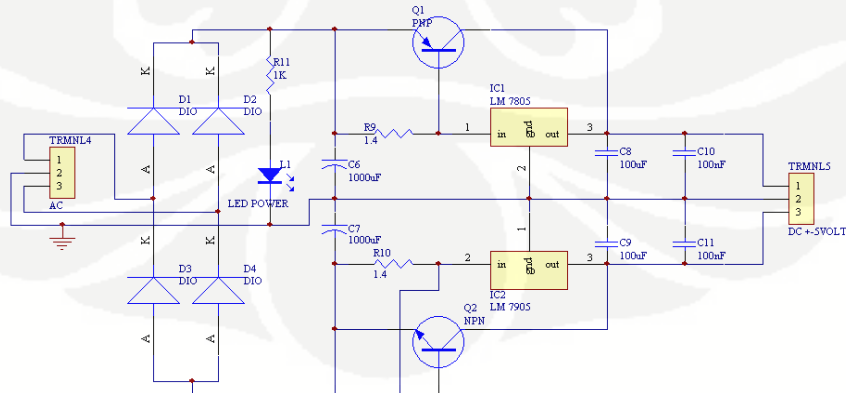
5.1.2.1 Rangkaian *Power Supply*

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



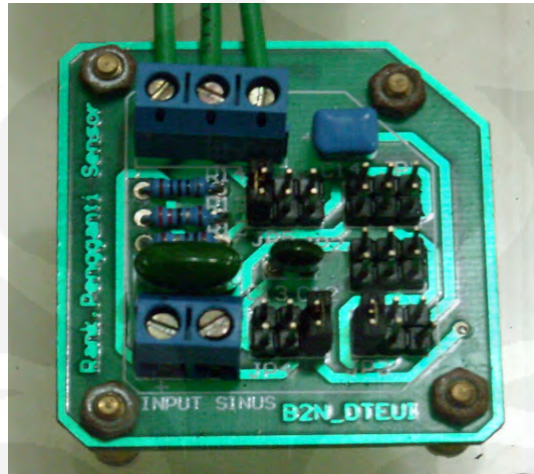
Gambar 5. 10 Rangkaian suplai tegangan

Seperti yang tampak pada gambar 5.10 diatas, rangkaian suplai tegangan yang digunakan terdiri dari *trafo step-down* 2 A dan rangkaian penyearah. Masukan *trafo* tersebut adalah tegangan bolak-balik 220 Volt dan keluarannya berupa tegangan bolak-balik 9 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 regulator LM7805 dan LM7905. Berikut adalah Rangkaian Schematic *power supply* yang digunakan :



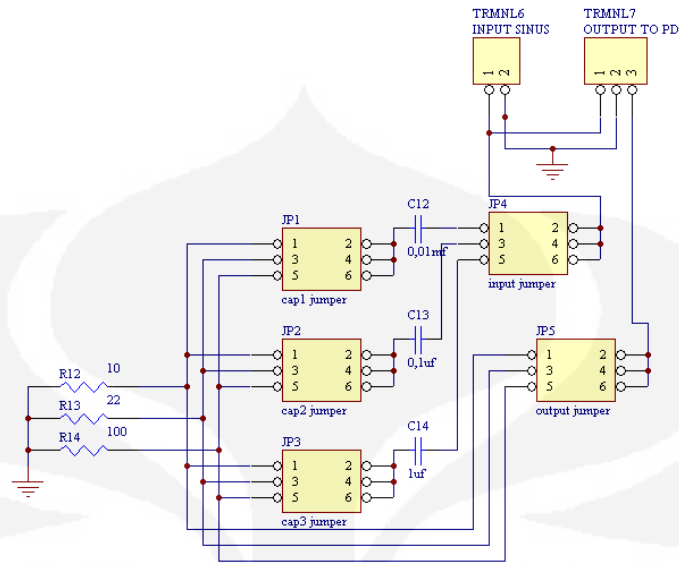
Gambar 5. 11 Rangkaian *schematic* suplai tegangan

5.1.2.2 Rangkaian Pengganti Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Listrik



Gambar 5. 12 Rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik

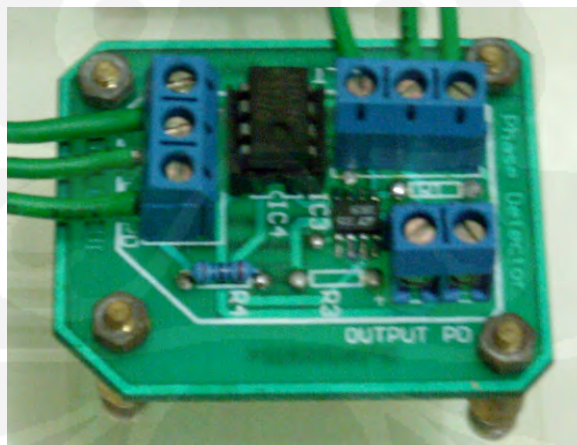
Gambar rangkaian 5.12 diatas merupakan Rangkaian pengganti sensor dan konduktivitas listrik impedansi pada tanah yang terdiri dari resistansi dan kapasitansi. Kombinasi kapasitansi dan resistansi yang disusun seperti gambar tersebut akan menyebabkan terjadinya beda fasa antara tegangan masukan sensor ($V_{input\ sensor}$) dan tegangan keluaran sensor ($V_{output\ sensor}$)[3]. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi tanah diukur dengan menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Besarnya nilai kapasitansi dan resistansi yang berbeda-beda untuk setiap jenis tanah akan mempengaruhi nilai konduktivitas listrik di dalam tanah. Didalam penelitian ini penulis menggunakan konfigurasi dari kapasitor dan resistor, dengan nilai kapasitor sebesar $0,01\ \mu\text{F}$, $0,1\ \mu\text{F}$, dan $1\ \mu\text{F}$. Sedangkan untuk nilai resistansi yang digunakan sebesar $10\ \Omega$, $22\ \Omega$, dan $100\ \Omega$. Ketiga kapasitor dan resistor dirangkai secara seri, hanya saja dipisahkan oleh jumper, dengan demikian dapat digunakan untuk beberapa konfigurasi pasangan kapasitor dan resistor yang berbeda – beda. Berikut adalah Rangkaian Schematic rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik.



Gambar 5. 13 Rangkaian *schematic* pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik

5.1.2.3 Rangkaian Utama Pembaca Beda Fasa

Rangkaian ketiga yang merupakan bagian dari rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas elektrik adalah rangkaian utama pembaca beda fasa.



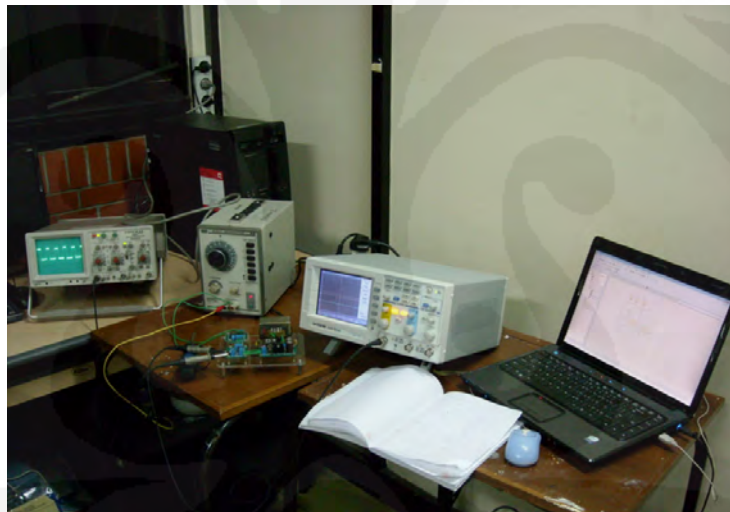
Gambar 5. 14 Rangkaian utama pembaca beda fasa

Seperti pada gambar 5.14, rangkaian utama pembaca beda fasa hanya terdiri dari *operational amplifier* LT1810CS8, IC MM74C932 yang dibangun sebuah gerbang logika XOR. Tiga terminal diatas berfungsi sebagai, terminal

pertama digunakan untuk sinyal masukan tegangan +VCC dan -VCC, terminal kedua digunakan sebagai Sinyal masukan dan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dan terminal ketiga digunakan sebagai terminal untuk monitoring keluaran dari rangkaian pembaca beda fasa yang nantinya dihubungkan dan diamati di *oscilloscope*.

5.2 Pengujian Detektor Fasa Frekuensi Rendah

Langkah terakhir yang dilakukan dalam implementasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah adalah pengujian alat. Dalam pengujian alat yang telah dilakukan, penulis tidak menggunakan sensor kelembaban dan konduktivitas listrik melainkan menggantinya dengan kombinasi resistor dan kapasitor sebagai pengganti nilai kapasitansi dan resistansi tanah yang dibaca oleh sensor tersebut.

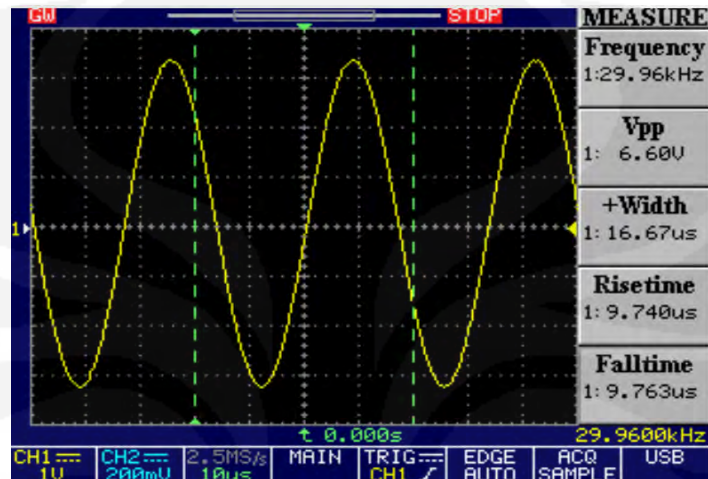


Gambar 5. 15 Pengujian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8

Dalam Pengujian alat, penulis hanya menggunakan satu sampel data yakni kombinasi resistor dan kapasitor, seperti yang sudah dijelaskan diatas mengenai rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Hasil uji coba alat akan dibandingkan dengan hasil simulasi dengan menggunakan multisim 10.0.1 dan hasil dari penelitian saudara Taufiq Alif Kurniawan.

5.2.1 Pengujian Sinyal dari RC Generator

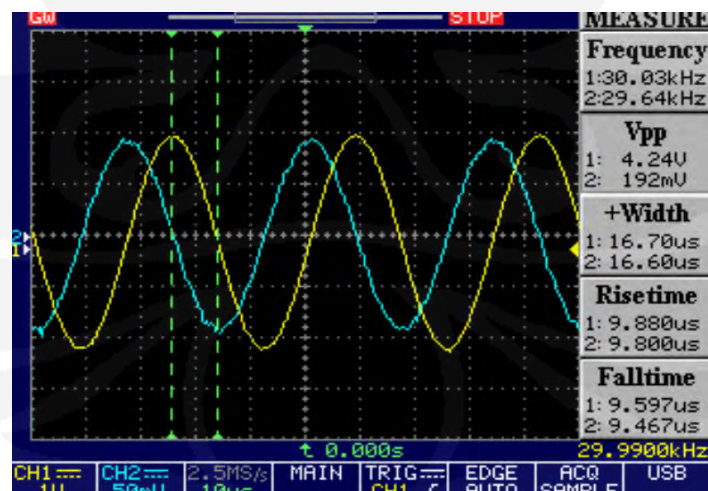
Sinyal masukan alat yang mempunyai frekuensi sebesar 30 kHz dan magnitude sebesar 3,3 Vp diambil dari RC Generator.



Gambar 5. 16 Sinyal masukan detektor fasa dari RC Generator menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek

5.2.2 Pengujian Sinyal Masukan dan Keluaran Sensor

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



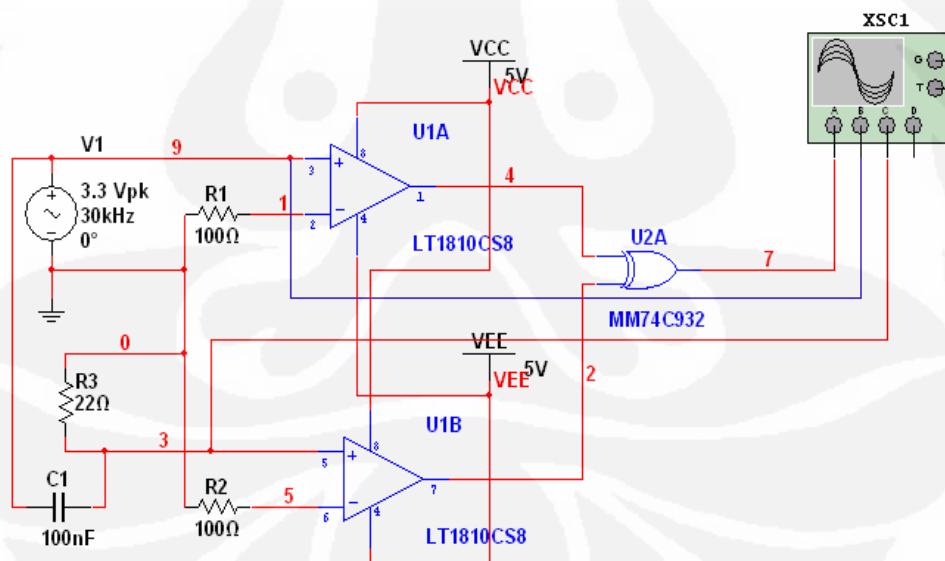
Gambar 5. 17 Sinyal masukan dan sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek

Seperti yang tampak pada gambar diatas, sinyal yang berwarna kuning adalah sinyal masukan rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, sedangkan sinyal yang berwarna biru adalah sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik untuk variasi beban 10 nf dan 22 ohm. Melalui gambar 5.17 diatas dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran fasa antara sinyal masukan sensor dan sinyal keluaran sensor, terbukti frekuensi kedua sinyal tersebut tidak jauh berbeda.

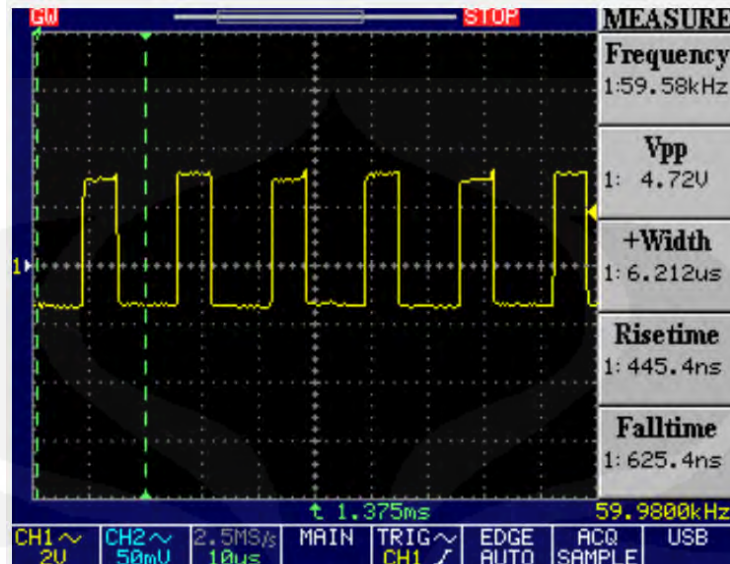
5.2.3 Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 KHz

5.2.3.1 Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 KHz Secara Praktek untuk *Operational Amplifier* LT1810CS8

Didalam penelitian ini penulis menggunakan beberapa variasi beban pada rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik, dibawah ini adalah salah satu variasi beban pada rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik,



Gambar 5. 18 Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek



Gambar 5. 19 Sinyal keluaran detektor fasa frekuensi rendah pada 0,1 μ F dan 10 ohm menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek

Pengujian rangkaian detektor fasa dengan menggunakan nilai kapasitor sebesar 0,1 μ F dan resistor sebesar 22 ohm menghasilkan sinyal keluaran seperti pada gambar 5.18. lebar pulsa tersebut adalah 6,788 μ s. Jika dibagi dengan besarnya lebar pulsa saat 90 $^{\circ}$ untuk rangkain detektor fasa menggunakan LT1810CS8 maka:

$$\text{Beda fasa} = \frac{6,212 \times 10^{-6} \text{ s}_x 90^{\circ}}{8,3445 \times 10^{-8} \text{ s}} = 67,0001^{\circ}$$

Sedangkan jika dilakukan perhitungan, lebar fasa antara sinyal masukan sensor dan keluaran sensor untuk variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm pada frekuensi 30 kHz adalah sebesar 67,4870 $^{\circ}$. Hasil ini membuktikan bahwa pulsa tegangan keluaran alat pada gambar 5.18 merupakan pulsa tegangan keluaran beda fasa antara sinyal masukan rangkaian pengganti sensor dan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor. Dibawah ini adalah data hasil percobaan rangkaian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* untuk variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm :

Tabel 5.1 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	6.018E-06	18	6.027E-06	35	5.853E-06	6.010137255E-06
2	5.829E-06	19	5.995E-06	36	5.672E-06	Variasi
3	6.212E-06	20	6.072E-06	37	6.275E-06	1.425456078E-14
4	6.021E-06	21	6.025E-06	38	6.021E-06	Variasi/Rata-rata
5	6.025E-06	22	6.257E-06	39	6.017E-06	2.371752953E-09
6	6.011E-06	23	6.021E-06	40	5.981E-06	Standar deviasi
7	6.014E-06	24	6.014E-06	41	6.056E-06	1.193924654E-07
8	5.995E-06	25	5.976E-06	42	5.783E-06	Frek. Percobaan (khz)
9	6.086E-06	26	6.045E-06	43	6.017E-06	2.99600000E+04
10	5.629E-06	27	5.893E-06	44	5.957E-06	90 derajat (second)
11	6.290E-06	28	6.135E-06	45	6.044E-06	8.34445928E-06
12	6.014E-06	29	5.948E-06	46	5.972E-06	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	6.018E-06	30	6.036E-06	47	6.034E-06	6.74869711E+01
14	5.971E-06	31	6.007E-06	48	6.000E-06	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	6.024E-06	32	6.042E-06	49	5.992E-06	6.48229364E+01
16	6.018E-06	33	5.996E-06	50	6.190E-06	Persentase Kesalahan (%)
17	5.972E-06	34	6.003E-06	51	6.014E-06	3.94748005E+00

Tabel 5.2 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	64.9077	18	65.0048	35	63.1281	64.8229
2	62.8693	19	64.6597	36	61.1759	Variasi
3	67.0001	20	65.4902	37	67.6796	1.6582
4	64.9401	21	64.9832	38	64.9401	Variasi/Rata-rata
5	64.9832	22	67.4855	39	64.8970	0.0255808
6	64.8322	23	64.9401	40	64.5087	Standar deviasi
7	64.8646	24	64.8646	41	65.3176	1.2877
8	64.6597	25	64.4547	42	62.3731	Frek. Percobaan (khz)
9	65.6412	26	65.1990	43	64.8970	29960.00
10	60.7121	27	63.5595	44	64.2498	90 derajat (second)
11	67.8414	28	66.1697	45	65.1882	8.3445E-06
12	64.8646	29	64.1527	46	64.4116	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	64.9077	30	65.1019	47	65.0803	67.4870
14	64.4008	31	64.7891	48	64.7136	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	64.9725	32	65.1666	49	64.6273	64.8229
16	64.9077	33	64.6705	50	66.7629	Persentase Kesalahan (%)
17	64.4116	34	64.7460	51	64.8646	3.9475

Tabel 5.1 adalah data pengukuran yang diambil melalui oscilloscope, dengan demikian masih dalam satuan second, hanya saja tidak mudah melakukan pengamatan data dalam satuan second, dikarenakan perubahannya sangat kecil, dengan demikian penulis membuat tabel 5.2 yaitu data pengukuran yang sudah

dalam sudut fasa dengan satuan derajat, dengan demikian lebih mudah didalam melakukan analisa data. Melalui tabel 5.2 dapat diketahui bahwa rangkaian detektor fasa untuk variasi beban 0,1 μF dan 22 ohm pada frekuensi kerja 30 kHz memiliki rata – rata percobaan sebesar 64,8229 $^{\circ}$, sedangkan jika dilakukan perhitungan secara teori didapat besar sudut fasa perhitungan sebesar 67,4870 $^{\circ}$, dengan demikian untuk variasi beban 0,1 μF dan 22 ohm memiliki presentase kesalahan sebesar 3,9475 %, dengan VMR (*Variasi Mean Ratio*) sebesar 0,0255808 dan standar deviasi sebesar 1,2877.

Didalam penelitian 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 5.3 Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa ($^{\circ}$) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8

No	Beban di Tanah		Lebar Pulsa Keluaran (s)	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor		Persentase Kesalahan (%)
	Kapasitansi Tanah	Resistan si Tanah		Sudut Fasa Praktek ($^{\circ}$)	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)	
1	1 μF	22 Ω	1.30657E-06	14.0921	13.5643	3.8912
2	1 μF	10 Ω	2.61588E-06	28.2139	27.9587	0.9126
3	0.1 μF	100 Ω	2.57627E-06	27.7867	27.9587	0.6154
4	0.1 μF	22 Ω	6.01014E-06	64.8229	67.4870	3.9475
5	0.1 μF	10 Ω	6.85155E-06	73.8981	79.3305	6.8479
6	0.01 μF	100 Ω	7.71571E-06	83.2185	79.3305	4.9010
7	0.01 μF	22 Ω	8.59398E-06	92.6912	87.6266	5.7798
8	0.01 μF	10 Ω	8.47888E-06	91.4498	88.9207	2.8443

Berdasarkan tabel 5.3 dapat diketahui bahwa persentase kesalahan berkisar 0,6154 % sampai dengan 6,8479 %, nilai persentase tersebut adalah perbandingan antara sudut fasa perhitungan dan sudut fasa praktek, kesalahan persentase tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :

Nilai kapasitansi yang terukur (*real*) tidak sama dengan nilai kapasitansi dalam perhitungan, untuk kapasitansi nilai 1 μF terukur sebesar 1,02 μF , kapasitansi nilai 0,1 μF terukur 0,103 μF , dan untuk nilai kapasitansi 0,01 μF terukur 0,01 μF . Disamping nilai kapasitansi kesalahan persentase tersebut juga di sebabkan oleh besar nilai resistansi yang terukur (*real*) tidak sama dengan nilai

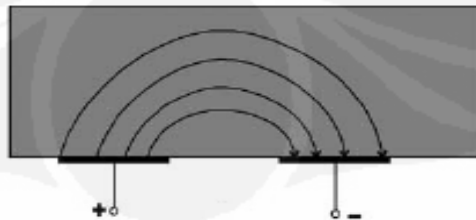
resistansi dalam perhitungan, untuk resistansi nilai 100 Ω terukur sebesar 99,7 Ω , resistansi nilai 22 Ω terukur sebesar 22,2 Ω , dan untuk nilai resistansi 10 Ω terukur sebesar 10,2 Ω . Selain itu nilai Frekuensi yang digunakan didalam pengujian rangkaian detektor fasa juga tidak 30 kHz tepat , frekuensi yang digunakan 29960.00 kHz. Ketiga parameter diatas memang menjadi faktor pendukung kesalahan, namun faktor penyebab kesalahan terbesar adalah rugi karena adanya kapasitansi yang timbul diantara konduktor tembaga di *pcb*. 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 (m^2)
- d = jarak antara dua konduktor (m)

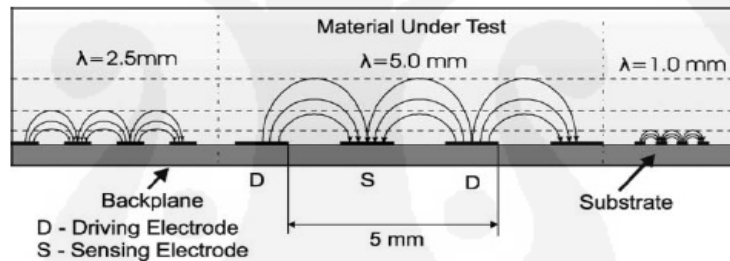
Disamping pengaruh tersebut, apabila terdiri dari dua konduktor atau lebih, *fluks* listrik dari satu konduktor akan menginduksi muatan di konduktor yang lainnya. Jumlah muatan yang terpisah antara dua konduktor ini akan menimbulkan nilai kapasitansi diantara keduanya. Kapasitansi yang timbul diantara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



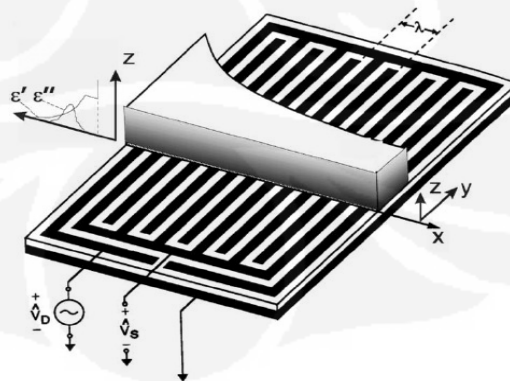
Gambar 5. 20 *Quasi-static electric field* [12]

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 5.20, 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 5.21 Kedalaman penetrasi garis medan listrik sebanding dengan jarak antara elektroda yang berdekatan sebanding dengan periode spasial λ



Gambar 5.22 *Interdigital dielectrometry sensor*

Penelitian kedalaman penetrasi *fringing electric fields* dalam paper tersebut yang hasilnya seperti pada gambar 5.21, merupakan pengukuran kedalaman penetrasi untuk *interdigital dielectromagnetry sensor* yang ditunjukkan pada gambar 5.22. 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.

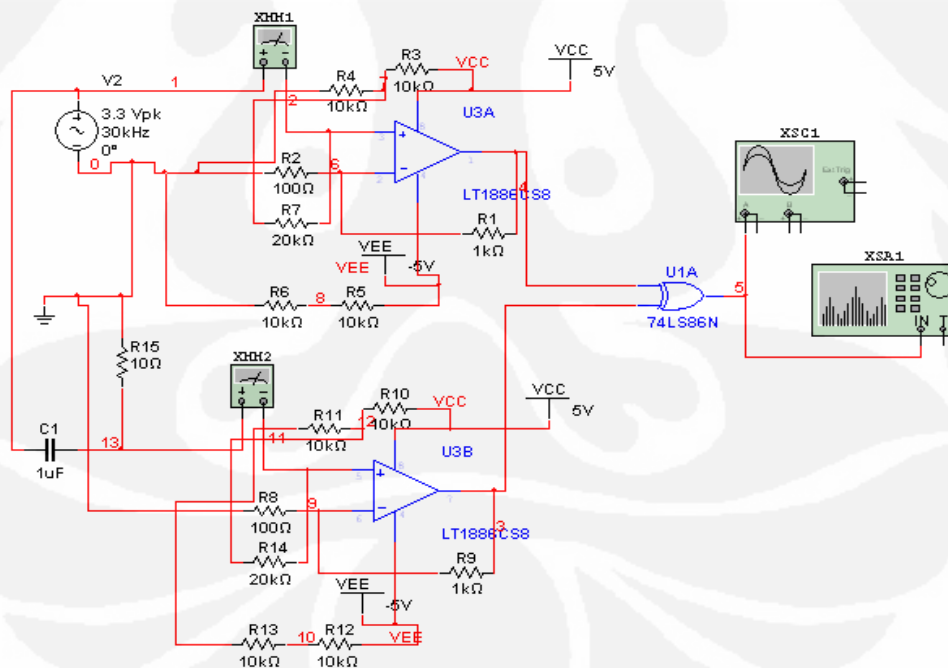
Berdasarkan gambar 5.21, garis medan listrik yang paling tinggi didapatkan ketika λ sebesar 5 mm. Sedangkan garis medan listrik yang paling rendah didapatkan ketika λ sebesar 1 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingginya garis medan listrik (kedalaman penetrasi) sebanding dengan besarnya jarak antara 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 rangkaian kompensasi dan rangkaian utama pembaca beda fasa. 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*.

Penelitian ini dilakukan mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan, dengan dilakukan *improvisasi* pada desain rangkaian dan pemilihan komponen yang digunakan, dengan demikian hasil penelitian ini perlu di bandingkan dengan hasil penelitian optimisasi detektor fasa yang dilakukan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan untuk *operational amplifier* LT1886CS8.

5.2.3.2 Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz Secara Simulasi untuk *Operational Amplifier* LT1886CS8

Penelitian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebelumnya yang dilakukan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 sebagai *zero crossing detector* untuk mengubah sinyal sinus masukan sensor dan sinyal keluaran rangkaian pengganti sensor kelembaban dan konduktivitas listrik. Dibawah ini adalah gambar rangkaian yang digunakan didalam pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8.



Gambar 5. 23 Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi [15]

Data pengujian dibawah ini adalah salah satu data pengujian detektor fasa frekuensi yang dilakukan saudara Taufiq Alif Kurniawan menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi.

Tabel 5.4 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8, dengan variasi beban 1 μ F dan 10 ohm secara simulasi [15]

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	3.36844E-06	11	2.7592E-06	21	2.70236E-06	2.71317E-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	2.28806E-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	8.43314E-09
6	2.50722E-06	16	2.63284E-06	26	2.70398E-06	Sdt Fasa Perhitungan (°)
7	2.71588E-06	17	2.74769E-06	27	2.63702E-06	27.9587
8	2.65797E-06	18	2.62847E-06	28	2.69738E-06	Sdt Fasa Percobaan (°)
9	2.70775E-06	19	2.78993E-06	29	2.71617E-06	29.3948694
10	2.77903E-06	20	2.57348E-06	30	2.57069E-06	Persentase Kesalahan (%)
						5.136753135

Tabel 5.5 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8, dengan variasi beban 1 μ F dan 10 ohm secara simulasi [15]

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	36.4941	11	29.8935	21	29.2777	29.3949
2	26.7098	12	29.5609	22	28.7689	Variasi
3	30.1094	13	30.0798	23	30.4654	2.6857
4	29.9005	14	28.1845	24	28.4826	Variasi/Rata-rata
5	30.3635	15	29.5636	25	29.9172	0.0913657
6	27.1635	16	28.5245	26	29.2953	Standar deviasi
7	29.4242	17	29.7689	27	28.5698	1.6388
8	28.7968	18	28.4772	28	29.2237	Sudut Fasa Perhitungan (°)
9	29.3361	19	30.2265	29	29.4273	27.9587
10	30.1084	20	27.8814	30	27.8512	Persentase Kesalahan (%)
						5.1367

Tabel 5.4 adalah data pengukuran lebar pulsa untuk variasi beban 1 μ F dan 10 ohm yang diambil dari *oscilloscope* secara simulasi menggunakan software Multisim 10.1, dengan demikian hasil pengukuran masih dalam *second*. Hanya saja didalam satuan *second* tidak mudah dalam melakukan pengamatan data, dikarenakan perubahan yang terjadi terlalu kecil, oleh karena itu penulis membuat tabel 5.5 yang mengacu pada tabel 5.4 hanya saja satuan data sudah di ubah kedalam sudut fasa (°), dengan demikian dapat dilihat variasi data yang dihasilkan

oleh rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8, melalui tabel 5.5 dapat diketahui bahwa rata – rata sudut fasa percobaan adalah 29,3949 °, sedangkan jika dilakukan perhitungan sudut fasa berdasarkan variasi beban yang digunakan didapat sudut fasa sebesar 27.9587 °, dengan demikian didapat persentase kesalahan sebesar 5,1367 %, dengan VMR (*varian mean ratio*) sebesar 0,0913657 dan standar deviasi sebesar 1,6388.

Didalam penelitian sebelumnya yang dilakukan saudara Taufiq Alif Kurniawan 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 5.6 Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 [15]

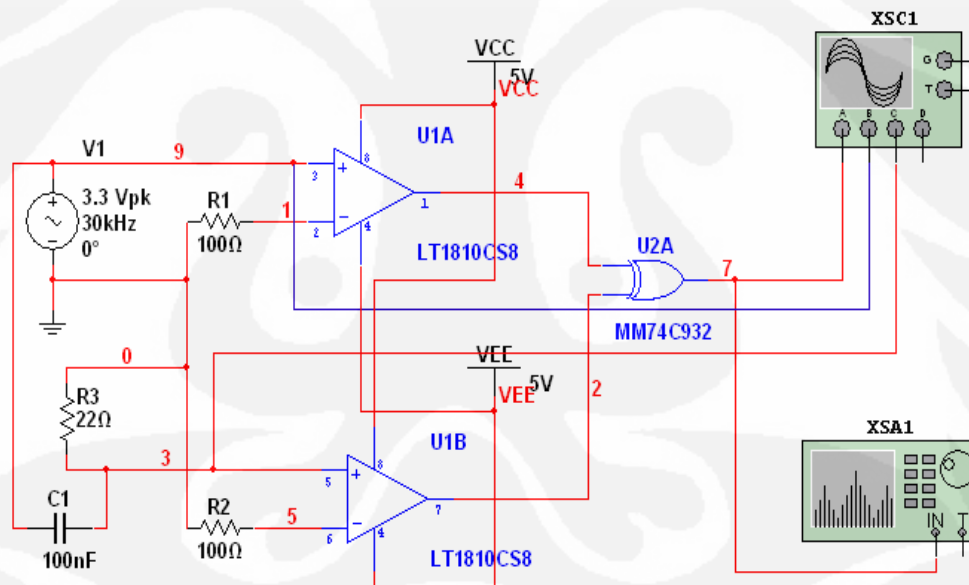
No	Beban di Tanah		Lebar Pulsa Keluaran (s)	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor		Persentase Kesalahan (%)
	Resistansi Tanah	Kapasitansi Tanah		Sudut Fasa Simulasi (°)	Sudut Fasa Perhitungan (°)	
			1	1 μ F	22 Ω	1.40504E-06
2	1 μ F	10 Ω	2.71317E-06	29.3949	27.9587	5.1367
3	0.1 μ F	22 Ω	6.20738E-06	67.2516	67.4870	0.3488
4	0.1 μ F	10 Ω	7.30782E-06	79.1739	79.3305	0.1975
5	0.01 μ F	100 Ω	7.25593E-06	78.6117	79.3305	0.9062

Berdasarkan tabel 5.6 dapat diketahui persentase kesalahan berkisar 0,1975 % - 12,2243 %, adapun faktor penyebab terjadinya kesalahan sudah dijelaskan oleh saudara Taufiq Alif Kurniawan didalam penelitian sebelumnya, melalui tabel 5.6 dapat diketahui untuk nilai kapasitansi 1 μ F memiliki nilai persentase kesalahan yang relatif yg cukup besar bila dibandingkan nilai persentase kesalahan untuk nilai kapasitansi 0.1 μ F dan 0.01 μ F. Jika tabel 5.6 dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek pada tabel 5.3 , dapat diketahui nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1886CS8 cenderung lebih kecil dibandingkan nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1810CS8. Perbandingan kedua data pengujian

rangkaian detektor fasa frekuensi rendah diatas akan di jelaskan lebih detail pada subbab pembahasan dibawah.

5.2.3.3 Pengujian Sinyal Keluaran Detektor Fasa Frekuensi Rendah di Frekuensi 30 Khz Secara Simulasi untuk *Operational Amplifier* LT1810CS8

Selain melakukan pengujian secara praktek (menggunakan alat), penulis juga melakukan pengujian secara simulasi menggunakan software Multisim 10.1, pengujian sinyal keluaran detektor fasa frekuensi rendah pada frekuensi 30Khz menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 menggunakan multisim ini menggunakan rangkaian yang sama dengan rangkaian pada saat pengujian sinyal keluaran detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek. Berikut rangkaian yang digunakan didalam pengujian detektor fasa menggunakan LT1810CS8 secara simulasi.



Gambar 5. 24 Gambar rangkaian pengujian sinyal keluaran sensor detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi

Data pengujian dibawah ini adalah salah satu data pengujian detektor fasa frekuensi menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi.

Tabel 5.7 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam lebar pulsa (second) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm secara simulasi

No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	No	Lebar Pulsa (s)	Rata-Rata (s)
1	6.05229E-06	18	6.15024E-06	35	6.25190E-06	6.162522012E-06
2	6.27505E-06	19	6.12920E-06	36	6.24327E-06	Variasi
3	6.17986E-06	20	6.15042E-06	37	6.14377E-06	3.178546524E-15
4	6.12691E-06	21	6.12887E-06	38	6.12211E-06	Variasi/Rata-rata
5	6.19368E-06	22	6.15040E-06	39	6.14275E-06	5.157866402E-10
6	6.10160E-06	23	6.12890E-06	40	6.24826E-06	Standar deviasi
7	6.05294E-06	24	6.15040E-06	41	6.15641E-06	5.637859987E-08
8	6.12044E-06	25	6.12890E-06	42	6.24701E-06	Frek. Percobaan (khz)
9	6.18455E-06	26	6.15040E-06	43	6.28485E-06	30000.00
10	6.24924E-06	27	6.12889E-06	44	6.22725E-06	90 derajat (second)
11	6.18421E-06	28	6.15040E-06	45	6.19413E-06	8.3333E-06
12	6.26710E-06	29	6.12890E-06	46	6.14843E-06	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	6.18779E-06	30	6.15043E-06	47	6.13704E-06	67.4870
14	6.27694E-06	31	6.12885E-06	48	6.15023E-06	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	6.19122E-06	32	6.15040E-06	49	6.12922E-06	66.5552
16	6.08659E-06	33	6.12890E-06	50	6.15039E-06	Persentase Kesalahan (%)
17	6.06739E-06	34	6.15040E-06	51	6.12893E-06	1.380612213

Tabel 5.8 Data pengukuran rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa (°) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8, dengan variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm secara simulasi

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	65.3647	18	66.4226	35	67.5205	66.5552
2	67.7705	19	66.1954	36	67.4273	Variasi
3	66.7425	20	66.4245	37	66.3527	0.3707
4	66.1706	21	66.1918	38	66.1187	Variasi/Rata-rata
5	66.8918	22	66.4243	39	66.3417	0.0055705
6	65.8973	23	66.1921	40	67.4812	Standar deviasi
7	65.3717	24	66.4243	41	66.4893	0.6089
8	66.1007	25	66.1921	42	67.4677	Frek. Percobaan (khz)
9	66.7932	26	66.4243	43	67.8764	30000.00
10	67.4917	27	66.1920	44	67.2543	90 derajat (second)
11	66.7894	28	66.4243	45	66.8966	8.3333E-06
12	67.6847	29	66.1922	46	66.4030	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	66.8281	30	66.4247	47	66.2801	67.4870
14	67.7910	31	66.1916	48	66.4225	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	66.8652	32	66.4244	49	66.1956	66.5552
16	65.7351	33	66.1921	50	66.4242	Persentase Kesalahan (%)
17	65.5278	34	66.4243	51	66.1924	1.3806

Tabel 5.7 adalah data pengukuran lebar pulsa untuk variasi beban 0,1 μ F dan 22 ohm yang diambil dari *oscilloscope* secara simulasi menggunakan software Multisim 10.1, dengan demikian hasil pengukuran masih dalam *second*.

Hanya saja didalam satua *second* tidak mudah dalam melakukan pengamatan data, dikarenakan perubahan yang terjadi terlalu kecil, oleh karena itu penulis membuat tabel 5.8 yang mengacu pada tabel 5.7 hanya saja satuan data sudah di ubah kedalam sudut fasa ($^{\circ}$), dengan demikian dapat dilihat variasi data yang dihasilkan oleh rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8, melalui tabel 5.8 dapat diketahui bahwa rata – rata sudut fasa percobaan adalah $66,5552^{\circ}$, sedangkan jika dilakukan perhitungan sudut fasa berdasarkan variasi beban yang digunakan didapat sudut fasa sebesar $67,4870^{\circ}$, dengan demikian didapat persentase kesalahan sebesar $1,3806\%$, dengan VMR (*varian mean ratio*) sebesar $0,0055705$ dan standar deviasi sebesar $0,6089$.

Didalam pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 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 5.9 Data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa ($^{\circ}$) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi

No	Beban di Tanah		Lebar Pulsa Keluaran (s)	Pergeseran Fasa Masukan dan Keluaran Sensor		Persentase Kesalahan (%)
	Resistansi Tanah	Kapasitansi Tanah		Sudut Fasa Simulasi ($^{\circ}$)	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)	
1	1 μ F	22 Ω	1.3732E-06	14.8304	13.5643	9.3341
2	1 μ F	10 Ω	2.62980E-06	28.4018	27.9587	1.5848
3	0.1 μ F	22 Ω	6.16252E-06	66.5552	67.4870	1.3806
4	0.1 μ F	10 Ω	7.14880E-06	77.2071	79.3305	2.6767
5	0.01 μ F	100 Ω	7.16195E-06	77.3490	79.3305	2.4978

Berdasarkan tabel 5.9 dapat diketahui persentase kesalahan berkisar 1.3806% - $9,3341\%$, Jika tabel 5.9 dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 pada tabel 5.6 dan juga dibandingkan dengan data pengujian rangkaian detektor fasa dalam sudut fasa ($^{\circ}$) menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek pada tabel 5.3, dapat diketahui nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1886CS8 cenderung lebih kecil dibandingkan nilai persentase

kesalahan data pengujian menggunakan LT1810CS8 secara praktek dan juga lebih kecil terhadap nilai persentase kesalahan data pengujian menggunakan LT1810CS8 secara simulasi. Perbandingan ketiga data pengujian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah diatas akan di jelaskan lebih detail pada subbab pembahasan dibawah.

5.3 Perbandingan Hasil Keluaran Rangkaian Detektor Fasa

Berdasarkan pembahasan pada subbab 5.2 mengenai hasil pengujian rangkaian detektor fasa frekuensi rendah untuk *operational amplifier* LT1810CS8 praktek, *operational amplifier* LT1886CS8 simulasi, dan *operational amplifier* LT1810CS8 simulasi, berdasarkan data pengujian yang didapat dilihat di lampiran 6, maka dapat diketahui perbedaan nilai persentase kesalahan pada masing – masing data pengujian detektor fasa, sebagai berikut :

Tabel 5.10 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1810CS8 secara 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	1.4379	12.1264	13.5643	15.0022	3.8912
2	1 μ F	10 Ω	2.5596	25.3992	27.9587	30.5183	0.9126
3	0.1 μ F	22 Ω	1.2877	66.1993	67.4870	68.7747	3.9475
4	0.1 μ F	10 Ω	0.9454	78.3851	79.3305	80.2760	6.8479
5	0.01 μ F	100 Ω	1.3876	77.9430	79.3305	80.7181	4.9010

Tabel 5.11 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi [15] “telah diolah kembali “

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	12.2242
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

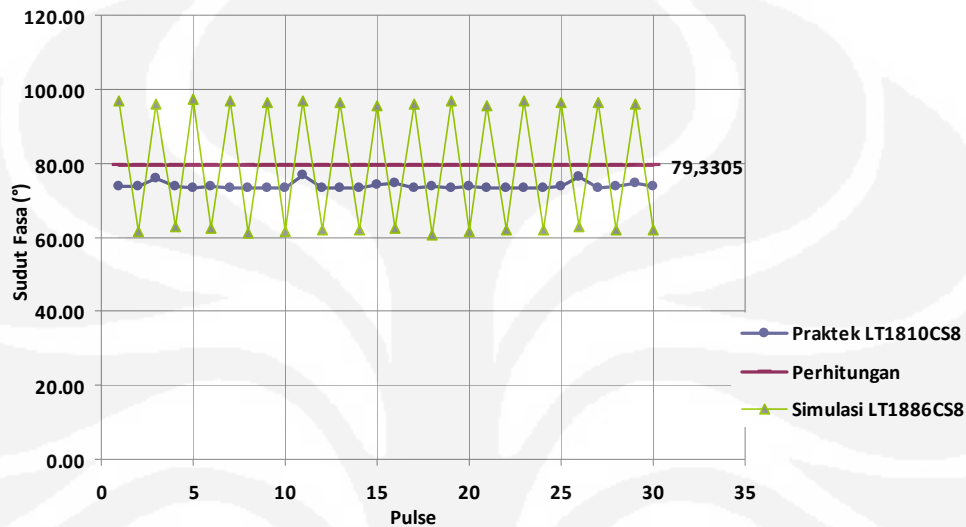
Tabel 5.12 Data pengujian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi

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	1.0148	12.5495	13.5643	14.5792	9.3341
2	1 μ F	10 Ω	0.9492	27.0095	27.9587	28.9079	1.5848
3	0.1 μ F	22 Ω	0.6089	66.8781	67.4870	68.0959	1.3806
4	0.1 μ F	10 Ω	0.7787	78.5518	79.3305	80.1093	2.6767
5	0.01 μ F	100 Ω	0.8722	78.4583	79.3305	80.2028	2.4978

Berdasarkan tabel 5.11 dan tabel 5.12 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* LT1810CS8 secara simulasi kurang akurat untuk nilai kapasitansi 1 μ F, Sedangkan untuk tabel 5.10 persentase kesalahan untuk variasi beban yang ada relatif besar, dikarenakan tabel 5.10 adalah tabel pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 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 di subbab 5.2.

Persentase kesalahan untuk pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* menggunakan LT1810CS8 secara praktek lebih besar dibandingkan pengujian menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8, hanya saja harus diperhatikan nilai standar deviasi untuk hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi relatif jauh lebih besar dibandingkan nilai standar deviasi untuk hasil pengujian LT1810CS8 secara praktek, demikian juga dengan persentase kesalahan untuk pengujian LT1886CS8 secara simulasi tetap relatif lebih kecil dibandingkan persentase kesalahan untuk pengujian LT1810CS8 secara simulasi, namun juga perlu diperhatikan nilai standar deviasi untuk pengujian LT1886CS8 secara simulasi jauh lebih besar bila dibandingkan nilai standar deviasi untuk pengujian LT1810CS8 secara simulasi. Gambar dibawah ini adalah grafik

perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara praktek dan LT1810CS8CS8 secara simulasi terhadap teori pada variasi beban $0.1 \mu\text{F}$ dan 10Ω yang mengacu pada data percobaan yang terdapat di lampiran 6.



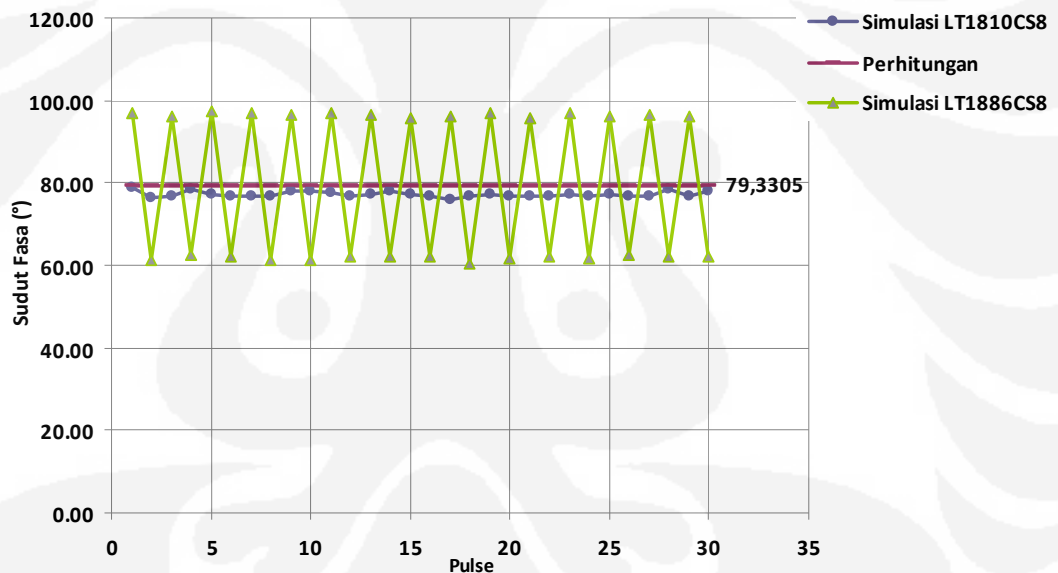
Gambar 5.25 Grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara praktek terhadap teori pada variasi beban $0.1 \mu\text{F}$ dan 10Ω

Berdasarkan gambar 5.25, terlihat sangat jelas bahwa hasil pengujian pada detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi memiliki variasi data yang sangat besar 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.

Jika dibandingkan dengan grafik dari hasil pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 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 secara simulasi. Hanya saja nilai persentase kesalahan untuk LT1810CS8 secara praktek lebih besar bila dibandingkan dengan detektor fasa dengan LT1886CS8 simulasi, hal

tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti yang sudah di jelaskan pada subbab 5.2.3.1 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.

Untuk menguatkan hipotesa tersebut penulis melakukan pengujian terhadap detektor fasa dengan menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 dan LT1810CS8 masing –masing secara simulasi, adapun data percobaan dapat di lihat pada lampiran 6, gambar dibawah ini adalah grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara simulasi terhadap teori pada variasi beban $0.1 \mu\text{F}$ dan 10Ω yang mengacu pada data percobaan yang terdapat di lampiran 6.



Gambar 5.26 Grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara simulasi terhadap teori pada variasi beban $0.1 \mu\text{F}$ dan 10Ω .

Berdasarkan gambar 5.26 grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara simulasi dapat kita ketahui hal yang sama terjadi seperti gambar 5.25 grafik perbandingan hasil pengujian LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara praktek. Detektor fasa yang menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara

simulasi memiliki variasi data yang sangat besar 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. Grafik dari hasil pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi terlihat bahwa variasi data kecil, dengan demikian menyebabkan standar deviasi menjadi kecil dan data pengukuran lebih presisi dibandingkan dengan hasil pengukuran detektor fasa menggunakan LT1886CS8 secara simulasi maupun dengan detektor fasa menggunakan LT1810CS8 secara praktek, dengan demikian hasil pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi lebih presisi dibandingkan dengan kedua metode uji yang lain, terbukti dengan nilai standar deviasi LT1810CS8 secara simulasi paling kecil dibandingkan dengan nilai standar deviasi LT1810CS8 secara praktek dan LT1886CS8 secara simulasi.

Nilai persentase kesalahan hasil pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 secara multisim lebih kecil dibandingkan LT1810CS8 secara praktek, hal ini wajar dikarenakan pengujian yang dilakukan secara praktek biasanya memiliki nilai persentase kesalahan yang lebih besar, hanya saja nilai persentase kesalahan LT1810CS8 secara simulasi lebih besar dibandingkan nilai persentase kesalahan LT1886CS8 secara simulasi, dikarenakan LT1886CS8 secara simulasi memiliki nilai standar deviasi yang besar dan didapatkan nilai persentase error kecil, dikarenakan nilai sudut fasa rata – rata dari data pengujian detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 secara kebetulan mendekati dengan nilai sudut fasa secara perhitungan. Didalam melakukan penelitian ini penulis menggunakan beberapa variasi beban, data percobaan hasil pengujian dapat dilihat di lampiran 6, sedangkan gambar grafik perbandingan hasil pengujian detektor fasa dengan variasi beban yang lain dapat dilihat di lampiran 7.

Melalui analisa diatas menguatkan hipotesa 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 detektor fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 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. *Integrated circuit phase comparator* MM74C932, LM565, 74HC4046AN, MC4044, dan 74LS86 tidak dapat digunakan sebagai detektor fasa, jika sinyal masukan *phase comparator* berbentuk gelombang sinus.
2. Berdasarkan analisa *datasheet* dan pengujian simulasi terhadap *operational amplifier* LT1807, LT1810CS8, MAX4106, LM675, dan LTC1051 didapatkan LT1810CS8 sebagai komponen yang tepat dalam perancangan detektor fasa karena memiliki *Gain Bandwidth Product* 170 MHz, *slew rate* 350 V/ μ s, CMRR sebesar 89 dB.
3. Berdasarkan analisa dan pengujian secara praktek terhadap gerbang XOR di *integrated circuit* 74HC4046AN, MM74C932 dan 74LS86 didapatkan MM74C932 sebagai komponen yang tepat dalam perancangan detektor fasa karena nilai persentase kesalahan rata-rata sebesar 1,9791 % dengan standar deviasi sebesar 0,4152 dimana nilai dari kedua parameter tersebut paling kecil dibandingkan nilai di parameter yang sama untuk 74HC4046AN dan 74LS86.
4. Berdasarkan analisa dan data pengujian diketahui rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1810CS8 dan XOR di *phase comparator* MM74C932 lebih presisi daripada rangkaian detektor fasa frekuensi rendah menggunakan *operational amplifier* LT1886CS8 dan XOR di CMOS 74LS86.
5. Rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dilakukan pengujian dengan hasil sebagai berikut:
 - a. Pengujian terhadap rangkaian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1810CS8 secara praktek, persentase kesalahan rata – rata yang terjadi sebesar 4,1000 % dengan standar deviasi rata – rata sebesar 1,5236

- b. Pengujian terhadap rangkaian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi, persentase kesalahan rata – rata yang terjadi sebesar 3,7627 % dengan standar deviasi rata – rata sebesar 8,8071
 - c. Pengujian terhadap rangkaian detektor fasa dengan *operational amplifier* LT1810CS8 secara simulasi, persentase kesalahan rata – rata yang terjadi sebesar 3,4948 % dengan standar deviasi rata – rata sebesar 0,8448
6. Optimisasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebagai rangkaian pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik dengan *slew rate* 350V/ μ s di *operational amplifier* LT1810CS8 dan gerbang XOR di *phase comparator* MM74C932, memiliki tingkat presisi yang lebih tinggi dibandingkan optimisasi rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebelumnya.

6.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka penulis memberikan saran untuk meningkatkan kinerja rangkaian detektor fasa hasil optimisasi, yaitu: Hasil perancangan rangkaian detektor fasa frekuensi rendah sebagai pembaca keluaran sensor kelembaban dan konduktivitas listrik 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] Boylestad, Robert.L.(2006).*Electronics Devices and Circuit Theory*.New Jersey:Pearson Education International.
- [4] Millman, Jacod and Gabel,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).*LT809/LT810 170 MHz, 350 V/ μ s, 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 Aplicati - 114 -ons Handbook*.Oxford:Analog Devices.
- [9] Philips.(1990).*74HC/HCT86 Quad 2-Input Exclusive-OR Gate*.USA:Philips Semiconductor.
- [10] Elliot, Rod.,Connel,Brian.(2007).*LX-800 Power Control Section*.Elliott Sound Products:Poject 62-C.
- [11] Ramo, Simon & Whinnery, John.R. (1984).*Fields and Waves in Communication Electronics, Second Edition*.New York:John Wiley & Sons.
- [12] Mamishev,A.V.,Sundara-rajana,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 Multicuhannel Fringing Electric Field Sensors.IEEE Sensors Journal, VOL.6, NO.2.
- [14] Lenk, John D.(1999).*Circuit Troubleshooting Handbook*.New York:McGraw-Hill.

- [15] Kurniawan, AT. Optimisasi Rangkaian Detektor Fasa Sebagai Rangkaian Pembaca Keluaran Sensor Kelembaban dan Konduktivitas Elektrik. Depok : Universitas Indonesia. 2009

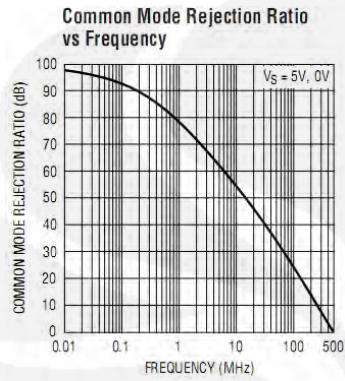


DAFTAR PUSTAKA

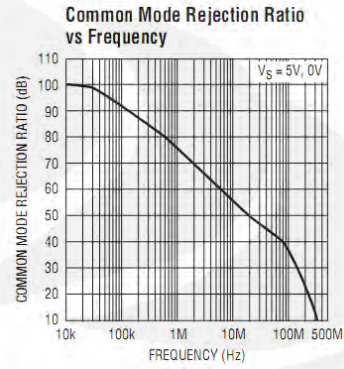
- National Semiconductor Products.(1988). *MM54C932/MM74C932 Phase Comparator*. Arlington : National Semiconductor Corporation.
- National Semiconductor Products.(1999). *LM565 Phase Locked Loop PLL*.USA : National Semiconductor Corporation.
- Fairchild Semiconductor TM.(1984). *MM74HC4046 CMOS Phase Lock Loop CMOS PLL*.Singapore : Fairchildsemi Corporation.
- Motorola. *MC4344/MC4044 Phase-Frequency-Detector*. PFD.USA : Motorola Corporation.
- ON semiconductor.(2001). *SN74LS86 Quad 2 – Input Exclusive OR Gate*. Ex OR gate. LLC : Semiconductor Component Industries.
- STMicroelectronic.(2001).*TLO81/TLO81A/TLO81B General Purpose J-FET Single Operational Amplifiers*. ST. Italy : STMicroelectronics Group Of Companies.
- 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.
- National Semiconductor.(1999).*LM675 Power Operational Amplifier*.National Semiconductor Corporation.
- 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.
- Tobey,Graamea,Huelsman.(1971).*Operational Amplifier Design and Applications*.New Delhi:McGRAW-HILL KOGAKUSHA,LTD.
- Clayton,George.,Winder,Steve.(2003).*Operational Amplifiers*.Kidlington:Elsevier Ltd.

Lampiran 1: Perbandingan kurva CMRR pada frekuensi 30 kHz

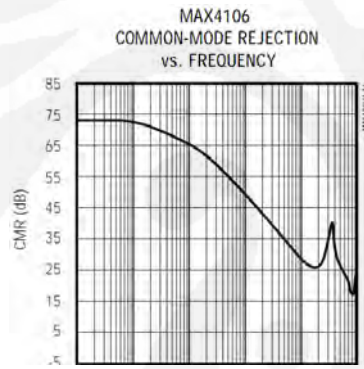
A. LT1807



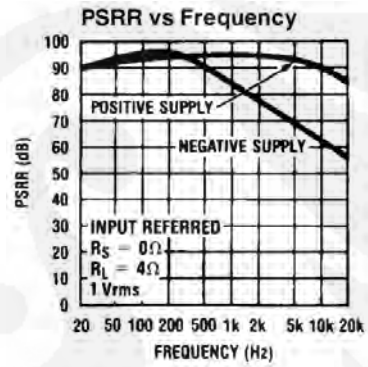
B. LT1810



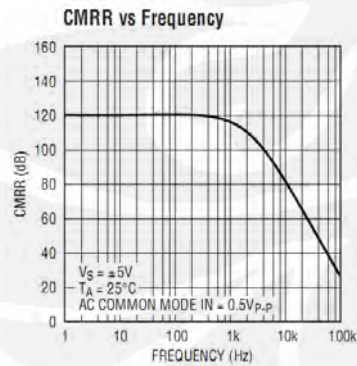
C. MAX4106



D. LM675



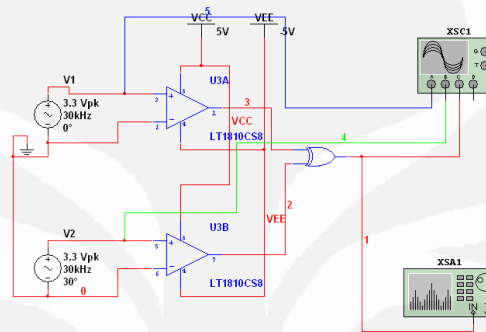
E. LTC1051



Lampiran 2: Gambar rangkaian simulasi, dan hasil pengamatan menggunakan *oscilloscope* dan *spectrum analyzer*

A. LT1810

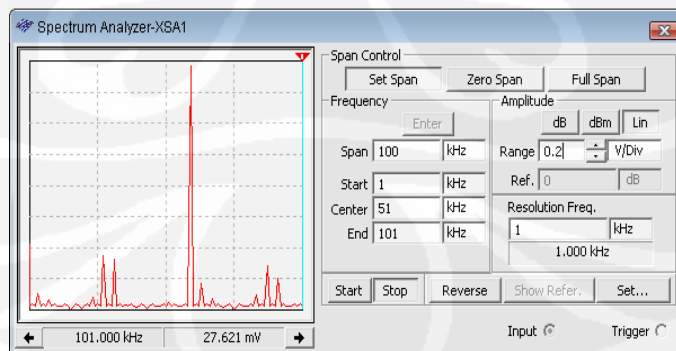
A.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1



A.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



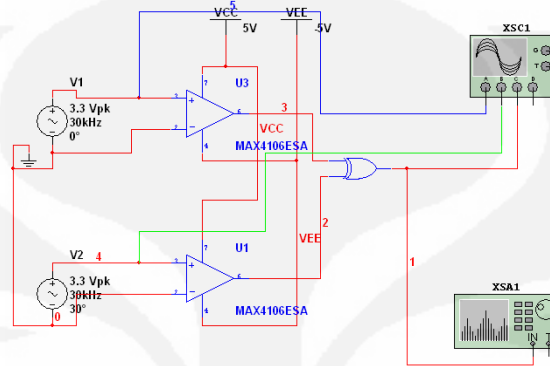
A.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



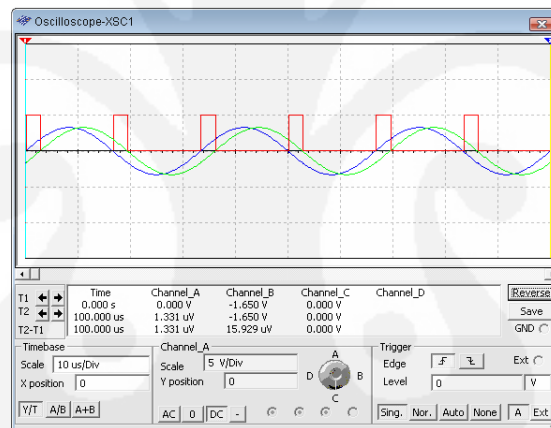
(lanjutan)

B. MAX4106

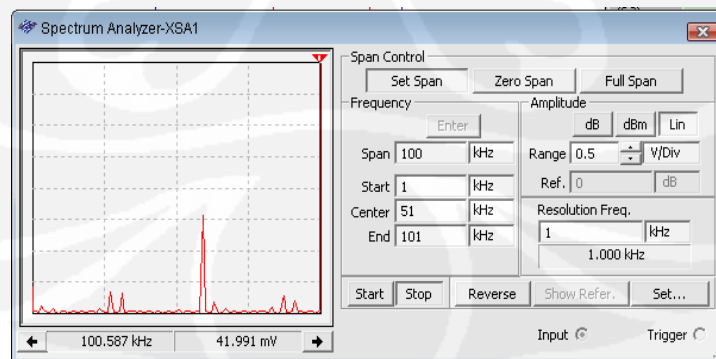
B.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1



B.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



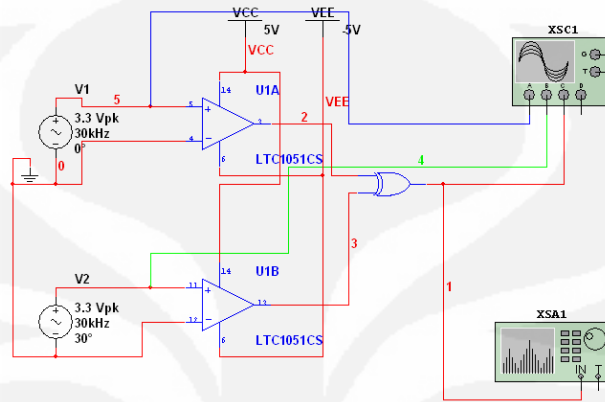
B.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



(lanjutan)

C. LTC1051

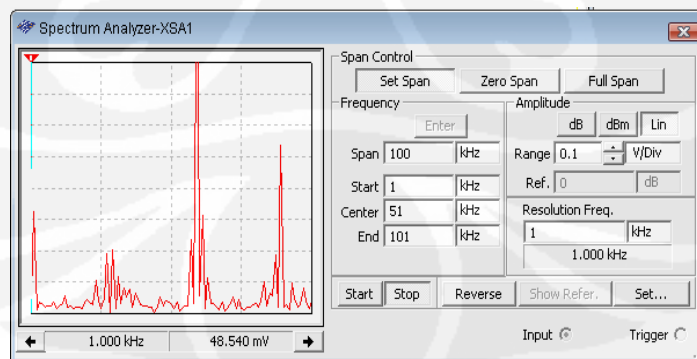
C.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1



C.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



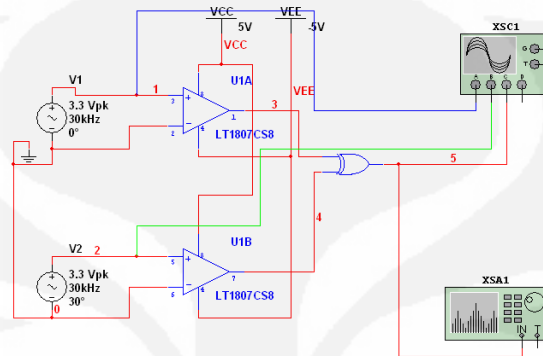
C.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



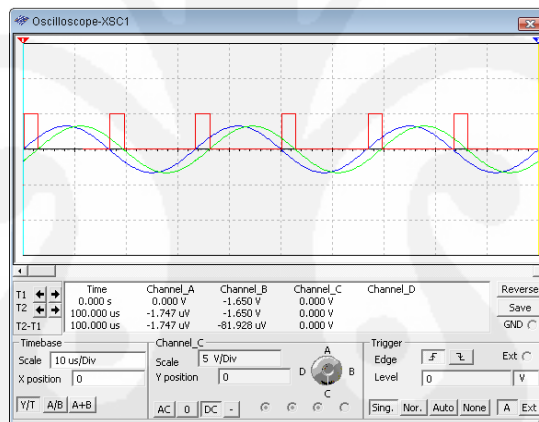
(lanjutan)

D. LT1807

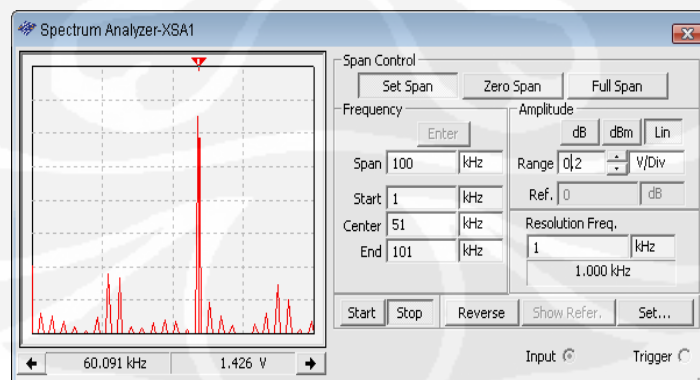
D.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1



D.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



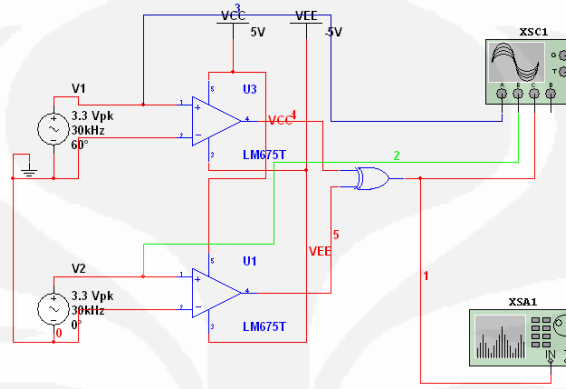
D.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



(lanjutan)

E. LM 675

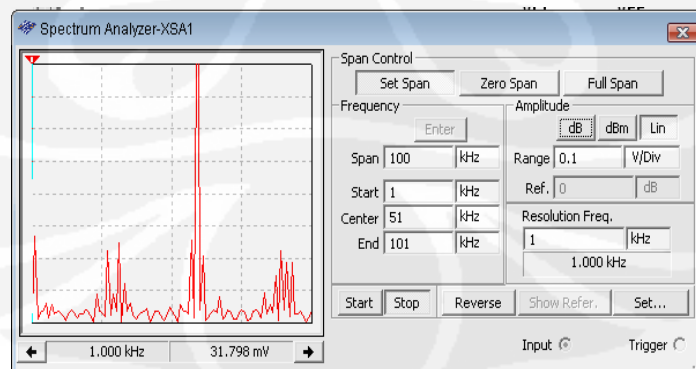
E.1 Gambar Rangkaian Simulasi Menggunakan Multisim 10.0.1



E.2 Hasil Pengamatan Menggunakan *Oscilloscope*



E.3 Hasil Pengamatan Menggunakan *Spectrum Analyzer*



Lampiran 3: 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 4: Data Pengukuran Hasil
Simulasi Pemilihan *Operational Amplifier*

A. Data Pengukuran Lebar Beda Fasa 30°

A.1 Data Pengukuran Menggunakan *Oscilloscope* Dalam Domain Waktu

A.1.1 *Operational Amplifier* LT1807

A.1.1.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	29.6407	11	29.4035	21	29.6904	29.8376
2	29.0130	12	29.8769	22	28.5794	Variasi
3	31.1153	13	29.3587	23	30.6328	0.4871
4	29.9669	14	29.7696	24	28.8781	Variasi/Rata-rata
5	29.6727	15	30.6966	25	29.3143	0.0163249
6	30.4739	16	29.6804	26	29.4116	Standar deviasi
7	29.2656	17	30.9032	27	30.7084	0.6979
8	30.7338	18	28.9192	28	29.7411	
9	29.6799	19	29.7999	29	29.1499	
10	31.2963	20	29.7803	30	29.9764	

A.1.2 *Operational Amplifier* LT1810

A.1.2.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	29.1088	11	29.1088	21	31.2181	29.6676
2	30.5439	12	29.0548	22	29.0548	Variasi
3	29.1088	13	29.1088	23	31.2181	0.8586
4	29.0548	14	31.3028	24	29.0548	Variasi/Rata-rata
5	29.1088	15	31.2181	25	29.1088	0.0289422
6	29.0548	16	29.0548	26	29.0548	Standar deviasi
7	29.1088	17	29.1088	27	29.1088	0.9266
8	31.2644	18	29.0548	28	30.3554	
9	31.2181	19	29.1088	29	29.1088	
10	29.0548	20	30.9436	30	29.0548	

(lanjutan)

A.1.3 Operational Amplifier MAX4106

A.1.3.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	29.1088	11	30.0723	21	29.1088	29.7898
2	29.7799	12	29.0548	22	29.7591	Variasi
3	29.1088	13	29.1088	23	29.1088	0.5792
4	30.1525	14	30.2835	24	30.0028	Variasi/Rata-rata
5	29.1088	15	29.1088	25	30.8230	0.0194414
6	29.0548	16	30.4435	26	29.0548	Standar deviasi
7	30.3062	17	30.0468	27	29.1088	0.7610
8	31.5490	18	28.9845	28	29.9940	
9	29.1063	19	30.7065	29	30.7108	
10	29.0548	20	30.9374	30	30.9462	

A.1.4 Operational Amplifier LM675

A.1.4.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	29.0548	11	29.0548	21	31.1641	29.9255
2	31.2181	12	31.2181	22	29.1088	Variasi
3	31.1641	13	29.0548	23	29.0548	1.1133
4	29.1088	14	29.1088	24	29.1088	Variasi/Rata-rata
5	29.0548	15	29.0548	25	31.1641	0.0372027
6	29.1088	16	31.2181	26	31.2181	Standar deviasi
7	31.1641	17	31.1641	27	29.0548	1.0551
8	31.2181	18	29.1088	28	29.1088	
9	29.0548	19	29.0548	29	29.0548	
10	29.1088	20	31.2181	30	31.2181	

A.1.5 Operational Amplifier LTC1051

A.1.5.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	31.2181	11	29.1088	21	29.1088	30.0661
2	31.1641	12	29.0548	22	29.0548	Variasi
3	29.1088	13	29.1088	23	31.2181	1.1464
4	29.0548	14	31.1641	24	31.1641	Variasi/Rata-rata
5	31.2181	15	31.2181	25	29.1088	0.0381282
6	31.1641	16	29.0548	26	29.0548	Standar deviasi
7	29.1088	17	29.1088	27	31.2181	1.0707
8	29.0548	18	29.0548	28	31.1641	
9	31.2181	19	31.2181	29	29.1088	
10	31.1641	20	31.1641	30	29.0548	

(lanjutan)

A.2 Data Pengukuran Menggunakan *Spectrum Analyzer* Dalam Domain Frekuensi

A.2.1 *Operational Amplifier* LT1807

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.66015625E+00	31	30000	1.95312500E-02	61	60000	1.58588551E+00
2	1000	1.95312500E-02	32	31000	1.95312500E-02	62	61000	1.95312500E-02
3	2000	1.95312500E-02	33	32000	3.40918772E-01	63	62000	1.95312500E-02
4	3000	1.95312500E-02	34	33000	1.95312500E-02	64	63000	1.95312500E-02
5	4000	9.97752655E-02	35	34000	1.95312500E-02	65	64000	1.75344487E-01
6	5000	1.95312500E-02	36	35000	1.95312500E-02	66	65000	1.95312500E-02
7	6000	1.95312500E-02	37	36000	5.64196013E-02	67	66000	1.95312500E-02
8	7000	1.95312500E-02	38	37000	1.95312500E-02	68	67000	1.95312500E-02
9	8000	8.55507793E-02	39	38000	1.95312500E-02	69	68000	9.54044189E-02
10	9000	1.95312500E-02	40	39000	1.95312500E-02	70	69000	1.95312500E-02
11	10000	1.95312500E-02	41	40000	1.99119945E-02	71	70000	1.95312500E-02
12	11000	1.95312500E-02	42	41000	1.95312500E-02	72	71000	1.95312500E-02
13	12000	6.21472741E-02	43	42000	1.95312500E-02	73	72000	4.75831369E-02
14	13000	1.95312500E-02	44	43000	1.95312500E-02	74	73000	1.95312500E-02
15	14000	1.95312500E-02	45	44000	4.95569282E-02	75	74000	1.95312500E-02
16	15000	1.95312500E-02	46	45000	1.95312500E-02	76	75000	1.95312500E-02
17	16000	3.07865931E-02	47	46000	1.95312500E-02	77	76000	1.97192940E-02
18	17000	1.95312500E-02	48	47000	1.95312500E-02	78	77000	1.95312500E-02
19	18000	1.95312500E-02	49	48000	6.22081304E-02	79	78000	1.95312500E-02
20	19000	1.95312500E-02	50	49000	1.95312500E-02	80	79000	1.95312500E-02
21	20000	2.86203229E-02	51	50000	1.95312500E-02	81	80000	5.57798165E-02
22	21000	1.95312500E-02	52	51000	1.95312500E-02	82	81000	1.95312500E-02
23	22000	1.95312500E-02	53	52000	5.52247634E-02	83	82000	1.95312500E-02
24	23000	1.95312500E-02	54	53000	1.95312500E-02	84	83000	1.95312500E-02
25	24000	1.00977337E-01	55	54000	1.95312500E-02	85	84000	1.16889714E-01
26	25000	1.95312500E-02	56	55000	1.95312500E-02	86	85000	1.95312500E-02
27	26000	1.95312500E-02	57	56000	9.90437365E-03	87	86000	1.95312500E-02
28	27000	1.95312500E-02	58	57000	1.95312500E-02	88	87000	1.95312500E-02
29	28000	3.53267039E-01	59	58000	1.95312500E-02	89	88000	2.78676910E-01
30	29000	1.95312500E-02	60	59000	1.95312500E-02	90	89000	1.95312500E-02
						91	90000	1.95312500E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60	1.58588551E+00
Kedua Maksimum	28	3.53267039E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		4.48919749E+00

(lanjutan)

A.2.2 *Operational Amplifier* LT1810

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.64062500E+00	31	30000	9.95568983E-03	61	60000	1.56874678E+00
2	1000	2.26880452E-02	32	31000	1.38345127E-02	62	61000	4.06725132E-03
3	2000	3.69377861E-02	33	32000	3.28179910E-01	63	62000	2.58756163E-02
4	3000	3.74493545E-02	34	33000	3.90441179E-02	64	63000	3.80601321E-02
5	4000	1.11064121E-01	35	34000	3.10873791E-02	65	64000	1.77951226E-01
6	5000	1.67727566E-03	36	35000	1.15683941E-02	66	65000	2.06954541E-02
7	6000	2.13017574E-02	37	36000	3.68907822E-02	67	66000	2.39534126E-03
8	7000	3.63580844E-02	38	37000	3.15174826E-02	68	67000	2.45952437E-02
9	8000	7.84449139E-02	39	38000	3.90595587E-02	69	68000	8.09711822E-02
10	9000	2.53325938E-02	40	39000	3.20743170E-02	70	69000	3.66976259E-02
11	10000	3.35145751E-03	41	40000	2.05436069E-02	71	70000	2.20988989E-02
12	11000	1.98761774E-02	42	41000	1.06492717E-02	72	71000	7.19012887E-04
13	12000	4.28020482E-02	43	42000	3.04975480E-02	73	72000	2.86139192E-02
14	13000	3.82644440E-02	44	43000	3.90029524E-02	74	73000	3.71654305E-02
15	14000	2.65859765E-02	45	44000	3.39913426E-02	75	74000	3.72385172E-02
16	15000	5.01945745E-03	46	45000	1.47268520E-02	76	75000	2.34615812E-02
17	16000	1.87677860E-02	47	46000	9.02570735E-03	77	76000	9.69017891E-04
18	17000	3.49986816E-02	48	47000	2.94213593E-02	78	77000	2.19008428E-02
19	18000	3.85664616E-02	49	48000	4.54693748E-02	79	78000	3.66148052E-02
20	19000	2.77903201E-02	50	49000	3.38689940E-02	80	79000	3.77107204E-02
21	20000	1.00919434E-02	51	50000	1.62667797E-02	81	80000	3.62752408E-02
22	21000	1.69177273E-02	52	51000	7.38549469E-03	82	81000	2.63452811E-03
23	22000	3.42214881E-02	53	52000	5.64143278E-02	83	82000	2.04917845E-02
24	23000	3.87973418E-02	54	53000	3.86741488E-02	84	83000	3.59966422E-02
25	24000	8.32449980E-02	55	54000	3.46734227E-02	85	84000	1.04848162E-01
26	25000	8.32462187E-03	56	55000	1.77767026E-02	86	85000	2.60546845E-02
27	26000	1.53903141E-02	57	56000	2.49056493E-02	87	86000	4.30555497E-03
28	27000	3.33811714E-02	58	57000	2.71082602E-02	88	87000	1.90449281E-02
29	28000	3.49143909E-01	59	58000	3.84025581E-02	89	88000	2.84150165E-01
30	29000	3.00430991E-02	60	59000	3.54138947E-02	90	89000	3.84457067E-02
						91	90000	2.72803222E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60	1.56874678E+00
Kedua Maksimum	28	3.49143909E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		4.49312372E+00

(lanjutan)

A.2.3 *Operational Amplifier* MAX4106

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.62109375E+00	31	30000	1.95312500E-02	61	60000	1.55190349E+00
2	1000	1.95312500E-02	32	31000	1.95312500E-02	62	61000	1.95312500E-02
3	2000	1.95312500E-02	33	32000	3.19454604E-01	63	62000	1.95312500E-02
4	3000	1.95312500E-02	34	33000	1.95312500E-02	64	63000	1.95312500E-02
5	4000	1.28970673E-01	35	34000	1.95312500E-02	65	64000	1.89619002E-01
6	5000	1.95312500E-02	36	35000	1.95312500E-02	66	65000	1.95312500E-02
7	6000	1.95312500E-02	37	36000	2.45338365E-02	67	66000	1.95312500E-02
8	7000	1.95312500E-02	38	37000	1.95312500E-02	68	67000	1.95312500E-02
9	8000	9.28590147E-02	39	38000	1.95312500E-02	69	68000	8.72253972E-02
10	9000	1.95312500E-02	40	39000	1.95312500E-02	70	69000	1.95312500E-02
11	10000	1.95312500E-02	41	40000	3.94574461E-02	71	70000	1.95312500E-02
12	11000	1.95312500E-02	42	41000	1.95312500E-02	72	71000	1.95312500E-02
13	12000	5.58147201E-02	43	42000	1.95312500E-02	73	72000	3.49175733E-02
14	13000	1.95312500E-02	44	43000	1.95312500E-02	74	73000	1.95312500E-02
15	14000	1.95312500E-02	45	44000	5.28786278E-02	75	74000	1.95312500E-02
16	15000	1.95312500E-02	46	45000	1.95312500E-02	76	75000	1.95312500E-02
17	16000	3.46082465E-02	47	46000	1.95312500E-02	77	76000	1.94372034E-02
18	17000	1.95312500E-02	48	47000	1.95312500E-02	78	77000	1.95312500E-02
19	18000	1.95312500E-02	49	48000	6.36431813E-02	79	78000	1.95312500E-02
20	19000	1.95312500E-02	50	49000	1.95312500E-02	80	79000	1.95312500E-02
21	20000	1.53853141E-02	51	50000	1.95312500E-02	81	80000	3.88784312E-02
22	21000	1.95312500E-02	52	51000	1.95312500E-02	82	81000	1.95312500E-02
23	22000	1.95312500E-02	53	52000	7.53595911E-02	83	82000	1.95312500E-02
24	23000	1.95312500E-02	54	53000	1.95312500E-02	84	83000	1.95312500E-02
25	24000	7.81115706E-02	55	54000	1.95312500E-02	85	84000	1.09504636E-01
26	25000	1.95312500E-02	56	55000	1.95312500E-02	86	85000	1.95312500E-02
27	26000	1.95312500E-02	57	56000	4.43974031E-02	87	86000	1.95312500E-02
28	27000	1.95312500E-02	58	57000	1.95312500E-02	88	87000	1.95312500E-02
29	28000	3.50433332E-01	59	58000	1.95312500E-02	89	88000	2.95090898E-01
30	29000	1.95312500E-02	60	59000	1.95312500E-02	90	89000	1.95312500E-02
						91	90000	1.95312500E-02
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)		Amplitudo (V)			
Sinyal Maksimum			60		1.55190349E+00			
Kedua Maksimum			28		3.50433332E-01			
Perbandingan Kedua Sinyal					4.42852706E+00			

(lanjutan)

A.2.4 Operational Amplifier LM675

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.67968750E+00	31	30000	8.97749424E-02	61	60000	1.59490284E+00
2	1000	3.17982941E-02	32	31000	3.65306059E-02	62	61000	3.88501785E-02
3	2000	2.68114344E-01	33	32000	2.46742239E-01	63	62000	2.07451573E-01
4	3000	1.11096694E-02	34	33000	1.19823450E-03	64	63000	8.79234029E-03
5	4000	3.15771712E-02	35	34000	1.21249291E-01	65	64000	1.49485716E-02
6	5000	3.90264737E-02	36	35000	3.73102019E-02	66	65000	3.31297010E-02
7	6000	6.06191744E-02	37	36000	6.03461689E-02	67	66000	4.22811408E-02
8	7000	1.42817577E-02	38	37000	2.30765509E-02	68	67000	3.03472057E-02
9	8000	5.80870285E-02	39	38000	1.07288955E-02	69	68000	8.17162930E-02
10	9000	2.97344682E-02	40	39000	2.22961229E-02	70	69000	1.33851843E-02
11	10000	3.60855415E-02	41	40000	3.27314012E-02	71	70000	1.95997254E-02
12	11000	3.36276148E-02	42	41000	3.75828674E-02	72	71000	3.90558821E-02
13	12000	1.89852222E-02	43	42000	4.44295399E-02	73	72000	3.21672582E-02
14	13000	7.85564980E-03	44	43000	2.15606423E-03	74	73000	1.20253766E-02
15	14000	2.76355166E-02	45	44000	1.49545274E-02	75	74000	1.01555940E-02
16	15000	3.87386623E-02	46	45000	3.61800876E-02	76	75000	3.12319246E-02
17	16000	3.13802314E-02	47	46000	3.78322532E-02	77	76000	3.91802647E-02
18	17000	1.73485213E-02	48	47000	2.56955740E-02	78	77000	3.23455096E-02
19	18000	2.89254885E-02	49	48000	8.34692346E-03	79	78000	9.02150008E-03
20	19000	2.74513572E-02	50	49000	1.94620182E-02	80	79000	1.01872702E-02
21	20000	4.02917290E-02	51	50000	5.06226489E-02	81	80000	3.53390801E-02
22	21000	3.52089393E-02	52	51000	3.83579636E-02	82	81000	3.89735573E-02
23	22000	2.08904474E-02	53	52000	2.23435193E-02	83	82000	3.13147834E-02
24	23000	4.54369652E-03	54	53000	5.49446247E-03	84	83000	1.51697284E-02
25	24000	8.79253443E-02	55	54000	5.81892170E-02	85	84000	9.37769998E-02
26	25000	3.81651618E-02	56	55000	3.47831533E-02	86	85000	2.91038197E-02
27	26000	3.14050205E-02	57	56000	3.80012764E-02	87	86000	5.55818080E-02
28	27000	2.02873434E-02	58	57000	2.81250980E-02	88	87000	3.41052726E-02
29	28000	2.21945596E-01	59	58000	2.54059038E-01	89	88000	1.48015692E-01
30	29000	2.49657986E-02	60	59000	1.64843856E-02	90	89000	6.91422736E-03
						91	90000	2.23178827E-01
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)		Amplitudo (V)			
Sinyal Maksimum			60		1.59490284E+00			
Kedua Maksimum			2		2.68114344E-01			
Perbandingan Kedua Sinyal					5.94859198E+00			

(lanjutan)

A.2.5 Operational Amplifier LTC1051

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.64062500E+00	31	30000	1.99064554E-01	61	60000	1.52141635E+00
2	1000	3.88501785E-02	32	31000	3.88971646E-02	62	61000	3.89382929E-02
3	2000	3.02405614E-01	33	32000	1.29124038E-01	63	62000	2.66525548E-01
4	3000	3.71654305E-02	34	33000	3.73102019E-02	64	63000	3.74493545E-02
5	4000	6.82900451E-02	35	34000	1.09017706E-01	65	64000	1.28392090E-01
6	5000	3.38689940E-02	36	35000	3.41052726E-02	66	65000	3.43364151E-02
7	6000	2.13837226E-02	37	36000	4.42096425E-02	67	66000	1.98948157E-02
8	7000	2.91038197E-02	38	37000	2.94213593E-02	68	67000	2.97344682E-02
9	8000	3.58889590E-02	39	38000	7.33352623E-02	69	68000	3.83871007E-02
10	9000	2.30765509E-02	40	39000	2.34615812E-02	70	69000	2.38430784E-02
11	10000	3.02334752E-02	41	40000	4.66063201E-02	71	70000	6.05741943E-03
12	11000	1.60485614E-02	42	41000	1.64843856E-02	72	71000	1.69177273E-02
13	12000	4.51877549E-02	43	42000	2.95923443E-02	73	72000	4.91716420E-02
14	13000	8.32462187E-03	44	43000	8.79234029E-03	74	73000	9.25873461E-03
15	14000	5.25105648E-02	45	44000	2.52084901E-02	75	74000	4.43993617E-02
16	15000	2.39682994E-04	46	45000	7.19012887E-04	76	75000	1.19823450E-03
17	16000	1.85238753E-02	47	46000	4.68471889E-02	77	76000	3.99016669E-02
18	17000	7.85564980E-03	48	47000	7.38549469E-03	78	77000	6.91422736E-03
19	18000	3.82121660E-02	49	48000	4.52359728E-02	79	78000	2.92946180E-02
20	19000	1.56103203E-02	50	49000	1.51697284E-02	80	79000	1.47268520E-02
21	20000	2.77176043E-02	51	50000	4.63516139E-02	81	80000	2.53141830E-02
22	21000	2.26880452E-02	52	51000	2.22961229E-02	82	81000	2.19008428E-02
23	22000	6.72191043E-02	53	52000	2.07975006E-02	83	82000	5.24301734E-02
24	23000	2.87818972E-02	54	53000	2.84556403E-02	84	83000	2.81250980E-02
25	24000	7.92382484E-02	55	54000	3.86217103E-02	85	84000	9.28514643E-02
26	25000	3.36276148E-02	56	55000	3.33811714E-02	86	85000	3.31297010E-02
27	26000	5.67468682E-02	57	56000	2.39691543E-02	87	86000	2.66151892E-02
28	27000	3.70150621E-02	58	57000	3.68591195E-02	88	87000	3.66976259E-02
29	28000	2.07380407E-01	59	58000	2.35570481E-01	89	88000	2.15487143E-01
30	29000	3.87973418E-02	60	59000	3.87386623E-02	90	89000	3.86741488E-02
						91	90000	5.34085438E-01
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)		Amplitudo (V)			
Sinyal Maksimum			60		1.52141635E+00			
Kedua Maksimum			90		5.34085438E-01			
Perbandingan Kedua Sinyal					2.84863851E+00			

Lampiran 5: Data Pengukuran Gerbang XOR Secara Praktek

A. Data Pengukuran Gerbang XOR Variasi Beban 0,1 μ F dan 100 OhmA.1 Gerbang XOR pada *Integrated Circuit* 74HC046AN

A.1.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	30,0055	18	32,4215	35	28,4848	28,7462
2	28,3338	19	26,6728	36	26,5002	Variasi
3	28,1396	20	26,8454	37	30,5340	3,2473
4	28,6142	21	28,2259	38	27,2444	Variasi/Rata-rata
5	29,0888	22	29,8869	39	32,3352	0,1129643
6	29,0888	23	28,6681	40	28,4740	Standar deviasi
7	28,3230	24	27,5788	41	33,2304	1,8020
8	28,7760	25	28,4201	42	30,4262	Frek. Percobaan (khz)
9	28,6466	26	29,5310	43	29,2182	29960,00
10	27,5464	27	31,1057	44	28,2151	90 derajat (second)
11	26,4571	28	30,1026	45	27,5249	8,3445E-06
12	24,5480	29	31,8714	46	28,3985	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	27,9347	30	27,8916	47	29,1427	27,9587
14	24,6343	31	28,6789	48	30,4585	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	31,9362	32	30,1350	49	28,1181	28,7462
16	27,9347	33	26,4355	50	29,8006	Persentase Kesalahan (%)
17	27,1905	34	28,6466	51	27,6327	2,8165

A.2 Gerbang XOR pada *Integrated Circuit* MM74C932

A.2.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	28,6681	18	28,2798	35	28,3014	28,5121
2	28,2475	19	27,9994	36	27,9239	Variasi
3	28,2475	20	28,3661	37	28,6789	0,1724
4	27,9778	21	29,0780	38	28,7436	Variasi/Rata-rata
5	27,8376	22	28,5387	39	28,5279	0,0060458
6	29,0240	23	28,8731	40	28,0210	Standar deviasi
7	28,8623	24	28,8299	41	28,7436	0,4152
8	28,2043	25	28,6681	42	27,9239	Frek. Percobaan (khz)
9	28,3014	26	27,9023	43	27,9886	29960,00
10	28,8946	27	28,5711	44	29,3800	90 derajat (second)
11	28,2906	28	29,0025	45	27,9886	8,3445E-06
12	28,6897	29	28,6897	46	29,0348	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	28,1828	30	28,0749	47	29,2290	27,9587
14	28,2259	31	28,6897	48	29,2721	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	28,2583	32	29,1535	49	28,4524	28,5121
16	28,2906	33	29,1535	50	28,5387	Persentase Kesalahan (%)
17	28,8191	34	28,3446	51	28,1288	1,9791

(lanjutan)

A.3 Gerbang XOR pada *Integrated Circuit* MM74LS86

A.3.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa (°)

No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	No	Sudut Fasa (°)	Rata-rata (°)
1	28,2906	18	27,9778	35	28,2151	28,6193
2	30,0055	19	28,1828	36	28,9917	Variasi
3	28,2475	20	29,4447	37	28,0318	0,6380
4	28,4416	21	27,8700	38	28,0641	Variasi/Rata-rata
5	29,1427	22	28,3553	39	28,5603	0,0222931
6	28,7652	23	28,2691	40	27,8916	Standar deviasi
7	28,0426	24	30,1350	41	28,0210	0,7988
8	29,3692	25	30,3075	42	30,8684	Frek. Percobaan (khz)
9	28,7005	26	28,2043	43	30,6958	29960,00
10	28,2475	27	28,1181	44	28,2259	90 derajat (second)
11	28,0641	28	27,9563	45	28,3661	8,3445E-06
12	28,1181	29	28,0102	46	30,3183	Sdt Fasa Perhitungan (°)
13	29,2290	30	27,8592	47	28,7976	27,9587
14	28,1181	31	28,0857	48	28,4093	Sdt Fasa Percobaan (°)
15	28,0210	32	28,0857	49	28,4093	28,6193
16	30,1134	33	28,2259	50	28,4416	Persentase Kesalahan (%)
17	28,8407	34	28,3230	51	28,1073	2,3626

Lampiran 6 : Data Pengukuran Detektor Fasa Frekuensi Rendah Dengan Menggunakan Variasi Resistor dan Kapasitor Sebagai Pengganti Resistansi dan Kapasitansi Tanah

A Pengukuran Dengan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah menggunakan *operational amplifier* LT1810 secara praktek

A.1 Pengukuran Menggunakan Digital *Oscilloscope*

A.1.1 Variasi Beban 10nf dan 10 Ω

A.1.1.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	90.2215	18	91.5374	35	91.7855	91.4498
2	90.5235	19	92.0982	36	90.7177	Variasi
3	89.5205	20	90.6422	37	90.5559	1.5155
4	93.4033	21	93.7592	38	92.6483	Variasi/Rata-rata
5	90.5559	22	90.3078	39	93.3278	0.0165714
6	93.9318	23	90.6530	40	90.7177	Standar deviasi
7	90.4804	24	90.4049	41	91.4727	1.2310
8	94.3093	25	94.1044	42	90.6422	Frek. Percobaan (khz)
9	90.7824	26	90.6745	43	90.6314	29960.00
10	91.3001	27	92.5081	44	94.0396	90 derajat (second)
11	90.7177	28	90.7177	45	90.7500	8.3445E-06
12	90.6314	29	93.2631	46	92.9395	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	90.6530	30	90.7069	47	92.0875	88.9207
14	92.3140	31	92.1522	48	90.6098	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	91.2785	32	90.6745	49	91.0628	91.4498
16	90.5990	33	90.4804	50	90.7932	Persentase Kesalahan (%)
17	90.5128	34	92.1090	51	90.6314	2.8443

(lanjutan)

A.1.2 Variasi Beban 10nf dan 22 Ω A.1.2.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	90.5990	18	90.6745	35	92.1522	92.6912
2	94.3848	19	91.0520	36	94.6652	Variasi
3	90.6745	20	93.9102	37	90.7069	2.6204
4	90.7393	21	94.2446	38	92.9072	Variasi/Rata-rata
5	93.6729	22	90.9658	39	91.1922	0.0282701
6	94.6760	23	90.8687	40	91.3325	Standar deviasi
7	92.5728	24	94.6976	41	94.2122	1.6188
8	92.7777	25	94.7839	42	94.6544	Frek. Percobaan (khz)
9	92.7993	26	90.7500	43	94.0828	29960.00
10	94.7839	27	94.3524	44	94.6976	90 derajat (second)
11	90.6422	28	91.0736	45	90.8255	8.3445E-06
12	91.8502	29	93.0258	46	91.9257	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	95.3339	30	94.8809	47	92.3894	87.6266
14	94.2661	31	90.9765	48	92.5512	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	94.2769	32	91.3972	49	93.2523	92.6912
16	90.7608	33	93.7269	50	94.2446	Persentase Kesalahan (%)
17	90.6745	34	93.9102	51	90.6853	5.7798

A.1.3 Variasi Beban 10nf dan 100 Ω A.1.3.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	82.2402	18	85.8857	35	83.3080	83.2185
2	82.3373	19	82.6177	36	82.1971	Variasi
3	82.7363	20	83.0491	37	85.9828	1.9254
4	84.3326	21	82.2941	38	82.1971	Variasi/Rata-rata
5	82.1216	22	86.0259	39	82.0892	0.0231362
6	85.9720	23	82.1647	40	82.1216	Standar deviasi
7	86.0799	24	82.1216	41	82.1647	1.3876
8	82.1647	25	83.1354	42	83.5129	Frek. Percobaan (khz)
9	82.1216	26	82.2294	43	84.2895	29960.00
10	83.6639	27	84.1924	44	82.1216	90 derajat (second)
11	84.5483	28	82.2402	45	85.8965	8.3445E-06
12	82.1647	29	82.2726	46	82.1647	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	82.1971	30	83.6855	47	82.2941	79.3305
14	82.1216	31	85.9828	48	83.9012	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	83.2972	32	82.1216	49	86.0691	83.2185
16	83.5668	33	82.2833	50	82.2726	Persentase Kesalahan (%)
17	82.1539	34	82.8442	51	82.5961	4.9010

(lanjutan)

A.1.4 Variasi Beban 0,1 μ f dan 10 Ω A.1.4.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	73.8166	18	73.6117	35	74.1941	73.8981
2	73.5794	19	73.3744	36	76.3620	Variasi
3	76.1356	20	73.5362	37	73.2666	0.8938
4	73.5362	21	73.2989	38	73.2558	Variasi/Rata-rata
5	73.5254	22	73.2558	39	73.2127	0.0120953
6	73.5470	23	73.1803	40	73.8166	Standar deviasi
7	73.4715	24	73.3097	41	73.2989	0.9454
8	73.2989	25	73.7519	42	74.7766	Frek. Percobaan (khz)
9	73.3744	26	76.1679	43	73.5686	29960.00
10	73.3421	27	73.2666	44	73.5686	90 derajat (second)
11	76.7503	28	73.6441	45	73.6225	8.3445E-06
12	73.3097	29	74.5609	46	74.4206	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	73.2558	30	73.6117	47	76.6856	79.3305
14	73.2558	31	73.5686	48	73.4931	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	74.2265	32	74.1941	49	73.3313	73.8981
16	74.5393	33	75.0462	50	73.3313	Persentase Kesalahan (%)
17	73.4176	34	73.5362	51	73.2989	6.8479

A.1.5 Variasi Beban 0,1 μ f dan 22 Ω A.1.5.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	64.9077	18	65.0048	35	63.1281	64.8229
2	62.8693	19	64.6597	36	61.1759	Variasi
3	67.0001	20	65.4902	37	67.6796	1.6582
4	64.9401	21	64.9832	38	64.9401	Variasi/Rata-rata
5	64.9832	22	67.4855	39	64.8970	0.0255808
6	64.8322	23	64.9401	40	64.5087	Standar deviasi
7	64.8646	24	64.8646	41	65.3176	1.2877
8	64.6597	25	64.4547	42	62.3731	Frek. Percobaan (khz)
9	65.6412	26	65.1990	43	64.8970	29960.00
10	60.7121	27	63.5595	44	64.2498	90 derajat (second)
11	67.8414	28	66.1697	45	65.1882	8.3445E-06
12	64.8646	29	64.1527	46	64.4116	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	64.9077	30	65.1019	47	65.0803	67.4870
14	64.4008	31	64.7891	48	64.7136	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	64.9725	32	65.1666	49	64.6273	64.8229
16	64.9077	33	64.6705	50	66.7629	Persentase Kesalahan (%)
17	64.4116	34	64.7460	51	64.8646	3.9475

(lanjutan)

A.1.6 Variasi Beban 0,1 μ f dan 100 Ω A.1.6.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	26.1119	18	29.6173	35	27.7298	27.7867
2	29.8761	19	25.8854	36	26.0041	Variasi
3	27.5464	20	26.4463	37	29.0348	2.5898
4	30.0055	21	29.4555	38	29.7143	Variasi/Rata-rata
5	25.8854	22	29.9085	39	26.0580	0.0932021
6	26.2953	23	26.0364	40	29.6820	Standar deviasi
7	26.8669	24	28.4956	41	25.8854	1.6093
8	27.6543	25	26.2090	42	26.1335	Frek. Percobaan (khz)
9	28.4632	26	26.9101	43	26.3708	29960.00
10	29.9624	27	29.0780	44	27.5680	90 derajat (second)
11	25.8099	28	29.9840	45	30.0703	8.3445E-06
12	26.4894	29	29.0456	46	26.6620	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	28.7005	30	30.2213	47	29.9193	27.9587
14	28.8515	31	26.0796	48	26.1443	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	28.9809	32	27.5141	49	26.8885	27.7867
16	29.7359	33	26.2737	50	25.7776	Persentase Kesalahan (%)
17	25.9717	34	29.9732	51	27.1366	0.6154

A.1.7 Variasi Beban 1 μ f dan 10 Ω A.1.7.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	22.2723	18	25.8747	35	27.7190	28.2139
2	22.2723	19	31.9577	36	30.1673	Variasi
3	30.8037	20	25.7021	37	30.2428	6.5513
4	30.2320	21	30.1565	38	25.8747	Variasi/Rata-rata
5	33.2736	22	26.3816	39	29.3476	0.2322031
6	23.8793	23	29.5310	40	25.4324	Standar deviasi
7	34.3629	24	27.6219	41	26.9101	2.5596
8	27.2984	25	29.6065	42	30.2752	Frek. Percobaan (khz)
9	29.6065	26	30.1889	43	25.9286	29960.00
10	26.2090	27	25.9178	44	30.1565	90 derajat (second)
11	25.9178	28	27.3846	45	30.2320	8.3445E-06
12	30.1242	29	25.7884	46	25.7992	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	28.7760	30	28.7113	47	30.1458	27.9587
14	28.4956	31	28.4740	48	25.7884	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	30.1997	32	29.7143	49	30.1997	28.2139
16	25.4540	33	30.1026	50	26.1982	Persentase Kesalahan (%)
17	30.0810	34	25.9609	51	30.1565	0.9126

(lanjutan)

A.1.8 Variasi Beban 1 μ f dan 22 Ω A.1.8.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	13.0182	18	12.9427	35	12.8996	14.0921
2	13.0182	19	12.8996	36	12.9427	Variasi
3	12.9427	20	14.8086	37	15.3695	2.0677
4	14.2586	21	15.1430	38	13.6869	Variasi/Rata-rata
5	14.1938	22	16.7932	39	12.8564	0.1467247
6	16.8579	23	13.0614	40	16.3294	Standar deviasi
7	13.0937	24	13.1692	41	13.9889	1.4379
8	13.5359	25	15.9088	42	12.8672	Frek. Percobaan (khz)
9	12.9319	26	12.8996	43	16.8255	29960.00
10	16.5990	27	12.8564	44	12.9319	90 derajat (second)
11	13.5359	28	16.7500	45	12.9859	8.3445E-06
12	12.9859	29	12.9859	46	15.6068	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	14.0213	30	12.9427	47	12.8996	13.5643
14	13.3418	31	13.7948	48	12.8996	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	15.3479	32	15.2508	49	16.8795	14.0921
16	12.8996	33	12.9319	50	13.0074	Persentase Kesalahan (%)
17	15.7685	34	16.5667	51	13.6654	3.8912

(lanjutan)

B. Pengukuran Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah dengan menggunakan *operational amplifier* LT1810 secara simulasi.

B.1 Pengukuran Menggunakan Digital *Oscilloscope* dalam Domain Waktu

B.1.1 Variasi Beban 10nf dan 100 Ω

B.1.1.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	75.9462	18	78.3865	35	76.6961	77.3490
2	76.4716	19	76.6309	36	78.4078	Variasi
3	75.9478	20	76.8410	37	78.5132	0.7608
4	76.4072	21	77.8910	38	76.2036	Variasi/Rata-rata
5	75.6976	22	78.0401	39	77.7460	0.0098361
6	76.8313	23	78.4166	40	77.7998	Standar deviasi
7	77.8485	24	78.0114	41	76.8040	0.8722
8	76.8170	25	78.5545	42	77.9415	Frek. Percobaan (khz)
9	77.9014	26	76.2549	43	77.8793	30000.00
10	78.5992	27	76.4636	44	78.4010	90 derajat (second)
11	76.9300	28	76.8108	45	78.4920	8.3333E-06
12	76.5377	29	77.9437	46	76.1790	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	76.0364	30	78.3165	47	76.6443	79.3305
14	76.8229	31	78.0144	48	76.8157	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	77.8669	32	78.2510	49	76.5401	77.3490
16	78.3444	33	77.0319	50	76.8014	Persentase Kesalahan (%)
17	77.9548	34	78.0706	51	78.0448	2.4978

B.1.2 Variasi Beban 0,1 μ f dan 10 Ω

B.1.2.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	78.8824	18	76.8748	35	77.9036	77.2071
2	76.1797	19	77.0020	36	76.2853	Variasi
3	76.7516	20	76.8784	37	76.2789	0.6064
4	78.3733	21	76.9904	38	76.4381	Variasi/Rata-rata
5	77.1501	22	76.8780	39	75.9169	0.0078546
6	76.9038	23	77.0020	40	76.8813	Standar deviasi
7	76.6985	24	76.8771	41	76.9159	0.7787
8	76.8374	25	77.0275	42	77.9705	Frek. Percobaan (khz)
9	77.9762	26	76.8818	43	78.8788	30000.00
10	78.0776	27	76.9029	44	76.1731	90 derajat (second)
11	77.7927	28	78.3311	45	77.6360	8.3333E-06
12	76.7280	29	76.9207	46	78.0653	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	77.3721	30	77.8387	47	77.8290	79.3305
14	77.8718	31	79.0517	48	76.8717	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	77.2766	32	76.1988	49	76.9386	77.2071
16	76.8482	33	77.8278	50	78.4092	Persentase Kesalahan (%)
17	76.1259	34	76.2011	51	76.6384	2.6767

(lanjutan)

B.1.3 Variasi Beban 0,1 μ f dan 22 Ω B.1.3.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	65.3647	18	66.4226	35	67.5205	66.5552
2	67.7705	19	66.1954	36	67.4273	Variasi
3	66.7425	20	66.4245	37	66.3527	0.3707
4	66.1706	21	66.1918	38	66.1187	Variasi/Rata-rata
5	66.8918	22	66.4243	39	66.3417	0.0055705
6	65.8973	23	66.1921	40	67.4812	Standar deviasi
7	65.3717	24	66.4243	41	66.4893	0.6089
8	66.1007	25	66.1921	42	67.4677	Frek. Percobaan (khz)
9	66.7932	26	66.4243	43	67.8764	30000.00
10	67.4917	27	66.1920	44	67.2543	90 derajat (second)
11	66.7894	28	66.4243	45	66.8966	8.3333E-06
12	67.6847	29	66.1922	46	66.4030	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	66.8281	30	66.4247	47	66.2801	67.4870
14	67.7910	31	66.1916	48	66.4225	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	66.8652	32	66.4244	49	66.1956	66.5552
16	65.7351	33	66.1921	50	66.4242	Persentase Kesalahan (%)
17	65.5278	34	66.4243	51	66.1924	1.3806

B.1.4 Variasi Beban 1 μ f dan 10 Ω B.1.4.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	27.6438	18	27.3948	35	29.5170	28.4018
2	27.2049	19	29.5168	36	27.9116	Variasi
3	27.6148	20	27.9111	37	29.4894	0.9010
4	29.3198	21	29.4902	38	27.3943	Variasi/Rata-rata
5	29.3005	22	27.3945	39	29.5171	0.0317244
6	27.5339	23	29.5169	40	27.9119	Standar deviasi
7	29.4899	24	27.9114	41	29.4890	0.9492
8	27.8324	25	29.4898	42	27.3943	Frek. Percobaan (khz)
9	27.5535	26	27.3945	43	29.5171	30000.00
10	27.2640	27	29.5169	44	27.9120	90 derajat (second)
11	27.5421	28	27.9113	45	29.4889	8.3333E-06
12	27.2014	29	29.4898	46	27.3941	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	28.0995	30	27.3945	47	29.5172	27.9587
14	27.3974	31	29.5169	48	27.9124	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	29.5166	32	27.9113	49	29.4885	28.4018
16	27.9104	33	29.4898	50	27.3940	Persentase Kesalahan (%)
17	29.4910	34	27.3944	51	28.6830	1.5848

(lanjutan)

B.1.5 Variasi Beban 1 μ f dan 22 Ω B.1.5.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	20.6172	18	14.3431	35	15.5613	14.8304
2	12.2337	19	15.1861	36	14.3431	Variasi
3	14.2891	20	14.3431	37	15.3492	1.0299
4	13.9694	21	15.1264	38	14.3431	Variasi/Rata-rata
5	14.3594	22	15.1160	39	14.9365	0.0694461
6	14.3431	23	14.9432	40	14.3431	Standar deviasi
7	14.9500	24	14.3431	41	15.1659	1.0148
8	14.3431	25	15.3919	42	14.3431	Frek. Percobaan (khz)
9	15.5202	26	14.3431	43	15.5396	30000.00
10	14.3431	27	15.1915	44	14.3431	90 derajat (second)
11	15.1375	28	14.3431	45	15.2874	8.3333E-06
12	14.3431	29	14.9348	46	14.3431	Sdt Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
13	15.1994	30	14.3431	47	14.9277	13.5643
14	14.3431	31	15.4977	48	14.3431	Sdt Fasa Percobaan ($^{\circ}$)
15	14.9519	32	14.3431	49	15.2518	14.8304
16	14.3431	33	15.1638	50	14.3431	Persentase Kesalahan (%)
17	15.4930	34	14.3431	51	15.5111	9.3341

(lanjutan)

B.2 Pengukuran Menggunakan *Spectrum Analyzer* dalam Domain FrekuensiB.2.1 Variasi Beban 10 nf dan 100 Ω

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	4.25781250E+00	31	30000	4.84401459E-02	61	60000	3.09587589E+00
2	1000	2.45952437E-02	32	31000	3.00430991E-02	62	61000	2.53325938E-02
3	2000	7.19284966E-02	33	32000	3.72239443E-01	63	62000	4.42188840E-02
4	3000	3.47831533E-02	34	33000	1.82022069E-02	64	63000	3.43364151E-02
5	4000	1.14942099E-01	35	34000	6.75289447E-03	65	64000	1.00974715E-01
6	5000	1.01872702E-02	36	35000	3.75828674E-02	66	65000	1.11096694E-02
7	6000	3.13474343E-02	37	36000	9.07052640E-02	67	66000	6.96510545E-02
8	7000	3.90029524E-02	38	37000	2.63452811E-03	68	67000	3.89382929E-02
9	8000	5.90260322E-02	39	38000	4.91008818E-02	69	68000	1.51521337E-02
10	9000	5.96864005E-03	40	39000	3.86741488E-02	70	69000	5.01945745E-03
11	10000	2.54094334E-02	41	40000	1.65961436E-02	71	70000	5.21318530E-02
12	11000	3.65306059E-02	42	41000	1.33851843E-02	72	71000	3.68591195E-02
13	12000	1.43457979E-02	43	42000	5.17692113E-02	73	72000	1.57956845E-02
14	13000	2.11004482E-02	44	43000	3.31297010E-02	74	73000	2.02873434E-02
15	14000	4.13979790E-02	45	44000	4.40955826E-03	75	74000	3.47742751E-02
16	15000	2.77903201E-02	46	45000	2.71082602E-02	76	75000	2.84556403E-02
17	16000	4.20960939E-03	47	46000	3.90007103E-02	77	76000	2.67281886E-03
18	17000	3.26118311E-02	48	47000	2.19008428E-02	78	77000	3.20743170E-02
19	18000	2.89272918E-02	49	48000	1.00263398E-02	79	78000	4.64641289E-02
20	19000	1.42817577E-02	50	49000	3.61800876E-02	80	79000	1.51697284E-02
21	20000	2.79709059E-02	51	50000	5.77820804E-02	81	80000	2.39396449E-02
22	21000	3.85276600E-02	52	51000	6.91422736E-03	82	81000	3.83579636E-02
23	22000	5.42775848E-02	53	52000	2.01775933E-02	83	82000	2.62005374E-02
24	23000	1.67727566E-03	54	53000	3.90441179E-02	84	83000	7.19012887E-04
25	24000	2.31363433E-02	55	54000	5.47294779E-02	85	84000	8.95071890E-02
26	25000	3.78328943E-02	56	55000	9.25873461E-03	86	85000	3.80601321E-02
27	26000	7.37031544E-02	57	56000	1.36878595E-01	87	86000	2.82007920E-02
28	27000	1.73485213E-02	58	57000	3.52089393E-02	88	87000	1.64843856E-02
29	28000	1.73094461E-01	59	58000	1.08906434E-02	89	88000	2.22525778E-01
30	29000	3.06467421E-02	60	59000	2.38430784E-02	90	89000	3.12319246E-02
						91	90000	7.08037933E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60000	3.09587589E+00
Kedua Maksimum	32000	3.72239443E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		8.31689373E+00

(lanjutan)

B.2.2 Variasi Beban 0,1 μ f dan 10 Ω

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	4.31640625E+00	31	30000	6.30386451E-02	61	60000	3.10806687E+00
2	1000	2.45449813E-02	32	31000	3.28075100E-02	62	61000	3.11222000E-02
3	2000	8.38614794E-02	33	32000	3.78316830E-01	63	62000	6.57258957E-02
4	3000	1.75858203E-02	34	33000	3.62098826E-02	64	63000	4.99125195E-02
5	4000	1.36892172E-01	35	34000	3.57357730E-02	65	64000	4.71526086E-02
6	5000	2.89369413E-02	36	35000	5.67081149E-02	66	65000	8.42594458E-03
7	6000	1.72386686E-02	37	36000	4.66845506E-02	67	66000	8.02437380E-02
8	7000	4.79586659E-02	38	37000	1.84212502E-02	68	67000	2.97175949E-02
9	8000	2.77531813E-02	39	38000	6.81297880E-02	69	68000	3.66537690E-02
10	9000	1.71339042E-02	40	39000	4.85781236E-02	70	69000	2.06078991E-02
11	10000	4.78491632E-02	41	40000	2.11364660E-02	71	70000	2.06722652E-02
12	11000	5.58318416E-02	42	41000	3.22075514E-02	72	71000	2.44863626E-02
13	12000	1.84193375E-02	43	42000	2.39201056E-02	73	72000	1.14232307E-02
14	13000	3.86229420E-02	44	43000	1.69259807E-02	74	73000	3.37966846E-03
15	14000	2.04984127E-02	45	44000	1.86644108E-02	75	74000	2.37551327E-02
16	15000	3.20546539E-02	46	45000	2.74495617E-02	76	75000	4.24623821E-02
17	16000	1.91959068E-02	47	46000	1.94493927E-02	77	76000	1.93875580E-02
18	17000	4.76565160E-02	48	47000	2.17207705E-02	78	77000	3.33656103E-02
19	18000	2.87968390E-02	49	48000	1.58334279E-02	79	78000	3.03476640E-02
20	19000	5.29827212E-03	50	49000	1.81856271E-02	80	79000	3.35999718E-02
21	20000	1.21723210E-02	51	50000	3.50347400E-02	81	80000	1.60089790E-02
22	21000	2.81984806E-02	52	51000	2.56920469E-02	82	81000	5.72572557E-02
23	22000	2.84719650E-02	53	52000	2.29660495E-02	83	82000	5.54710337E-02
24	23000	1.96543316E-02	54	53000	4.70385989E-02	84	83000	1.98453821E-02
25	24000	5.40718934E-02	55	54000	7.71776000E-02	85	84000	5.96914263E-02
26	25000	2.64518892E-02	56	55000	1.60353143E-02	86	85000	4.88932441E-02
27	26000	8.85997811E-02	57	56000	9.28971355E-02	87	86000	1.94780751E-02
28	27000	2.90650443E-03	58	57000	5.46359437E-02	88	87000	3.54314731E-02
29	28000	1.18465727E-01	59	58000	3.33690250E-02	89	88000	2.51130193E-01
30	29000	4.51631881E-02	60	59000	4.08201186E-02	90	89000	1.62427416E-02
						91	90000	8.78700738E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60000	3.10806687E+00
Kedua Maksimum	32000	3.78316830E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		8.21551310E+00

(lanjutan)

B.2.3 Variasi Beban 0,1 μ f dan 22 Ω

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	3.67187500E+00	31	30000	8.52006135E-02	61	60000	2.90680662E+00
2	1000	0.00000000E+00	32	31000	0.00000000E+00	62	61000	0.00000000E+00
3	2000	5.67603220E-02	33	32000	7.21780885E-02	63	62000	1.07277738E-01
4	3000	0.00000000E+00	34	33000	0.00000000E+00	64	63000	0.00000000E+00
5	4000	8.92730284E-02	35	34000	2.62866401E-02	65	64000	5.52427173E-02
6	5000	0.00000000E+00	36	35000	0.00000000E+00	66	65000	0.00000000E+00
7	6000	1.15131521E-01	37	36000	2.44541162E-02	67	66000	1.58109050E-03
8	7000	0.00000000E+00	38	37000	0.00000000E+00	68	67000	0.00000000E+00
9	8000	1.03223613E-02	39	38000	8.61871840E-02	69	68000	1.90491064E-03
10	9000	0.00000000E+00	40	39000	0.00000000E+00	70	69000	0.00000000E+00
11	10000	7.43983725E-02	41	40000	4.16497532E-02	71	70000	5.57869159E-02
12	11000	0.00000000E+00	42	41000	0.00000000E+00	72	71000	0.00000000E+00
13	12000	5.00409589E-02	43	42000	5.03673165E-02	73	72000	5.79826465E-02
14	13000	0.00000000E+00	44	43000	0.00000000E+00	74	73000	0.00000000E+00
15	14000	7.93149895E-03	45	44000	6.64380493E-02	75	74000	2.09886629E-02
16	15000	0.00000000E+00	46	45000	0.00000000E+00	76	75000	0.00000000E+00
17	16000	7.54679052E-03	47	46000	8.37676011E-03	77	76000	7.35783459E-02
18	17000	0.00000000E+00	48	47000	0.00000000E+00	78	77000	0.00000000E+00
19	18000	1.31429067E-02	49	48000	1.97049648E-02	79	78000	3.32990858E-02
20	19000	0.00000000E+00	50	49000	0.00000000E+00	80	79000	0.00000000E+00
21	20000	2.83998407E-02	51	50000	6.46407370E-03	81	80000	2.31998810E-02
22	21000	0.00000000E+00	52	51000	0.00000000E+00	82	81000	0.00000000E+00
23	22000	8.94233205E-02	53	52000	6.80662649E-03	83	82000	1.10882084E-02
24	23000	0.00000000E+00	54	53000	0.00000000E+00	84	83000	0.00000000E+00
25	24000	3.76583115E-02	55	54000	9.31547483E-02	85	84000	8.22935963E-03
26	25000	0.00000000E+00	56	55000	0.00000000E+00	86	85000	0.00000000E+00
27	26000	1.38213415E-01	57	56000	1.09143323E-01	87	86000	8.50245799E-02
28	27000	0.00000000E+00	58	57000	0.00000000E+00	88	87000	0.00000000E+00
29	28000	2.63536817E-01	59	58000	1.51918855E-01	89	88000	2.43219780E-01
30	29000	0.00000000E+00	60	59000	0.00000000E+00	90	89000	0.00000000E+00
						91	90000	1.54161314E-01
Perbandingan Sinyal								
			Frekuensi (kHz)		Amplitudo (V)			
Sinyal Maksimum			60000		2.90680662E+00			
Kedua Maksimum			28000		2.63536817E-01			
Perbandingan Kedua Sinyal					1.10299830E+01			

(lanjutan)

B.2.4 Variasi Beban 1 μf dan 10 Ω

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	1.56250000E+00	31	30000	3.78918458E-02	61	60000	1.50031411E+00
2	1000	3.76475026E-02	32	31000	1.92538356E-02	62	61000	2.82909017E-02
3	2000	2.00821384E-02	33	32000	2.79094072E-01	63	62000	3.35050238E-02
4	3000	2.69351775E-02	34	33000	3.39877731E-02	64	63000	1.04184671E-02
5	4000	1.59208031E-01	35	34000	9.49141328E-03	65	64000	1.92613019E-01
6	5000	8.55864219E-03	36	35000	3.90507351E-02	66	65000	1.04184671E-02
7	6000	3.90154475E-02	37	36000	3.41391526E-02	67	66000	3.35050238E-02
8	7000	1.22531930E-02	38	37000	3.30020924E-02	68	67000	2.82909017E-02
9	8000	6.72396502E-02	39	38000	2.89434033E-02	69	68000	3.96041699E-02
10	9000	2.95784706E-02	40	39000	1.75629426E-02	70	69000	3.81133645E-02
11	10000	1.67013708E-02	41	40000	5.98084716E-02	71	70000	1.91670603E-03
12	11000	3.84874079E-02	42	41000	2.87361577E-03	72	71000	3.70909446E-02
13	12000	4.58902821E-03	43	42000	3.67790650E-02	73	72000	2.66863527E-02
14	13000	3.64450312E-02	44	43000	2.24925075E-02	74	73000	2.55145642E-02
15	14000	2.32695041E-02	45	44000	2.55238072E-02	75	74000	3.53120818E-02
16	15000	2.40324840E-02	46	45000	3.57113186E-02	76	75000	6.67819878E-03
17	16000	3.67825485E-02	47	46000	5.73165916E-03	77	76000	3.92951724E-02
18	17000	4.78166700E-03	48	47000	3.87687318E-02	78	77000	1.40583999E-02
19	18000	3.86397074E-02	49	48000	1.74845694E-02	79	78000	3.13752942E-02
20	19000	1.58297388E-02	50	49000	3.07947823E-02	80	79000	3.07947823E-02
21	20000	4.56310924E-02	51	50000	3.13752942E-02	81	80000	2.18822204E-02
22	21000	3.19369068E-02	52	51000	1.40583999E-02	82	81000	3.87687318E-02
23	22000	1.31597599E-02	53	52000	7.75186794E-02	83	82000	5.73165916E-03
24	23000	3.89566585E-02	54	53000	6.67819878E-03	84	83000	3.57113186E-02
25	24000	2.19181710E-02	55	54000	3.53120818E-02	85	84000	6.81713891E-02
26	25000	3.48915743E-02	56	55000	2.55145642E-02	86	85000	2.24925075E-02
27	26000	2.62327717E-02	57	56000	9.43010471E-02	87	86000	3.67790650E-02
28	27000	2.08983445E-02	58	57000	3.70909446E-02	88	87000	2.87361577E-03
29	28000	3.35017635E-01	59	58000	1.91670603E-03	89	88000	3.08289381E-01
30	29000	9.58641739E-04	60	59000	3.81133645E-02	90	89000	1.75629426E-02
						91	90000	2.89434033E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60000	1.50031411E+00
Kedua Maksimum	28000	3.35017635E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		4.47831385E+00

(lanjutan)

B.2.5 VaSriasi Beban 1 μ f dan 22 Ω

No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)	No	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (V)
1	0	8.59375000E-01	31	30000	1.05141179E-02	61	60000	8.48802596E-01
2	1000	0.00000000E+00	32	31000	0.00000000E+00	62	61000	0.00000000E+00
3	2000	5.85262808E-02	33	32000	3.26568751E-01	63	62000	7.02089426E-02
4	3000	0.00000000E+00	34	33000	0.00000000E+00	64	63000	0.00000000E+00
5	4000	1.74921715E-01	35	34000	7.55450368E-02	65	64000	1.74253320E-01
6	5000	0.00000000E+00	36	35000	0.00000000E+00	66	65000	0.00000000E+00
7	6000	4.41977977E-02	37	36000	4.98749248E-02	67	66000	2.54148666E-02
8	7000	0.00000000E+00	38	37000	0.00000000E+00	68	67000	0.00000000E+00
9	8000	1.72050311E-02	39	38000	2.90091558E-02	69	68000	3.66623508E-02
10	9000	0.00000000E+00	40	39000	0.00000000E+00	70	69000	0.00000000E+00
11	10000	6.93468453E-02	41	40000	4.40890465E-02	71	70000	7.64310446E-02
12	11000	0.00000000E+00	42	41000	0.00000000E+00	72	71000	0.00000000E+00
13	12000	2.40796241E-02	43	42000	6.84429761E-02	73	72000	2.24525195E-02
14	13000	0.00000000E+00	44	43000	0.00000000E+00	74	73000	0.00000000E+00
15	14000	2.72202094E-02	45	44000	2.11121566E-03	75	74000	6.70291503E-03
16	15000	0.00000000E+00	46	45000	0.00000000E+00	76	75000	0.00000000E+00
17	16000	3.62722861E-03	47	46000	4.57654576E-02	77	76000	3.97371612E-03
18	17000	0.00000000E+00	48	47000	0.00000000E+00	78	77000	0.00000000E+00
19	18000	7.60109338E-02	49	48000	2.35848427E-02	79	78000	7.80720613E-02
20	19000	0.00000000E+00	50	49000	0.00000000E+00	80	79000	0.00000000E+00
21	20000	3.61840684E-02	51	50000	5.72386150E-02	81	80000	2.64914277E-02
22	21000	0.00000000E+00	52	51000	0.00000000E+00	82	81000	0.00000000E+00
23	22000	8.61110994E-03	53	52000	1.65386010E-03	83	82000	1.24107924E-02
24	23000	0.00000000E+00	54	53000	0.00000000E+00	84	83000	0.00000000E+00
25	24000	7.07415960E-02	55	54000	5.97786926E-02	85	84000	8.45765466E-02
26	25000	0.00000000E+00	56	55000	0.00000000E+00	86	85000	0.00000000E+00
27	26000	7.81191173E-02	57	56000	1.63393595E-01	87	86000	7.50336343E-02
28	27000	0.00000000E+00	58	57000	0.00000000E+00	88	87000	0.00000000E+00
29	28000	2.27243028E-01	59	58000	4.26035147E-02	89	88000	1.33351220E-01
30	29000	0.00000000E+00	60	59000	0.00000000E+00	90	89000	0.00000000E+00
						91	90000	3.07806281E-02

Perbandingan Sinyal		
	Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)
Sinyal Maksimum	60000	8.48802596E-01
Kedua Maksimum	32000	3.26568751E-01
Perbandingan Kedua Sinyal		2.59915437E+00

(lanjutan)

C. Hasil Penelitian Saudara Taufiq Alif Kurniawan Dengan *operational amplifier* LT1886CS8 Menggunakan Rangkaian Detektor Fasa Frekuensi Rendah Tanpa Menggunakan Kapasitor Pada Rangkaian Kompensasinya Secara Simulasi.

C.1 Pengukuran menggunakan *oscilloscope*

C.1.1 Variasi Beban 10nf dan 100 Ω

C.1.1.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	95.7730	11	94.6668	21	95.0022	78.6117
2	62.3232	12	62.0581	22	63.8224	Variasi
3	95.6965	13	96.0288	23	94.5771	284.0212
4	61.2814	14	61.6244	24	62.2344	Variasi/Rata-rata
5	95.3570	15	95.2990	25	94.8939	3.6129662
6	61.1235	16	61.8612	26	62.0149	Standar deviasi
7	95.0474	17	94.8534	27	94.6098	16.8529
8	63.5945	18	61.5904	28	62.1405	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
9	95.7151	19	95.1018	29	94.9090	79.3305
10	60.7781	20	62.6380	30	61.7337	Persentase Kesalahan (%)
						0.9062

C.1.2 Variasi Beban 0,1 μ F dan 10 Ω

C.1.2.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	96.9574	11	97.0808	21	95.7780	79.1739
2	61.3615	12	62.1365	22	61.9793	Variasi
3	96.0511	13	96.3813	23	97.0149	310.1100
4	62.6944	14	62.0831	24	61.8726	Variasi/Rata-rata
5	97.4705	15	95.7680	25	96.2410	3.9168212
6	62.1836	16	62.3045	26	62.6183	Standar deviasi
7	97.0338	17	96.1792	27	96.3303	17.6099
8	61.3030	18	60.5754	28	62.1510	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
9	96.3196	19	96.7158	29	95.8746	79.3305
10	61.3257	20	61.5037	30	61.9280	Persentase Kesalahan (%)
						0.1975

(lanjutan)

C.1.3 Variasi Beban 0,1 μ F dan 22 Ω C.1.3.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	74.5906	11	72.1989	21	73.9062	67.2516
2	61.8778	12	62.5056	22	62.1044	Variasi
3	73.1638	13	72.6808	23	72.9165	39.7258
4	60.3091	14	61.0264	24	60.8521	Variasi/Rata-rata
5	73.8970	15	73.8495	25	72.1676	0.5907045
6	61.5583	16	60.3087	26	60.2753	Standar deviasi
7	74.1620	17	73.9116	27	72.9400	6.3028
8	61.5573	18	61.5855	28	59.5635	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
9	73.8523	19	72.7063	29	73.9581	67.4870
10	62.1827	20	61.4375	30	59.5021	Persentase Kesalahan (%)
						0.3488

C.1.4 Variasi Beban 1 μ F dan 10 Ω C.1.4.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	36.4941	11	29.8935	21	29.2777	29.3949
2	26.7098	12	29.5609	22	28.7689	Variasi
3	30.1094	13	30.0798	23	30.4654	2.6857
4	29.9005	14	28.1845	24	28.4826	Variasi/Rata-rata
5	30.3635	15	29.5636	25	29.9172	0.0913657
6	27.1635	16	28.5245	26	29.2953	Standar deviasi
7	29.4242	17	29.7689	27	28.5698	1.6388
8	28.7968	18	28.4772	28	29.2237	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
9	29.3361	19	30.2265	29	29.4273	27.9587
10	30.1084	20	27.8814	30	27.8512	Persentase Kesalahan (%)
						5.1367

C.1.5 Variasi Beban 1 μ F dan 22 Ω C.1.5.1 Data Pengukuran Menggunakan Sudut Fasa ($^{\circ}$)

No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	No	Sudut Fasa ($^{\circ}$)	Rata-rata ($^{\circ}$)
1	22.4025	11	14.8549	21	14.8722	15.2224
2	13.0280	12	13.1506	22	15.0448	Variasi
3	16.0268	13	15.4127	23	15.1005	2.6605
4	12.8880	14	14.3447	24	15.0914	Variasi/Rata-rata
5	15.2736	15	15.2177	25	14.5226	0.1747740
6	14.3250	16	16.5831	26	14.6920	Standar deviasi
7	15.0147	17	15.1808	27	15.1001	1.6311
8	16.4642	18	15.6753	28	13.4975	Sudut Fasa Perhitungan ($^{\circ}$)
9	15.0737	19	15.0221	29	15.8403	13.5643
10	15.5197	20	15.6393	30	15.8141	Persentase Kesalahan (%)
						12.2242

(lanjutan)

C.2 Pengukuran Menggunakan *Spectrum Analyzer* dalam Domain Frekuensi

C.2.1 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		

(lanjutan)

C.2.2 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				

(lanjutan)

C.2.3 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				

(lanjutan)

C.2.4 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

(lanjutan)

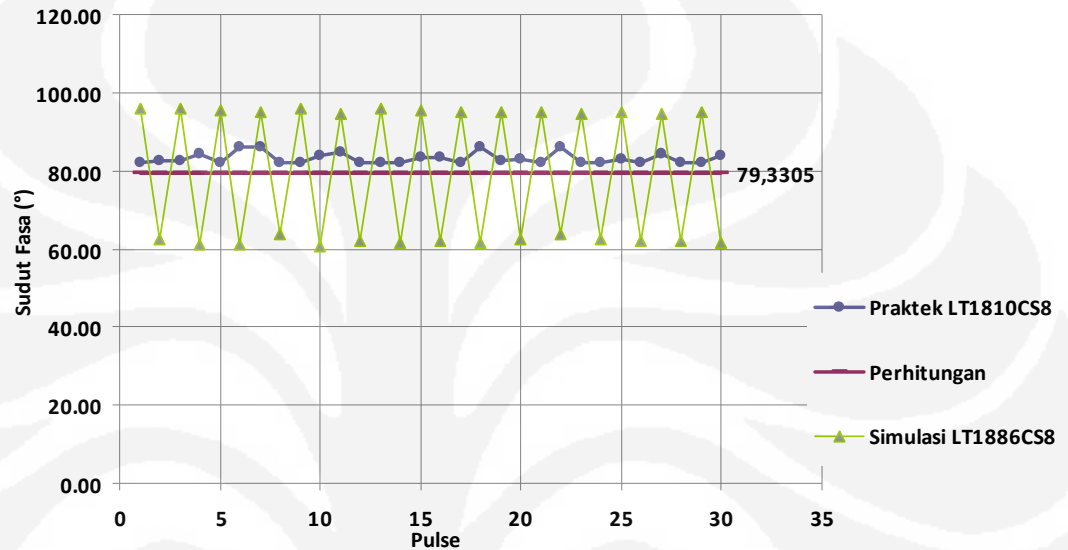
C.2.5 Variasi Beban 100 Ohm dan 0,01 mikroFarad

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		

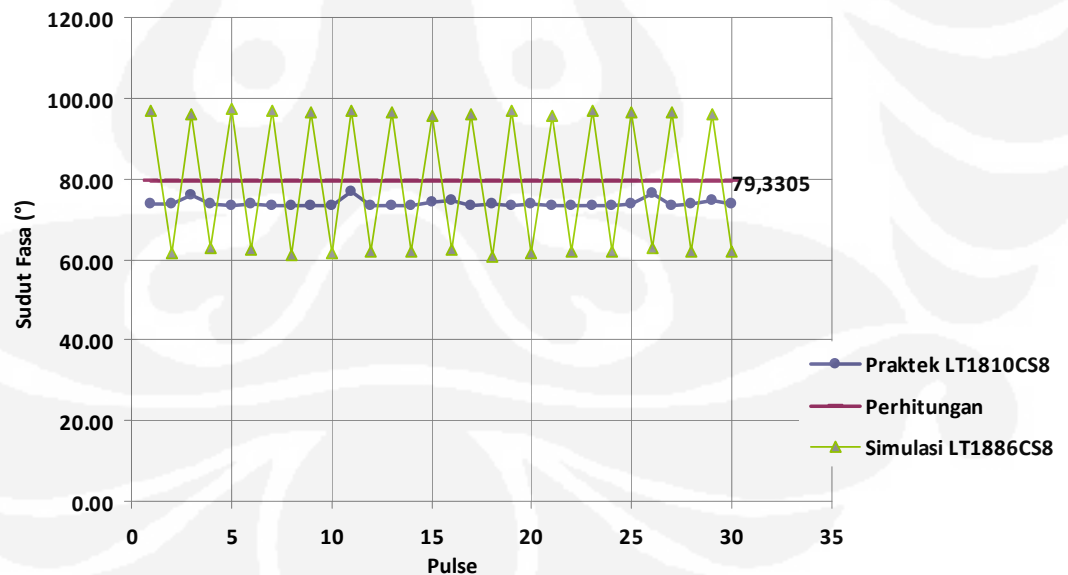
Lampiran 7 : Grafik Perbandingan hasil pengujian detector fasa

A. Grafik Perbandingan hasil pengujian detector fasa dengan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara Praktek

A.1 Variasi Beban 0,01 μ F dan 100 Ω

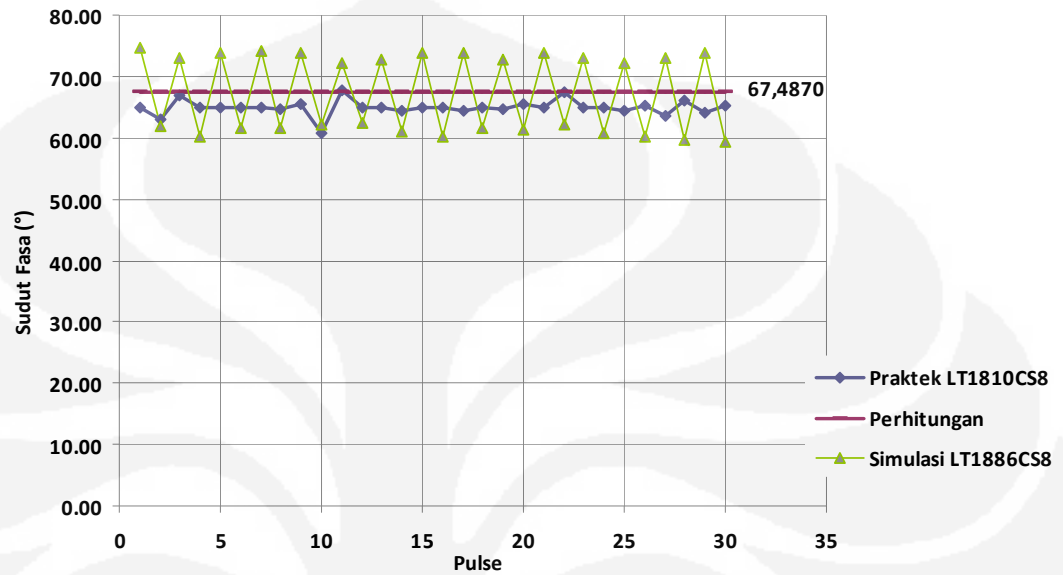


A.2 Variasi Beban 0,1 μ F dan 10 Ω

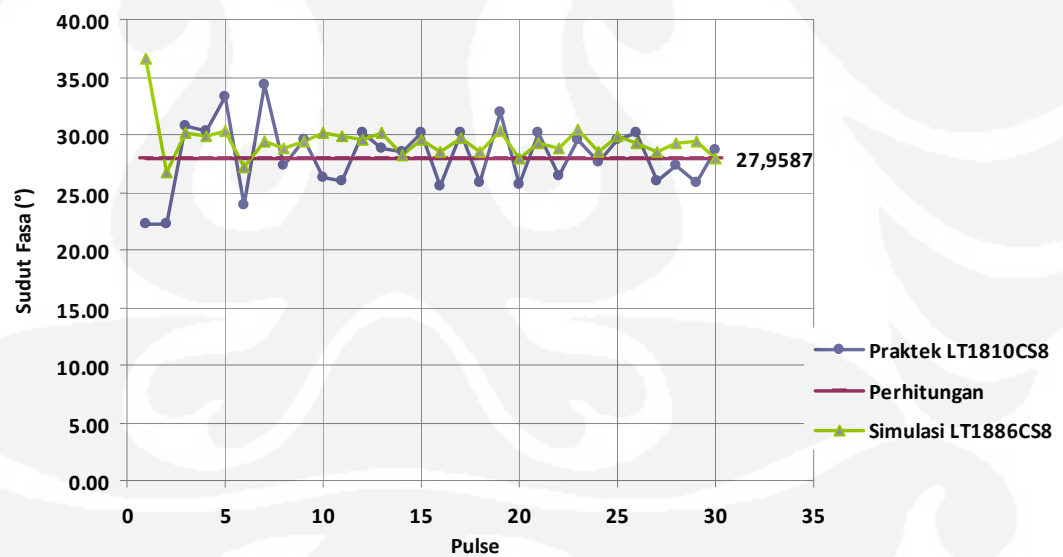


(lanjutan)

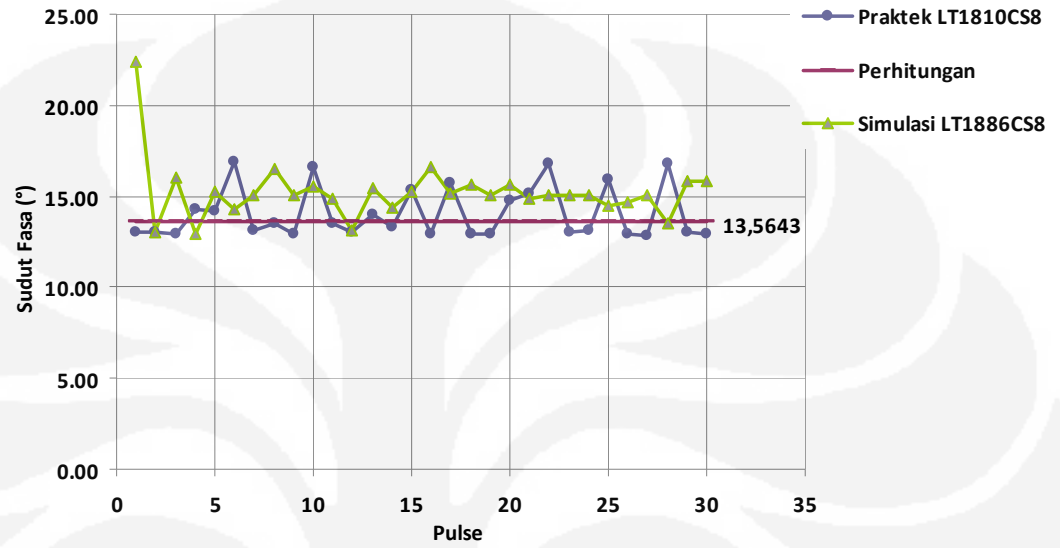
A. 3 Variasi Beban 0,1 μF dan 22 Ω



A. 4 Variasi Beban 1 μF dan 10 Ω



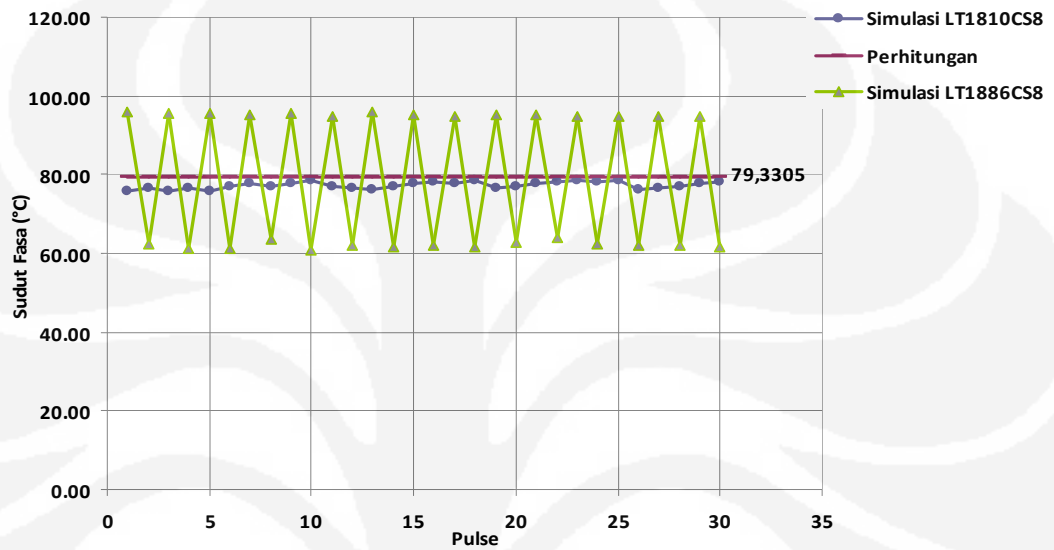
(lanjutan)

A. 5 Variasi Beban $1 \mu\text{F}$ dan 22Ω 

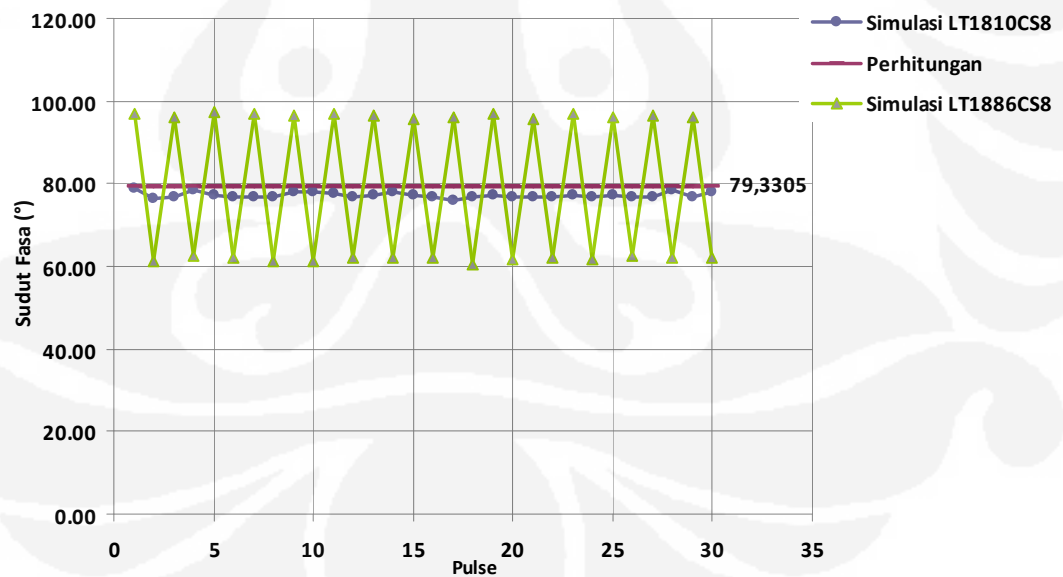
(lanjutan)

B. Grafik Perbandingan hasil pengujian detector fasa dengan *operational amplifier* LT1886CS8 secara simulasi dan LT1810CS8 secara simulasi

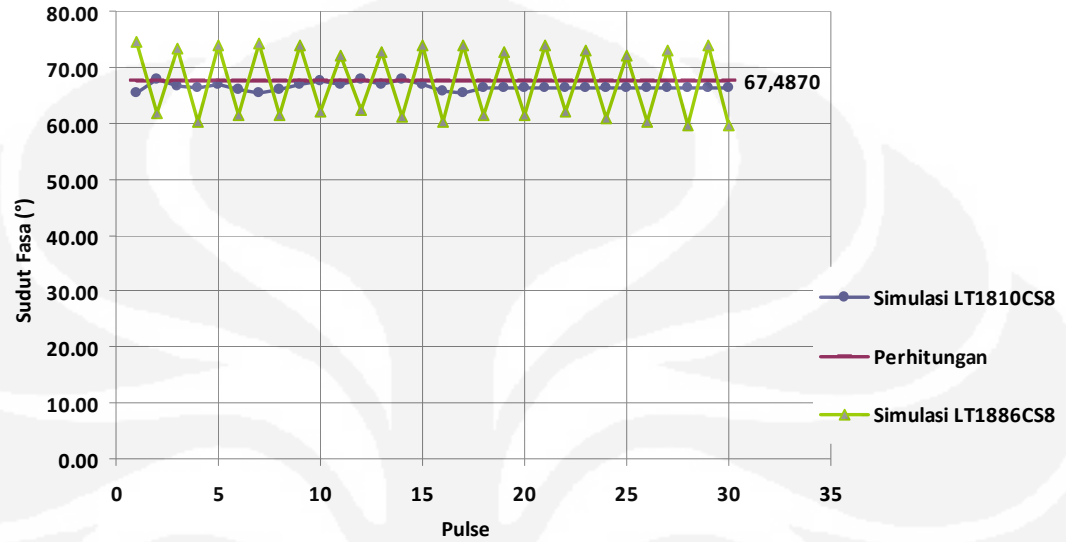
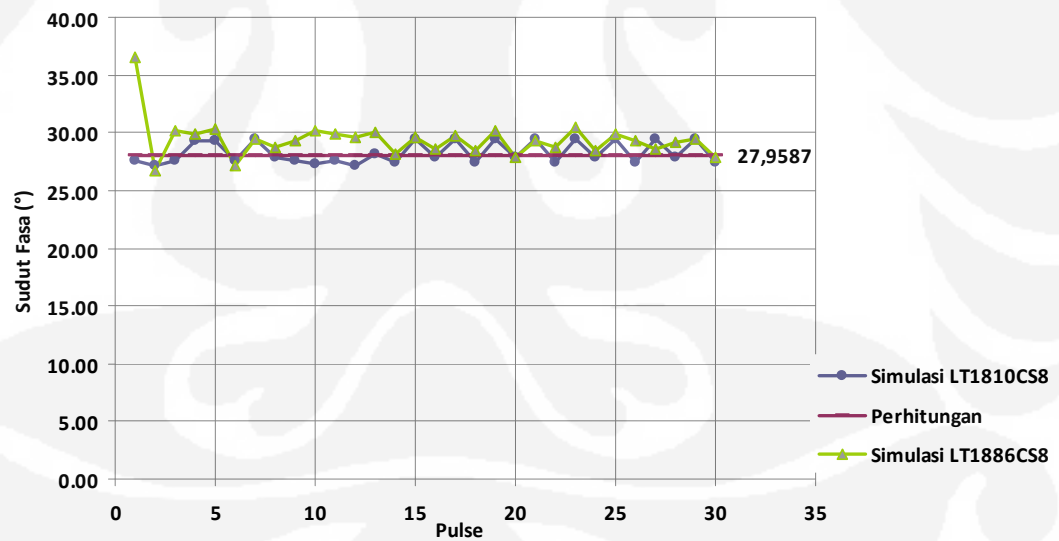
B.1 Variasi Beban 0,01 μ F dan 100 Ω



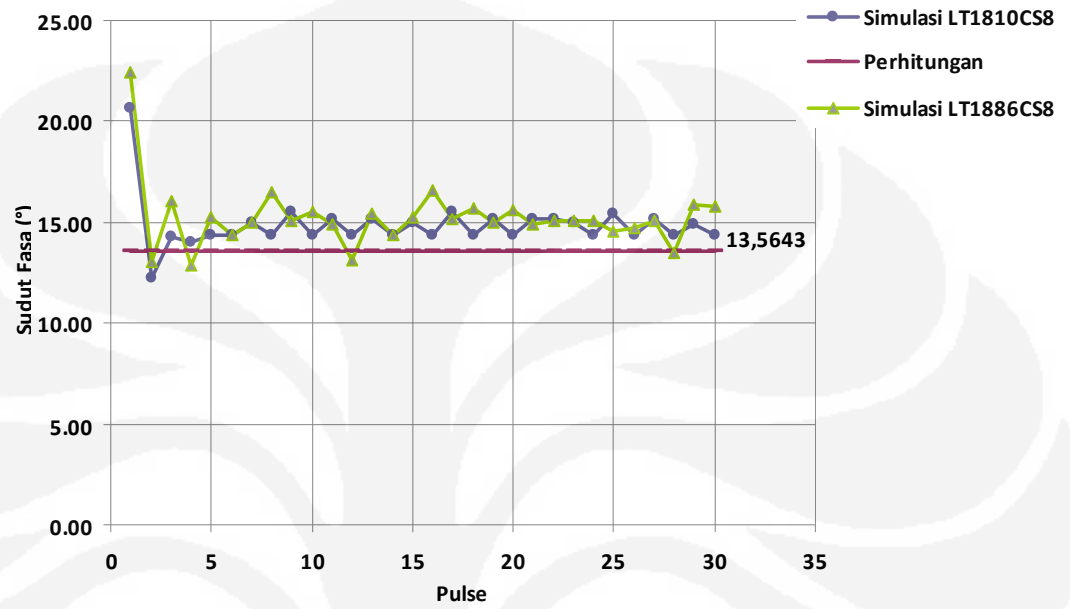
B. 2 Variasi Beban 0,1 μ F dan 10 Ω



(lanjutan)

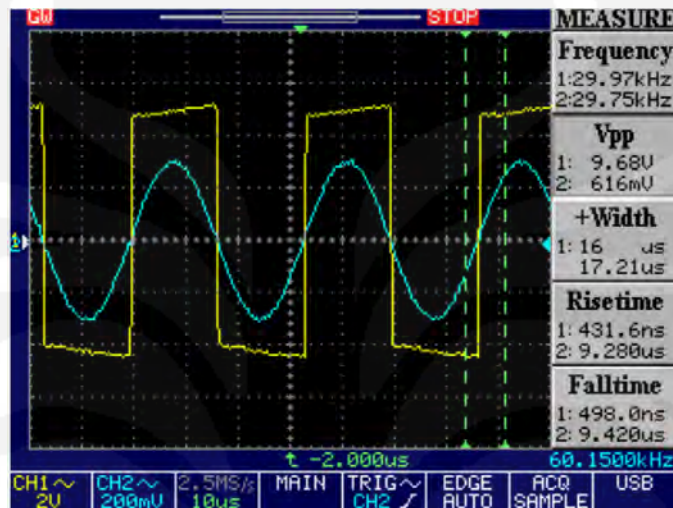
B. 3 Variasi Beban 0,1 μ F dan 22 Ω **B. 4 Variasi Beban 1 μ F dan 10 Ω** 

(lanjutan)

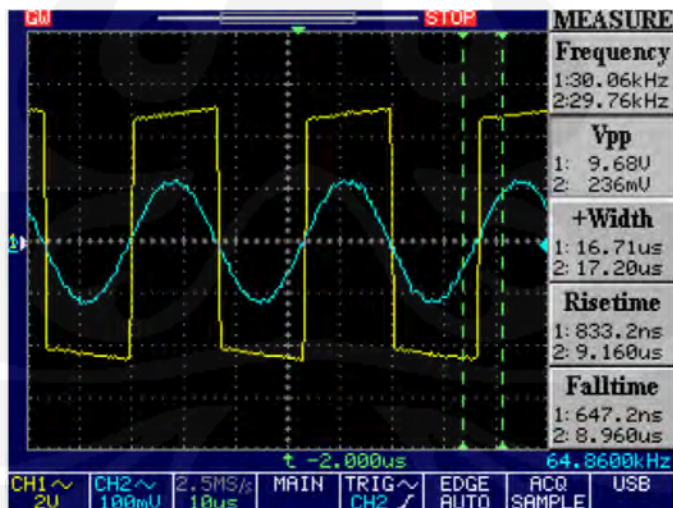
B. 5 Variasi Beban 1 μ F dan 22 Ω 

Lampiran 8: Grafik Sinyal Pada Pengujian *Operational Amplifier* LT1810 Secara Praktek Pada Frekuensi 30 Khz

- A. Sinyal Masukan Rangkaian Pengganti Sensor dan Sinyal Keluaran pada *Operational Amplifier* (*zero crossing detector*)

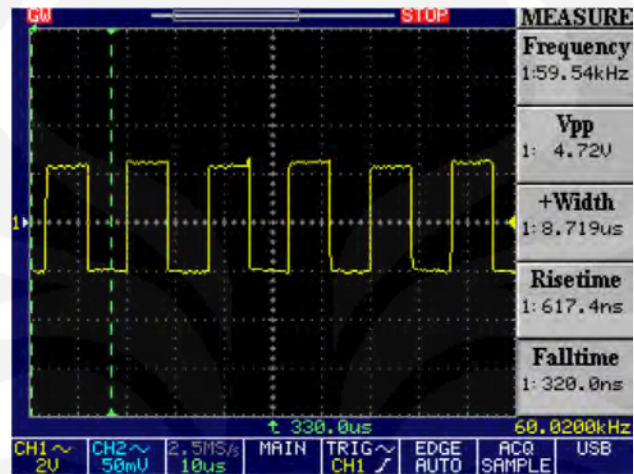


- B. Sinyal Keluaran Rangkaian Pengganti Sensor dan Sinyal Keluaran pada *Operational Amplifier* (*Zero Crossing Detector*)

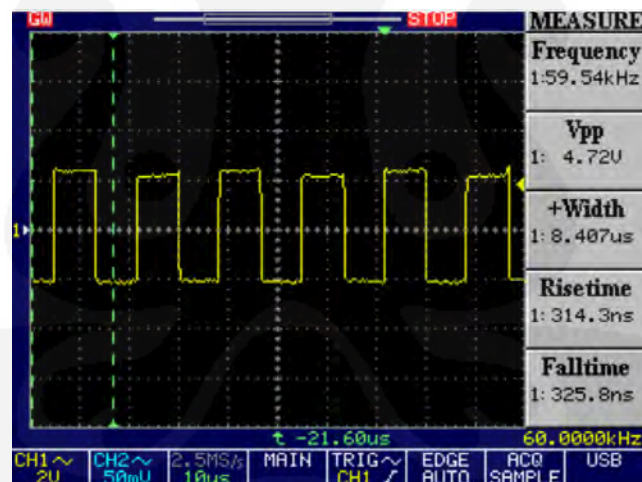


Lampiran 9 : Pengujian Rangkaian Detektor Fasa menggunakan *operational amplifier* LT1810 secara praktek

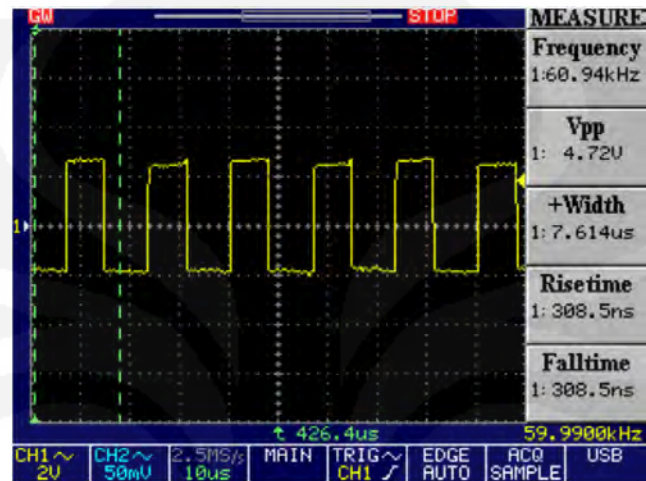
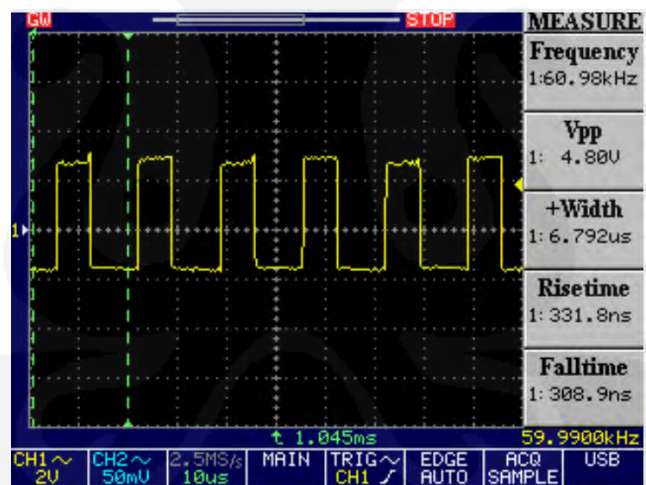
A. Lebar Pulsa Variasi Beban 10 nf dan 10 Ω



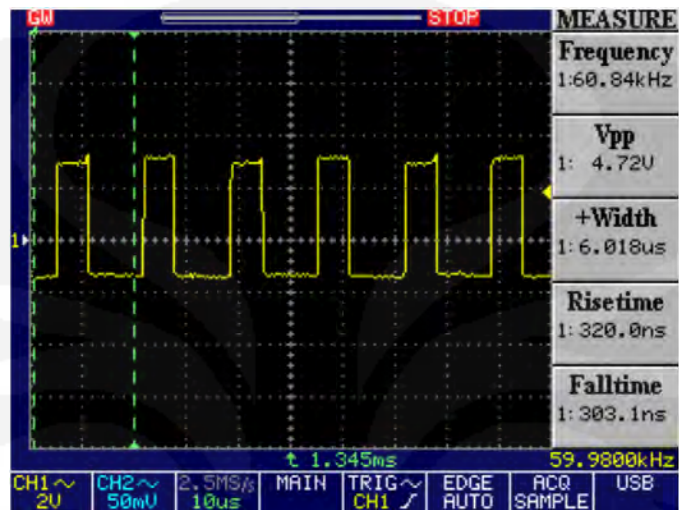
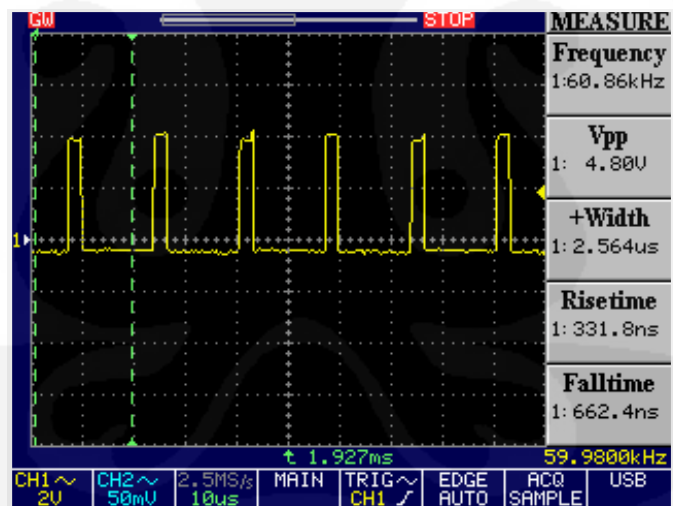
B. Lebar Pulsa Variasi Beban 10 nf dan 22 Ω



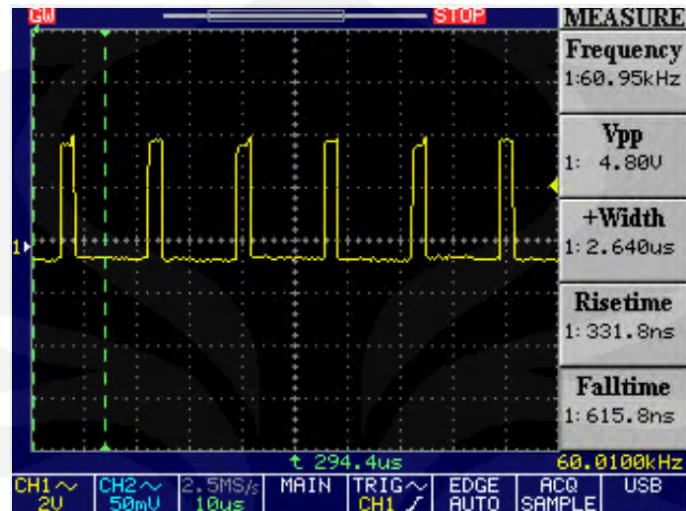
(lanjutan)

C. Lebar Pulsa Variasi Beban 10 nf dan 100 Ω **D. Lebar Pulsa Variasi Beban 0,1 μ f dan 10 Ω** 

(lanjutan)

E. Lebar Pulsa Variasi Beban 0,1 μ f dan 22 Ω **F. Lebar Pulsa Variasi Beban 0,1 μ f dan 100 Ω** 

(lanjutan)

G. Lebar Pulsa Variasi Beban 1 μ f dan 10 Ω **H. Lebar Pulsa Variasi Beban 1 μ f dan 22 Ω** 