

Portable Digital Oscilloscope Menggunakan PIC18F4550

Portable Digital Oscilloscope Based on PIC18F4550

Wisnu Adji Kharisma, Jana Utama

Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, UNIKOM

Jl. Dipatiukur 114-117, Bandung

E-mail: wisnu.adji.kharisma@gmail.com

Abstrak

Osiloskop merupakan perangkat elektronika yang memegang peranan yang sangat penting dalam bidang perkembangan teknologi karena untuk dapat menciptakan suatu perangkat elektronika dibutuhkan alat ukur yang dapat digunakan untuk menganalisis sifat-sifat setiap komponen dalam pembentukan perangkatnya sehingga perangkat elektronika yang dibuat akan sesuai dengan tujuan pembuatannya. Agar didapatkan osiloskop yang bersifat portable, maka peranti antarmuka antara perangkat dengan sistem komputer memegang peranan yang penting. USB merupakan standard port komunikasi pada teknologi di masa kini, oleh karena itu pembuatan alat portable digital oscilloscope ini memanfaatkan komunikasi USB sebagai peranti antarmuka antara perangkat dengan komputer. Dalam perancangannya perangkat portable digital oscilloscope ini harus mampu membaca sinyal masukan pada rentang frekuensi audio dengan besar amplitudo maksimum berkisar di +/- 20 Volt.

Kata kunci : portable digital oscilloscope, osiloskop digital, komunikasi USB menggunakan PIC18F4550.

Abstract

Oscilloscope is an electronic device which plays a very important in the field of technology development because to be able to create an electronic device we need measuring instrument that can be used to analyze the properties of each component in the formation of the electronic devices that will be made in accordance with the purpose of manufacture. In order to have an oscilloscope that is portable, the device interface between the device and the computer system play an important role. USB is a standard communication port on the technology of today, therefore the portable digital oscilloscope is designed to use USB communication interface between the device and the computer. The portable digital oscilloscope devices must be able to read the input signal in the frequency range of the audio with maximum amplitude in the range + / - 20 Volts.

Keywords : portable digital oscilloscope, digital oscilloscope, USB communication using the PIC18F4550

I. PENDAHULUAN

Osiloskop merupakan alat ukur elektronika yang berfungsi memproyeksikan bentuk sinyal baik sinyal analog maupun sinyal digital sehingga sinyal-sinyal tersebut dapat dilihat, diukur, dihitung, dan dianalisa sesuai dengan bentuk keluaran sinyal yang diharapkan.

Perangkat elektronika ini memegang peran yang sangat penting dalam bidang perkembangan teknologi karena untuk menciptakan suatu perangkat elektronika dibutuhkan suatu alat ukur yang dapat digunakan untuk menganalisis perangkat yang akan dibuat sehingga perangkat tersebut dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan oleh pembuatnya.

Namun osiloskop merupakan alat ukur yang tidak murah, sehingga tidak semua orang dapat

membeli perangkat tersebut. Hal tersebut akan menjadi kendala bagi orang-orang yang bekerja di bidang elektronika, pelajar yang mempelajari bidang elektronika, maupun orang-orang yang memiliki hobi di bidang elektronika namun tidak memiliki *financial* yang cukup untuk memiliki perangkat tersebut. Sehingga hal inilah yang menjadi latar belakang penulis untuk membuat sebuah alat yang berfungsi sebagai osiloskop dengan harga yang lebih murah, dan bersifat praktis (mudah digunakan, dan mudah untuk dibawa).

Hal tersebut dapat terwujud dengan memanfaatkan mikrokontroler sebagai komponen pendukung utama untuk membuat alat tersebut, dan dengan memanfaatkan komunikasi USB (*Universal Serial Bus*) sebagai sistem antarmuka antara perangkat dengan komputer sehingga

perangkat tersebut nantinya akan mudah digunakan melalui PC ataupun laptop, karena pada era sekarang ini baik PC maupun laptop sudah jarang yang memiliki port serial maupun paralel.

II. DASAR TEORI

Dalam bidang elektronika, perangkat osiloskop merupakan instrumen alat ukur yang memiliki posisi yang sangat vital mengingat sifatnya yang mampu menampilkan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh rangkaian yang sedang diamati. Dewasa ini secara prinsip terdapat 2 (dua) tipe osiloskop, yakni osiloskop analog dan osiloskop digital. Masing-masing tipe osiloskop tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasannya.

1. Osiloskop Analog

Pada osiloskop analog, pembetuk gelombang yang akan ditampilkan pada layar diatur oleh sepasang lapisan pembelok (*deflector plate*) secara vertikal maupun secara horizontal, pembelokan pancaran elektron dilakukan oleh lapisan tersebut dimana ketika lapisan pembelok tersebut diberi sebuah tegangan tertentu maka akan mengakibatkan pancaran elektron berbelok dengan harga tertentu pula. Sebagai contoh apabila tegangan pada semua pelat tersebut adalah 0 (nol) Volt, maka pancaran elektron akan bergerak lurus membentur layar sehingga pada layar hanya akan terlihat sebuah nyala titik ditengah layar. Pengaturan tegangan pada lapisan pembelok tersebut akan berkaitan terhadap pengaturan *Time/Div* untuk lapisan pembelok horizontal, dan berkaitan terhadap pengaturan *Volt/Div* untuk lapisan pembelok vertikal.

2. Osiloskop Digital

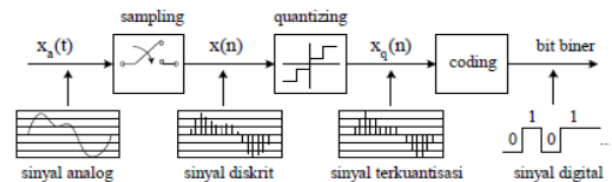
Jika pada osiloskop analog gelombang yang ditampilkan pada layar langsung diberikan dari rangkaian lapisan pembelok pancaran elektron vertikal sehingga berkesan “*real time*”, maka pada osiloskop digital gelombang yang akan ditampilkan terlebih dahulu melalui tahap *sampling* (pencuplikan sinyal) dan kemudian data hasil *sampling* tersebut diolah secara digital. Osiloskop digital menyimpan nilai-nilai tegangan hasil *sampling* tersebut bersama dengan skala waktu gelombangnya pada memory

sementara sebelum kemudian ditampilkan. Pada prinsipnya osiloskop digital bekerja dengan cara mencuplik sinyal (*sampling*), menyimpan data, memproses data, kemudian menampilkan data hasil pemrosesan dan kemudian akan berulang kembali seperti itu.

A. ADC (*Analog to Digital Converter*)

Untuk memproses sinyal analog dengan perangkat digital, pertama-tama perlu mengkonversikan terlebih dahulu dari besaran analog kedalam besaran digital yaitu dengan mengkonversi menjadi suatu deret angka yang mempunyai presisi terbatas yang dilambangkan kedalam bentuk biner. Prosedur ini dinamakan konversi analog-ke-digital (*A/D converter*).

Sebuah sinyal mengandung informasi tentang amplitudo, frekuensi dan sudut fasa. Untuk mendapatkan informasi tersebut dari sebuah sinyal menggunakan perangkat analog adalah rumit dan kurang akurat. Oleh karena itu biasanya untuk memprosesnya digunakan metode pengolahan secara digital. Agar sinyal digital yang didapatkan cukup akurat untuk dapat dikembalikan menjadi sinyal analog maka perlu diperhatikan jumlah cuplikan (*sampling*) oleh perangkat ADC dan besarnya angka yang dipakai untuk mewakili tiap cuplikannya.



Gambar 1. Proses Konversi Sinyal Analog ke Digital

Secara umum proses pengkonversian sinyal terbagi menjadi 3 (tiga) langkah seperti yang digambarkan pada Gambar 1 yaitu :

1. pencuplikan (*sampling*),
2. kuantisasi (*quantizing*), dan
3. pengkodean (*coding*).

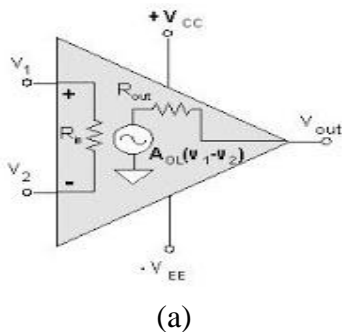
B. Op-Amp (*Operational Amplifier*)

Operational amplifier atau yang biasa disebut sebagai op-amp merupakan sejenis IC yang didalamnya terdiri dari beberapa komponen pasif seperti transistor, resistor, dan dioda yang telah didesain sedemikian rupa sehingga menjadi

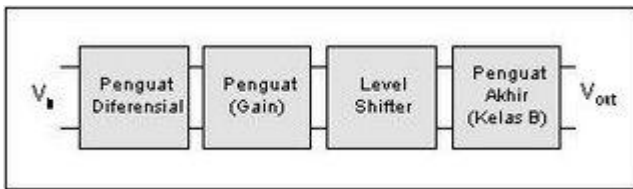
sebuah komponen yang dapat digunakan untuk berbagai macam fungsi.

Beberapa aplikasi op-amp yang sering digunakan diantaranya rangkaian dasar penguat diferensial, rangkaian *buffer* sinyal, rangkaian penguat tak-membalik (*non-inverting amplifier*), rangkaian penguat membalik (*inverting amplifier*) dan rangkaian penjumlah (*adder*).

Op-amp memiliki 2 (dua) rangkaian umpan balik (*feedback*) yaitu rangkaian *feedback* positif dan rangkaian *feedback* negatif, rangkaian *feedback* negatif memiliki peranan yang sangat penting karena rangkaian tersebut dapat menghasilkan penguatan yang dapat terukur sedangkan rangkaian *feedback* positif dapat menghasilkan osilasi (sinyal yang berosilasi).



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Diagram Skematik Op-Amp, (b) Blok Diagram Op-Amp

Didalam op-amp terdapat beberapa bagian, pertama adalah penguat diferensial, lalu bagian penguatan (*gain*), kemudian rangkaian penggeser level (*level shifter*) dan yang terakhir adalah penguatan akhir yang biasanya dibuat menggunakan metode *push-pull amplifier* kelas b.

Pada Gambar 2 (a) dapat dilihat terdapat 2 (dua) buah masukan yaitu masukan tak-membalik (+) dan masukan pembalik (-). Umumnya op-amp bekerja dengan menggunakan catu daya simetrik (+Vcc dan -Vcc) namun ada juga beberapa jenis op-amp yang bekerja hanya menggunakan catu daya tunggal (+Vcc dan Ground). R_{in} adalah resistansi masukan yang nilai idealnya tak berhingga, sedangkan R_{out} adalah resistansi keluaran yang besarnya ~ 0 Ohm. A_{OL} adalah nilai

penguatan loop terbuka dari op-amp tersebut yang biasanya besar penguatannya tak berhingga.

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu terobosan teknologi prosesor yang hadir untuk memenuhi kebutuhan akan perkembangan teknologi yang begitu pesat di masa kini. Mikrokontroler dibuat dengan teknologi semikonduktor dimana mikrokontroler tersebut dibangun oleh transistor-transistor dengan jumlah yang sangat banyak dan dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat bekerja sebagai unit pemroses (kontroler).

D. Komunikasi USB

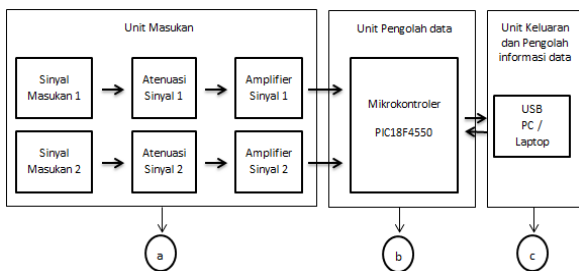
USB merupakan solusi komunikasi antara komputer dengan perangkat lain yang dibutuhkan oleh sistem komputer tersebut, karena sistem antarmukanya cocok untuk semua tipe perangkat yang standard. Suatu sistem USB pada umumnya terdiri dari beberapa bagian diantaranya :

- *host controller*, pada sistem USB terdapat beberapa *host* yang bertanggung jawab pada keseluruhan protokol sistem USB. *Host controller* bertugas mengendalikan penggunaan jalur *bus* data, sehingga tidak ada satu pun peralatan USB yang dapat menggunakan jalur *bus* data kecuali mendapat persetujuan dari *host controller*
- *hub*, seperti halnya hub untuk jaringan komputer, USB hub menyediakan titik interkoneksi yang dapat memungkinkan banyak peralatan USB untuk dapat terhubung terhadap *host controller*. Topologi jaringan yang digunakan oleh sistem USB adalah topologi *star*, semua perangkat USB secara logika terhubung langsung dengan *host controller*. Hub terhubung dengan USB *host controller* secara *upstream* (data mengalir menuju ke host) dan terhubung dengan peralatan USB secara *downstream* (data mengalir dari host ke perangkat USB). Fungsi utama dari hub adalah bertanggungjawab untuk mendeteksi pada pemasangan dan pelepasan peralatan USB dengan *port* USB
- *peralatan USB*, semua hal pada sistem USB selain *host controller* merupakan peralatan USB. Dalam kecepatan transfer datanya peralatan USB dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu : *low speed*

(kecepatan transfer hingga 1,5 Mbps), *full speed* (kecepatan transfer hingga 12 Mbps), dan *high speed* (kecepatan transfer data hingga 480 Mbps).

III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan dan realisasi sistem merupakan bagian yang penting dari seluruh pembuatan tugas akhir ini. Pada bab 2 (dua) telah dijelaskan beberapa teori-teori dasar yang mendukung untuk perancangan alat “*Portable Digital Oscilloscope* menggunakan PIC18F4550”.



Gambar 3. Diagram blok *Portable Digital Oscilloscope*

Pada Gambar 3 memperlihatkan bagian-bagian dari perancangan perangkat keras *portable digital oscilloscope* menggunakan PIC18F4550, yang meliputi beberapa bagian yaitu :

a. *unit masukan*, pada bagian masukan ini terdapat 2 (dua) buah kanal masukan yang merupakan bagian dimana sinyal yang diukur menjadi objek utama sistem, pada blok masukan ini terdapat beberapa rangkaian pendukung seperti : rangkaian atenuasi sinyal yang berguna untuk melemahkan amplitudo sinyal agar dapat terbaca oleh bagian ADC mikrokontroler, dan bagian penguat (*amplifier*) sinyal yang berguna untuk memperkuat sinyal yang terlalu lemah untuk dapat terbaca oleh bagian ADC mikrokontroler karena telah teratenuasi oleh rangkaian *attenuator*,

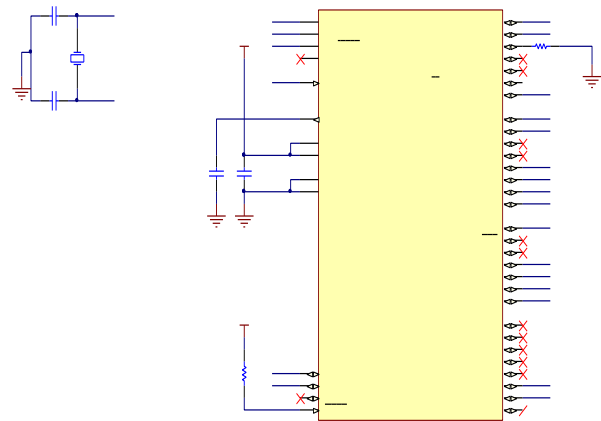
b. *unit pengolah data*, pada bagian ini digunakan mikrokontroler PIC18F4550 sebagai prosesor utama sistem, karena pada mikrokontroler tersebut telah terdapat modul komunikasi USB yang akan digunakan sebagai peranti antarmuka antara perangkat dengan komputer. Bagian pengolah data ini bertugas mengolah informasi sinyal yang masuk dan dicuplik oleh ADC pada mikrokontroler yang kemudian diproses dan dikirimkan ke komputer untuk kemudian ditampilkan gambar hasil pencuplikan sinyalnya pada aplikasi di komputer,

c. *unit keluaran dan pengolah informasi data*, pada bagian ini merupakan informasi data keluaran dari sistem tersebut. Sinyal masukan yang tadinya berupa gelombang sinyal analog ataupun gelombang sinyal digital kemudian di proses dan di olah pada bagian pengolah informasi / data sehingga menjadi suatu informasi data sinyal digital yang kemudian dikirimkan menggunakan peranti antarmuka USB sehingga informasi data tersebut dapat diproses dan di tampilkan di sisi komputer menggunakan program aplikasi yang akan menangani sistem tersebut.

A. Perancangan Sistem Minimum Mikrokontroler PIC18F4550

Mikrokontroler PIC18F4550 digunakan sebagai unit pemroses utama dari sistem perangkat *portable digital oscilloscope*. PIC18F4550 bertugas mencuplik data sinyal masukan analog yang kemudian dikonversikan menjadi data sinyal dalam besaran digital, yang selanjutnya hasil pemrosesan tersebut dikirimkan ke komputer menggunakan peranti antarmuka USB.

Agar mikrokontroler tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, maka dibutuhkan suatu sistem minimum dari mikrokontroler tersebut, yang terdiri dari beberapa rangkaian pasif penunjang. Gambar 4. menunjukkan sistem minimum mikrokontroler PIC18F4550.

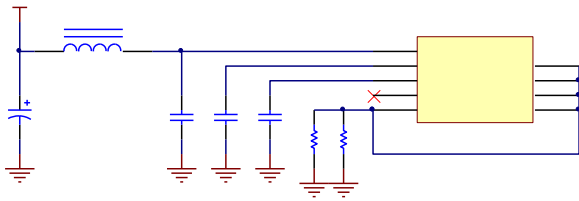


Gambar 4. Skematik Sistem Minimum Mikrokontroler PIC18F4550

B. Perancangan Rangkaian Konektifitas USB

Disini konektifitas USB memiliki 2 (dua) fungsi yang sangat penting, yaitu : sebagai penghubung peranti antarmuka USB antara

perangkat dengan komputer dan juga sebagai sumber catu daya utama untuk perangkat *portable digital oscilloscope*.



Gambar 5. Skematik Konektifitas USB

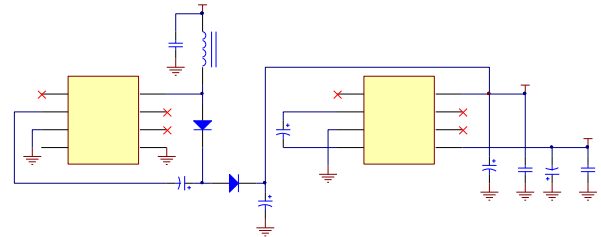
Catu daya utama untuk sistem perangkat ini sepenuhnya berasal dari *port* USB dimana terkadang tegangan yang diberikan tidak selamanya sesuai sebesar 5 Volt, karena biasanya tegangan yang diberikan oleh *port* USB berkisar diantara ~4.3 Volt hingga ~5.3 Volt. Namun tegangan tersebut masih dapat ditolelir oleh mikrokontroler PIC18F4550 sehingga tidak perlu menggunakan regulator tegangan untuk mensuplai tegangan pada sistemnya.

Tegangan yang berasal dari *port* USB tersebut memungkinkan terdapat *noise* sinyal didalamnya, sehingga dengan membuat kombinasi rangkaian antara kapasitor elektrolit C4, *ferrite-bead* L1, dan keramik kapasitor C3 akan menjadi rangkaian penstabil tegangan dan juga sebagai *filter* frekuensi tinggi yang berasal dari komputer dan dapat mengganggu sistem osiloskop.

C. Perancangan Rangkaian Pengganda Tegangan dan Pesimetris Tegangan

IC op-amp (*operational amplifier*) LF-353 bekerja dengan menggunakan catu daya simetris yang berarti menggunakan tegangan positif (+) dan tegangan negatif (-). Karena catu daya utama sistem ini berasal dari *port* USB maka tegangan yang didapat hanya tegangan positif sebesar +5 Volt sehingga memerlukan rangkaian pensimetris tegangan. IC op-amp sebagai penguat idealnya dapat bekerja menguatkan sinyal dengan baik sekitar 60% hingga 70% dari tegangan catu op-amp pada sinyal hasil penguatannya. Sebagai contoh apabila tegangan catu op-amp yang digunakan adalah +5 Volt dan -5 Volt maka sinyal penguatan maksimal terbaiknya hanya didapatkan sebesar +- 3.25 Volt saja, lebih dari itu maka sinyal hasil penguatannya akan terpotong pada tegangan +- 4.5 Volt. Sehingga bila diinginkan sinyal penguatannya didapatkan berkisar di antara +- 5 Volt maka tegangan catu untuk op-amp nya harus lebih dari +7.5 Volt dan -7.5 Volt.

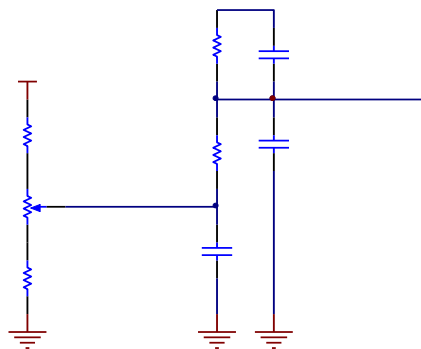
Karena catu daya sistem hanya mampu mensuplai tegangan sebesar +5 Volt, maka diperlukan rangkaian pengganda tegangan sehingga didapat tegangan diantara +- 9 Volt (asumsi terdapat *loss* pada rangkaian pengganda tegangan). Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan IC *switching capacitor* yang mampu menggandakan tegangan masukan, dan juga membuat tegangan simetris. Rangkaian pengganda tegangan dan pembuat tegangan simetris diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Pengganda Tegangan dan Pesimetris Tegangan

D. Perancangan Rangkaian Attenuator

Rangkaian *attenuator* berfungsi untuk melemahkan sinyal masukan, sehingga sinyal dipastikan tidak melebihi kemampuan pembacaan oleh ADC mikrokontroler, karena apabila tegangan sinyal masukan melebihi kemampuan tegangan masukan untuk ADC maka dapat merusak ADC pada mikrokontroler.

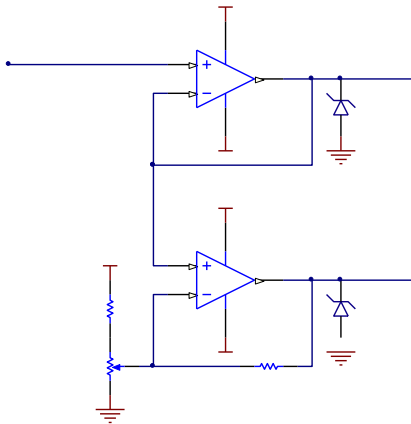


Gambar 7. Rangkaian Attenuator Sinyal Masukan

Rangkaian *attenuator* pada Gambar 7 pada prinsipnya bekerja selayaknya resistor pembagi tegangan, dimana sinyal masukan akan dilemahkan sebesar 10x oleh resistor R6 dan R7, sehingga sinyal yang tadinya memiliki amplitudo yang besar akan dilemahkan pada sisi tersebut. Karena ADC mikrokontroler hanya dapat bekerja pada rentang tegangan 0 hingga 5 Volt, maka diperlukan juga sebuah rangkaian penggeser nilai *offset*, dimana hal tersebut akan menggeser sinyal

yang berada dibagian tegangan negatif untuk naik ke bagian positif (tegangan dibuat lebih besar dari 0 Volt) karena biasanya sinyal analog memiliki amplitudo simetris di daerah positif dan negatif. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan konfigurasi rangkaian yang dibentuk oleh resistor R8, R9 dan *variable* resistor *SET_CHI_A* pada Gambar 7.

E. Perancangan Rangkaian Amplifier Sinyal



Gambar 8. Rangkaian Penguat Sinyal

Gambar 8 secara garis besar menunjukkan rangkaian penguat menggunakan op-amp LF-353, didalam IC LF-353 terdapat 2 (dua) buah op-amp identik sehingga kedua op-amp tersebut dapat dimanfaatkan untuk penguatan sinyal 1x dan penguatan sinyal 10x. Untuk rangkaian op-amp dengan penguatan sinyal 1x ditunjukkan pada rangkaian op-amp IC4A dimana sinyal masukan yang berasal dari rangkaian *attenuator* masuk ke pin 3 IC LF-353, selanjutnya keluaran op-amp 1 pada pin 1, di umpan balik secara langsung ke pin masukan *inverting* op-amp 1 pada pin 2 rangkaian tersebut biasanya disebut juga dengan rangkaian *buffer* sinyal. Sedangkan untuk rangkaian op-amp dengan penguatan sinyal 10x ditunjukkan pada rangkaian op-amp IC4B dimana sinyal masukan berasal dari sinyal hasil keluaran rangkaian *buffer* (dari pin 1 IC LF-353) masuk ke bagian *non-inverting* op-amp pada pin 5, keluaran dari op-amp 2 pada pin 7 ini kemudian di umpan balik ke bagian masukan *inverting* op-amp pada pin 6 dengan terlebih dahulu melewati resistor R11, agar didapatkan penguatan sebesar 10x dengan nilai *offset* sinyal yang tetap harus bersesuaian dengan nilai *offset* sinyal pada sinyal hasil keluaran dari rangkaian *attenuator*, maka ditambahkan suatu konfigurasi rangkaian penggeser *offset* sinyal yang juga berfungsi

sebagai faktor penguatan op-amp 2 melalui rangkaian resistor R10 dengan *variable* resistor *SET_CHI_B* pada Gambar 8.

Dioda zener dengan nilai 5V1 pada D7 dan D8 berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran hasil penguatan tetap berkisar diantara 0 hingga ~5.1 Volt agar sinyal keluaran dari rangkaian *amplifier* tidak merusak peranti ADC pada mikrokontroler.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis terhadap sistem yang dibangun ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari setiap komponen masukan, komponen pemroses, dan komponen keluaran dari sistem apakah telah sesuai dengan yang diharapkan dalam perancangan ataukah belum. Pengujian akan dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu pengujian secara parsial dan pengujian secara keseluruhan.

Pengujian Parsial

A. Rangkaian Pengganda Tegangan

Rangkaian pengganda tegangan merupakan rangkaian yang sangat penting untuk mendukung bekerjanya perangkat. Rangkaian pengganda ini digunakan untuk mencatu rangkaian *op-amp*, karena rangkaian *op-amp* hanya dapat bekerja dengan baik apabila tegangan keluaran dari rangkaian *op-amp* itu berkisar 60% - 75% dari tegangan yang digunakan untuk mencatu *op-amp*-nya, karena tegangan sumber utama berasal dari *port* USB maka tegangan yang didapat hanya sebesar 5 Volt, besar tegangan tersebut hanya dapat menghasilkan sinyal keluaran *op-amp* maksimal sebesar $\pm 3 - 3,8$ Vpp. Apabila sinyal keluaran yang dihasilkan dari rangkaian *op-amp* hanya berkisar di rentang 0 hingga tegangan tersebut maka sinyal yang dapat dibaca oleh perangkat ini kurang maksimal oleh karena itu rangkaian pengganda tegangan sangat diperlukan dalam sistem ini, agar didapatkan suatu sistem minimum yang dapat bekerja secara maksimum.

Tabel 1. Data Pengujian Rangkaian Pengganda Tegangan

Pengujian	Tegangan Masukan	Tegangan Keluaran	% Efisiensi Tegangan Keluaran
1	3.8 V	5.01 V	± 66 %
2	4.8 V	6.27 V	± 65 %
3	5.2 V	6.93 V	± 66 %
4	5.5 V	7.18 V	± 65 %
5	6.0 V	7.73 V	± 64 %

B. Rangkaian Pembalik Tegangan

Rangkaian pembalik tegangan digunakan untuk membalikan tegangan hasil pengganda tegangan sehingga didapatkan tegangan yang simetris. Hal ini dimaksudkan karena ic *op-amp* jenis LF-353 bekerja dengan menggunakan catu daya simetris yang artinya terdapat tegangan dengan potensial positif (+) dan tegangan dengan potensial negatif (-) selain tegangan referensi (*ground*). Tujuan dari pengujian rangkaian ini adalah untuk mengetahui toleransi perbedaan antara tegangan potensial positif dengan tegangan potensial negatif yang nantinya akan dijadikan sebagai tegangan catu untuk rangkaian *op-amp*. Juga untuk mengetahui apakah dengan tegangan yang dihasilkan rangkaian pembalik tegangan ini sudah dapat mencatu rangkaian *op-amp* ataukah tidak.

Tabel 2. Data Pengujian Rangkaian Pembalik Tegangan

Pengujian	Tegangan Masukan	Tegangan Keluaran	Besar Perbedaan Tegangan Absolut
1	5.01 V	- 4.57 V	0.44 V
2	6.27 V	- 5.83 V	0.44 V
3	6.93 V	- 6.48 V	0.45 V
4	7.18 V	- 6.74 V	0.44 V
5	7.73 V	- 7.29 V	0.44 V

Dari hasil pengambilan data pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dibalik tidak begitu simetris atau dengan kata lain tidak identik antara besar tegangan potensial positif (+) dengan besar tegangan potensial negatif (-) hal ini dikarenakan tegangan yang dibalik pada rangkaian pembalik tegangan ini terpengaruh oleh tegangan jatuh dari IC ICL7660 itu sendiri, dimana tegangan jatuh dari IC tersebut sekitar 0,44 Volt sehingga pada tegangan hasil keluarannya berkurang sebesar 0,44 Volt dari tegangan masukannya.

C. Rangkaian Attenuator

Rangkaian *attenuator* bekerja memproteksi sistem dari tegangan lebih pada sisi masukannya agar tidak merusak rangkaian *op-amp* dan peranti ADC pada mikrokontroler. Rangkaian ini didesain memiliki impedansi yang tinggi sekitar 1 Mohm yang juga berfungsi untuk melawan arus lebih pada sisi masukan. Pengujian rangkaian

attenuator ini merupakan pengujian yang sangat penting dalam sistem, karena sinyal masukan yang akan diukur tidak boleh melebihi batas kemampuan setiap komponen yang ada pada sistem. Pada prinsipnya rangkaian *attenuator* ini bekerja seperti rangkaian resistor pembagi tegangan, dimana tegangan yang masuk akan dilemahkan dengan faktor pelemahan 10:1. Pelemahan sinyal tersebut dimaksudkan untuk meyakinkan setiap amplitudo sinyal yang masuk tidak melebihi batas kemampuan peranti ADC pada mikrokontroler.

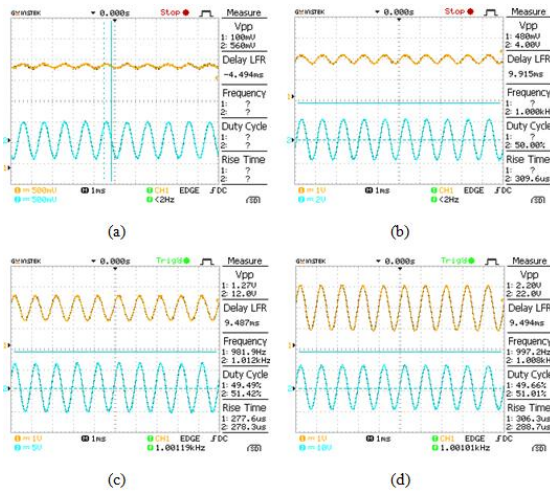
Tabel 3. Data Pengujian Rangkaian Attenuator

Pengujian	Amplitudo Masukan (V _{p-p})	Amplitudo Keluaran (V _{p-p})	Persentase Galat (%)
1	120 mV	11.1 mV	7.5 %
2	480 mV	48.0 mV	0 %
3	1.03 V	92.0 mV	10.6 %
4	1.48 V	128 mV	13.5 %
5	3.11 V	280 mV	9.9 %
6	3.51 V	320 mV	8.8 %
7	6.80 V	640 mV	5.8 %
8	9.39 V	860 mV	8.4 %
9	9.60 V	920 mV	4.1 %
10	10.8 V	1.00 V	7.4 %

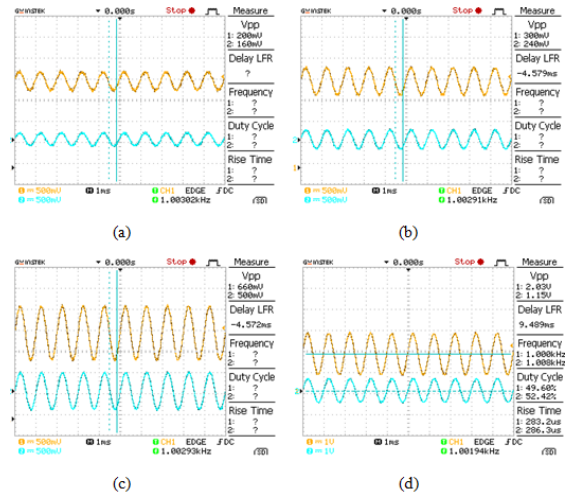
Dari data hasil pengujian rangkaian *attenuator* seperti yang tercantum pada Tabel 3 dapat terlihat bahwa rata-rata nilai galat yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut sekitar 7.6 % dari besar amplitudo yang seharusnya. Hal ini dimungkinkan karena nilai toleransi dari komponen resistor yang digunakan tidak murni 1 % dari nilai yang seharusnya, sehingga mengakibatkan perbedaan nilai yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut.

D. Rangkaian Op-Amp Penguatan 1x

Rangkaian *op-amp* dengan nilai penguatan 1x ini bertujuan sebagai rangkaian *buffer* sinyal yang telah dilemahkan dengan faktor pelemahan 10:1 pada rangkaian *attenuator* yang kemudian akan masuk dan di-*sampling* oleh peranti ADC didalam mikrokontroler. Sinyal yang di-*sampling* oleh peranti ADC yang melalui rangkaian penguat 1x ini adalah sinyal yang beramplitudo besar, sehingga tidak merusak peranti ADC pada mikrokontroler. Berikut merupakan data hasil pengamatan sinyal yang telah melalui rangkaian penguat 1x.



Gambar 9. (a) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 500 mVpp, (b) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 4 Vpp, (c) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 12 Vpp, (d) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 22 Vpp



Gambar 10. (a) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 160 mVpp, (b) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 240 mVpp, (c) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 500 mVpp, (d) Pengujian Sinyal dengan Amplitudo 1.15 Vpp

Tabel 4. Data Pengukuran Amplitudo Sinyal Keluaran Rangkaian Op-Amp dengan Penguatan 1x

Percobaan	Frekuensi Sinyal	Amplitudo Masukan (Vp-p)	Amplitudo Keluaran (Vp-p)
1	1 kHz	240 mV	40 mV
2	1 kHz	500 mV	100 mV
3	1 kHz	2.11 V	320 mV
4	1 kHz	4.00 V	400 mV
5	1 kHz	6.00 V	680 mV
6	1 kHz	8.00 V	880 mV
7	1 kHz	12.0 V	1.27 V
8	1 kHz	15.1 V	1.60 V
9	1 kHz	19.0 V	1.91 V
10	1 kHz	22.0 V	2.24 V

Tabel 5. Data Pengukuran Amplitudo Sinyal Keluaran Rangkaian Op-Amp dengan Penguatan 10x

Percobaan	Frekuensi Sinyal	Amplitudo Masukan (Vp-p)	Amplitudo Keluaran (Vp-p)
1	1 kHz	160 mV	200 mV
2	1 kHz	240 mV	300 mV
3	1 kHz	500 mV	660 mV
4	1 kHz	1.15 V	2.03 V
5	1 kHz	1.63 V	2.83 V
6	1 kHz	2.11 V	3.68 V
7	1 kHz	4.00 V	4.36 V
8	1 kHz	6.00 V	4.36 V
9	1 kHz	8.00 V	4.36 V
10	1 kHz	10.0 V	4.36 V

E. Rangkaian Op-Amp Penguatan 10x

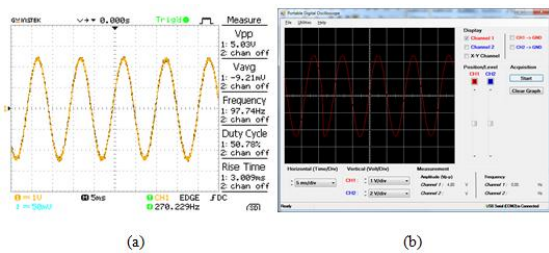
Rangkaian *op-amp* dengan nilai penguatan 10x ini bertugas untuk mengembalikan sinyal menjadi suatu sinyal yang sama besarnya seperti sebelum dilemahkan oleh rangkaian *attenuator* sinyal. Sehingga rangkaian ini disebut juga sebagai rangkaian pengembali besar sinyal masukan. Rangkaian penguatan 10x ini digunakan untuk menganalisis sinyal-sinyal masukan yang memiliki amplitudo kecil yang *range* amplitudonya tidak melebihi batas kemampuan tegangan yang dapat dibaca oleh peranti ADC pada mikrokontroler. Berikut merupakan data hasil pengamatan sinyal yang telah melalui rangkaian penguat 10x.

Dari data hasil pengukuran pada Tabel 5 besar amplitudo hasil keluaran rangkaian *amplifire* tersebut mendekati besar amplitudo sinyal masukannya, hanya saja terjadi penguatan berlebih sekitar 25 % - 32 % dari sinyal aslinya, sehingga menyebabkan penguatan sinyal yang tidak linier terhadap sinyal masukannya. Hal tersebut kemungkinan terjadi akibat nilai toleransi resistor yang tidak murni 1 % seperti yang seharusnya, dan juga terpengaruhi oleh resolusi komponen *potensiometer* yang digunakan sehingga kenaikan nilai hambatan yang dihasilkan oleh *potensiometer* terlalu besar untuk setiap perubahan perputarannya.

Pengujian secara Keseluruhan

A. Pengujian Gelombang Sinus

Untuk pengujian gelombang sinus ini diambil amplitudo sinyal yang mewakili rentang amplitudo menengah dengan menggunakan nilai 5.0 Vp-p. Sedangkan batas-batas frekuensi yang akan digunakan berada di rentang 1 Hz hingga 100 Hz.



Gambar 11. (a) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Osiloskop, (b) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Sistem Perangkat.

Gambar 11 (a) merupakan hasil pengukuran sinyal sinus dengan frekuensi 100 Hz menggunakan osiloskop yang ada dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 5,03 V, sedangkan pada Gambar 11 (b) adalah hasil pengukuran sinyal sinus menggunakan sistem perangkat yang dibuat dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 4,80 V.

Persentase faktor kesalahan (galat) yang terjadi dari hasil pengukuran menggunakan sistem perangkat yang dibuat dengan membandingkan dengan hasil pengukuran oleh osiloskop yang ada dapat dihitung menggunakan Persamaan (4.1).

$$\%FK = \left| \left(\frac{A_{osiloskop} - A_{sistem\ perangkat}}{A_{osiloskop}} \right) .100\% \right| \quad (4.1)$$

Keterangan :

- %FK adalah persentase faktor kesalahan, dimana hasilnya merupakan nilai harga mutlak.
- $A_{osiloskop}$ adalah nilai amplitudo sinyal hasil pembacaan oleh alat ukur osiloskop yang ada.
- $A_{sistem\ perangkat}$ adalah nilai amplitudo sinyal hasil pembacaan oleh sistem perangkat yang dibuat.

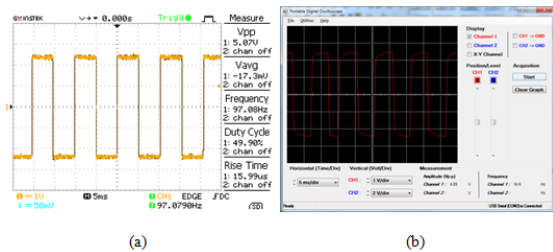
Dengan menggunakan Persamaan (4.1) maka persentase kesalahan yang terjadi dari hasil pengukuran oleh sistem perangkat pada amplitudo sinyal sebesar 5 Vp-p adalah :

$$\%FK = \left| \left(\frac{5,03\ V - 4,80\ V}{5,03\ V} \right) .100\% \right| = 4,57\ \%$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai %FK sebesar 4,57 %.

B. Pengujian Gelombang Kotak

Untuk pengujian gelombang sinus ini diambil amplitudo sinyal yang mewakili rentang amplitudo menengah dengan menggunakan nilai 5.0 Vp-p. Sedangkan batas-batas frekuensi yang akan digunakan berada di rentang 1 Hz hingga 100 Hz.



Gambar 12. (a) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Osiloskop, (b) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Sistem Perangkat.

Gambar 12 (a) merupakan hasil pengukuran sinyal gelombang kotak dengan frekuensi 100 Hz menggunakan osiloskop yang ada dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 5,07 V, sedangkan pada Gambar 12 (b) adalah hasil pengukuran sinyal gelombang kotak menggunakan sistem perangkat yang dibuat dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 4,89 V.

Dengan menggunakan Persamaan (5.1) maka persentase kesalahan yang terjadi dari hasil pengukuran oleh sistem perangkat pada amplitudo sinyal sebesar 5 Vp-p adalah :

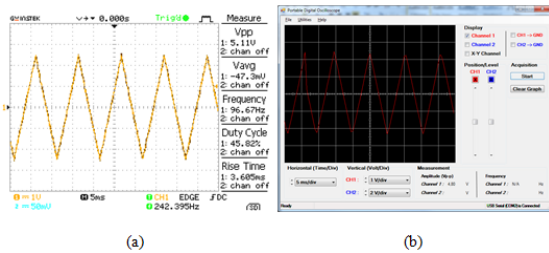
$$\%FK = \left| \left(\frac{5,07\ V - 4,89\ V}{5,07\ V} \right) .100\% \right| = 3,55\ \%$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai %FK sebesar 3,55 %.

C. Pengujian Gelombang Segitiga

Untuk pengujian gelombang sinus ini diambil amplitudo sinyal yang mewakili rentang amplitudo menengah dengan menggunakan nilai 5.0 Vp-p. Sedangkan batas-batas frekuensi yang akan digunakan berada di rentang 1 Hz hingga 100 Hz.

Gambar 13 (a) merupakan hasil pengukuran sinyal gelombang segitiga dengan frekuensi 100 Hz menggunakan osiloskop yang ada dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 5,11 V, sedangkan pada Gambar 13 (b) adalah hasil pengukuran sinyal gelombang segitiga menggunakan sistem perangkat yang dibuat dan menunjukkan hasil pengukuran amplitudo sinyal sebesar 4,80 V.



Gambar 13. (a) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Osiloskop, (b) Pengukuran Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Sistem Perangkat.

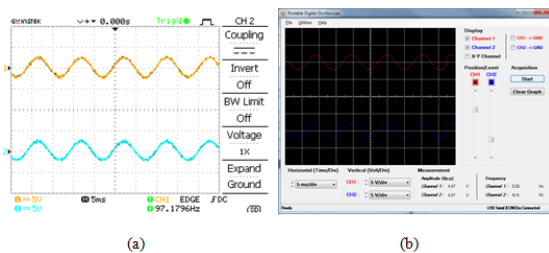
Dengan menggunakan Persamaan (4.1) maka persentase kesalahan yang terjadi dari hasil pengukuran oleh sistem perangkat pada amplitudo sinyal sebesar 5 Vp-p adalah :

$$\%FK = \left| \left(\frac{5,11 V - 4,80 V}{5,11 V} \right) \cdot 100\% \right| = 6,06 \%$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai %FK sebesar 6,06 %.

D. Pengujian Pengukuran 2 Kanal secara Bersamaan

Untuk pengujian 2 kanal masukan secara bersamaan ini dilakukan dengan cara memberi masukan sinyal gelombang sinus kepada masing-masing kanal pada sistem perangkat dengan frekuensi yang digunakan sebesar 100 Hz, dan amplitudo sinyal masukan sebesar 5 Vp-p. Kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran oleh osiloskop yang ada.



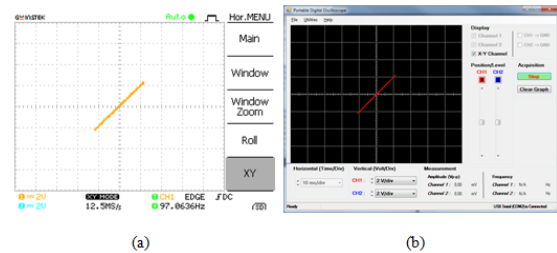
Gambar 14. (a) Pengukuran 2 Kanal dengan Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Osiloskop, (b) Pengukuran 2 Kanal dengan Amplitudo 5 Vp-p Menggunakan Sistem Perangkat.

Gambar 14 (a) merupakan hasil pengukuran sinyal gelombang sinus 2 kanal masukan dengan frekuensi 100 Hz menggunakan osiloskop yang ada, sedangkan pada Gambar 4.6 (b) adalah hasil pengukuran sinyal gelombang sinus 2 kanal masukan menggunakan sistem perangkat yang dibuat. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem perangkat dapat bekerja secara simultan

untuk mengukur lebih dari 1 kanal masukan, sehingga hal ini sesuai dengan perancangan sistem.

E. Pengujian Pengukuran Liseajous

Untuk pengujian pengukuran *liseajous* ini dilakukan dengan cara memberi masukan sinyal gelombang sinus kepada masing-masing kanal pada sistem perangkat dengan frekuensi yang digunakan sebesar 100 Hz, dan amplitudo sinyal masukan sebesar 5 Vp-p. Kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran oleh osiloskop yang ada.



Gambar 15. (a) Pengukuran Liseajous Menggunakan Osiloskop, (b) Pengukuran Liseajous Menggunakan Sistem Perangkat.

Gambar 15 (a) merupakan hasil pengukuran *liseajous* dengan frekuensi 100 Hz menggunakan osiloskop yang ada, sedangkan pada Gambar 15 (b) adalah hasil pengukuran *liseajous* menggunakan sistem perangkat yang dibuat. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem perangkat dapat bekerja secara simultan untuk mengukur lebih dari 1 kanal masukan, dan juga dapat digunakan untuk pengukuran *liseajous* yang biasanya digunakan untuk mengukur beda fasa antara kedua sinyal masukan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian serta analisis data dari sistem aplikasi *portable digital oscilloscope* menggunakan PIC18F4550, dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan hasil analisis data yang mengacu kepada tujuan perancangan dan pembuatan sistem.

1. Pada bagian *front-end* alat *portable digital oscilloscope* ini sudah dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dalam perancangan alat, dan besar impedansi masukan sistem yang cukup besar disekitar 1 Mohm, sehingga memungkinkan untuk

- menggunakan *probe* pengukur yang terdapat selektor 1x dan 10x pada *probe*-nya.
2. Pada bagian penguat dari alat ini pun bekerja dengan baik sesuai dengan maksud perancangan alat, karena dengan nilai penguatan 10x yang dibuat pada bagian penguat ini dapat mengembalikan besar amplitudo sinyal mendekati amplitudo sinyal masukannya, serta bagian penggeser sinyal yang bekerja dengan baik, karena mampu menaikkan dan menurunkan nilai *offset* tegangan referensi sinyal.
 3. Kelebihan lain dari alat *portable digital oscilloscope* ini selain ukuran dimensi alatnya yang tidak terlalu besar, juga sudah memanfaatkan komunikasi USB yang dimana pada komputer di masa kini port komunikasi seperti *serial comm port*, dan *parallel port* sudah sangat sulit untuk ditemukan, sehingga alat dapat lebih fleksibel untuk digunakan juga dapat digunakan untuk mengukur beda fasa sinyal dengan menggunakan metode *liseajous*.

B. Saran

Untuk pengembangan dan peningkatan lebih lanjut dari alat *portable digital oscilloscope* ini ada beberapa poin yang perlu diperhatikan dalam perancangannya.

1. Resolusi pembacaan ADC yang digunakan semakin besar adalah semakin baik, karena akan sangat berpengaruh terhadap akurasi pembacaan sinyal.
2. Menggunakan jenis mikrokontroler yang memiliki kecepatan *instruction per-second* yang lebih tinggi sehingga dapat melakukan *sampling* sinyal dengan waktu yang sangat sempit.
3. Sebaiknya ic kontroler yang digunakan untuk alat ukur instrumentasi ini menggunakan ic dengan jenis *Field Programmable Gate Array* (FPGA) sehingga waktu pemrosesan dapat lebih cepat, dan resolusi serta kecepatan konversi ADC-nya lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Axelson, Jan, 2009, "USB Complete Fourth Edition", Lakeview Research LLC, Madison, U.S.A
- [2] Kester, Walt., Bryant, James., Byrne, Mike., 2009, "Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"", Analog Device, U.S.A
- [3] Hartanto, Budi, 2009, "Membuat Program-Program Keren dengan Visual C#.Net Secara Mudah", Andi, Yogyakarta.
- [4] _____, 2009, "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet", Microchip, U.S.A
- [5] _____, 1994, "LF353 JFET-INPUT DUAL OPERATIONAL AMPLIFIER", Texas Instrument, U.S.A
- [6] _____, 1994, "MAX1044/ICL7660 Switched-Capacitor Voltage Converters", Maxim Integrated, California.