

MEMBANGUN MODUL PEMBELAJARAN PENGOLAHAN SINYAL PADA PLATFORM MINI PC

Tri Budi Santoso¹, Ahmad Zainudin¹, Titon Dutono¹

¹ Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS,
Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur Indonesia

Email: tribudi@pens.ac.id

Abstrak

Pada makalah ini diusulkan suatu model pembelajaran di laboratorium untuk mata kuliah pengolahan sinyal dengan memanfaatkan platform Mini PC, yang dalam hal ini adalah Raspberry pi. Strategi ini dipilih dengan tujuan untuk mengurangi kesenjangan yang sering terjadi di dalam proses pembelajaran dan memanfaatkan trend teknologi device yang semakin mudah diperoleh dengan harga terjangkau. Ada tiga modul yang disajikan, yang pertama adalah perancangan filter digital, yang kedua adalah prediksi voice-unvoice, dan yang ketiga adalah estimasi nilai pitch frekuensi. Modul yang dibangun diharapkan dapat membantu proses pemahaman sistem pengolahan sinyal, yang pada umumnya sering ditemui jika hanya menggunakan metode pendekatan matematik atau model simulasi perangkat lunak.

Kata Kunci: *Pengolahan Sinyal, Raspberry Pi, analisa matematik, on board prototype, simulator.*

Abstract

In this paper we propose a laboratory based learning model for a Signal Processing subject by using mini PC platform (Raspberry Pi). This strategy is chosen with the aim of reducing the gap that are often facing in the learning process, and how to utilizing the device technological trends, that very easy to obtain with an affordable price. There are three modules that will be presented, the first is digital filter design, the second is voice-unvoice prediction, and the third is pitch frequency estimation. From the developed modules, we expect to support the understanding process of signal processing subject, and get the better result compare the previous method which has been conducted by using mathematical analytic and software simulation.

Keywords: Signal Processing, Raspberry Pi, mathematic analysis, on board prototype, simulator.

1. PENDAHULUAN

Sistem Pengolahan Sinyal adalah pada teknologi software development radio (SDR). Teknologi ini telah diperkenalkan di era 1980-an, dan dengan perkembangan yang begitu pesat pada teknologi device seperti digital signal processing (DSP) dan field programmable gate array (FPGA), telah dikembangkan lebih jauh [1].

Pada implementasi sistem SDR mempersyaratkan kepakaran pada berbagai bidang terkait, mulai dari system arsitektur high-level untuk teknik pengolahan sinyal dan bahasa pemrograman, sampai dengan penguasaan aspek-aspek khusus pada hardware seperti memory, port input/output, timing, komputasi luaran, dsb. Permasalahan sering muncul di dalam upaya penguasaan SDR di perguruan tinggi. Untuk memenuhi persyaratan tersebut ada dua hal umum yang sering tidak dapat terpenuhi secara bersamaan,

yaitu teori dan praktik. Kenyataannya seorang pengajar akan mengalami kesulitan dalam menggabungkan dasar-dasar teori dengan kegiatan praktikum di laboratorium yang menggunakan perangkat dan instrument yang cukup kompleks. Lebih lanjut, untuk penyampaian materi SDR secara mendalam akan sangat berat jika disampaikan bersamaan dalam satu mata kuliah.

Permasalahan klasik lain yang juga muncul. Untuk pengadaan perangkat SDR seperti board DSP dan board FPGA sangat mahal, dan user kurang berpengalaman sehingga perlu waktu untuk menjalankan dengan baik. Untuk suatu eksperimen memerlukan pemahaman yang cukup dalam dan waktu cukup lama, apalagi terkait dengan topic telekomunikasi yang secara umum dikenal cukup kompleks.

Satu hal yang cukup menggelitik, bahwa secara umum pengajar bidang telekomunikasi dan pengolahan sinyal digital tidak tertarik pada berbagai model syntax dan kode

pemrograman untuk implementasi sub-system seperti proses modulasi, sinkronisasi, transformasi Fourier, dsb. Atau bisa juga karena keterbatasan daalam waktu pembelajaran di kelas. Sebagian besar pengajar akan fokus pada metode telekomunikasi, algoritma pengolahan sinyal, analisa time-frequency domain, dsb [2].

Akumulasi permasalahan di atas memberikan suatu kondisi yang kurang bagus terhadap capaian hasil pembelajaran. Harapan terwujudnya suatu “*learning by doing*” yang merupakan ciri khas dari “*Laboratory based Education System*” semakin sulit untuk direalisasikan.

Di sisi lain, dengan munculnya era Industri 4.0, memberikan tantangan kita sebagai pengajar di perguruan tinggi teknik. Satu kata kunci di dalam upaya bertahan untuk mengantisipasi perubahan yang sangat cepat adalah kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan, atau akan semakin tertinggal dan selanjutnya punah. Kondisi ini menuntut kita untuk menyelenggarakan system pendidikan dengan kurikulum yang mampu beradaptasi dengan perubahan, metode pembelajaran yang relevan dengan jaman[3-6].

Dengan membanjirnya berbagai macam device yang canggih dan dengan harga terjangkau di sekitar kita, akan memberi harapan untuk menjawab permasalahan tersebut [7] dan [8]. Berbagai produk general purpose programmable seperti mini PC (Raspberry pi, Arduino, dsb) sudah tersedia dengan harga murah.

Pada makalah ini kami mencoba untuk mengemas suatu upaya mewujudkan model pembelajaran pengolahan sinyal digital di laboratorium dengan model modul ajar berbasis platform mini PC, yang dalam hal ini adalah Raspberry Pi. Pemilihan Raspberry Pi didasarkan pada alasan bahwa harganya relative murah, memiliki spesifikasi teknik yang cukup handal untuk merealisasikan berbagai model pengolahan sinyal, dan relative mudah dipelajari bagi pemula. Satu hal lain yang menjadi pertimbangan adalah teknologi ini sesuai dengan jamannya pada pengguna,

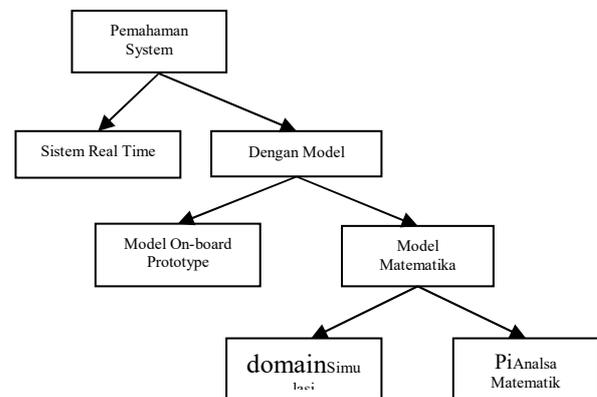
yaitu *i-gen* yang memiliki karakter selalu dinamis, serba cepat dan multitasking.

2. METODE

Proses belajar yang terbaik adalah secara langsung pada kondisi sebenarnya. Sebagai contoh ketika belajar naik sepeda, tentu akan lebih mudah dan lebih efektif jika dicoba secara langsung. Tanpa mengetahui teorinya, kita bisa secara langsung dicoba.

Tetapi tidak semua permasalahan tidak bias dipelajari dengan mencoba secara langsung, bias karena terlalu beresiko tinggi, atau biaya yang sangat besar. Pada proses belajar tentang reaksi kimia atau teknik tegangan tinggi, tentu akan berbahaya bagi seorang pemula, dan biayanya sangat besar. Demikian juga pada bidang medis, akan sangat beresiko dengan masalah keselamatan.

Cara belajar yang lain adalah melalui sebuah model, yang dalam hal ini merupakan tiruan dari system real. Model yang digunakan bias berupa model analisa matematik, model simulator perangkat lunak, atau on-board prototype. Secara umum cara pembelajaran suatu system dapat disederhanakan seperti pada Gambar 1.

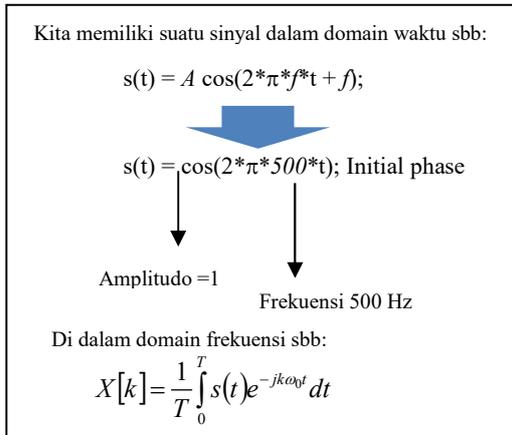


Gambar 1. Gambaran umum pembelajaran

A. Pendekatan Model Analisa Matematik

Proses pembelajaran dengan menggunakan pendekatan model matematik merupakan langkah yang paling mudah dan murah untuk dilaksanakan. Dengan kemampuan analisa matematis dan penguatan konsep teori,

seorang pengajar akan dapat menjalankan tugasnya dengan baik, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh model analisa matematik

Metode ini kurang menguntungkan bagi siswa, karena mereka harus memiliki kemampuan abstrak dan kecerdasan yang cukup untuk memahami konsep yang disajikan. Di sisi lain siswa tidak akan mendapatkan gambaran dari sistem yang sebenarnya, dan tidak memiliki kemampuan praktis.

B. Pendekatan Model Simulasi Perangkat Lunak

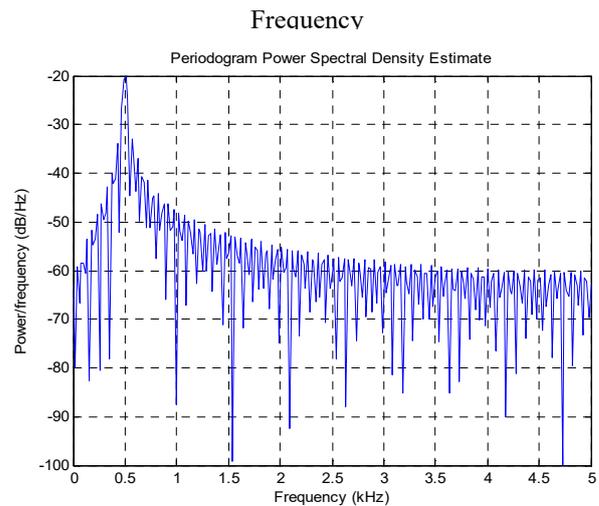
Model simulasi perangkat lunak cukup membantu siswa di dalam pemahaman suatu topic yang sedang dipelajari. Model ini mampu menyajikan fenomena alam dan berbagai proses dalam suatu kemasan tiruan perilaku yang dihasilkan dari perangkat lunak. Pada saat ini sangat banyak perangkat lunak yang tersedia, seperti Matlab, dsb. Contoh program simulasi seperti pada Gambar 3 dan hasilnya pada Gambar 4.

```

%sinus_01.m
clear all;
close all;
clc;
Fs=10000;
f=500;
t=(-100:100)/Fs;
s1=cos(2*pi*f*t);
figure();
plot(t,s1,'linewidth',2);
grid on;
xlabel('waktu (detik));ylabel('Amplitudo (mili Volt)');
%axis([-1.5 -1.2 1.2])
figure();
periodogram(s1,[],'onesided',512,Fs);
    
```

← Matlab code..

Gambar 3. Contoh model simulasi perangkat lunak



Gambar 4. Contoh tampilan model simulasi perangkat lunak

Dalam membangun model pembelajaran dengan metode ini diperlukan kemampuan menyusun model dan formulasi matematik yang merepresentasikan perilaku sistem dengan sebaik-baiknya. Pada umumnya perilaku dan sifat-sifat sistem yang dimodelkan dengan perangkat lunak sudah diberi berbagai asumsi dasar untuk penyederhanaan.

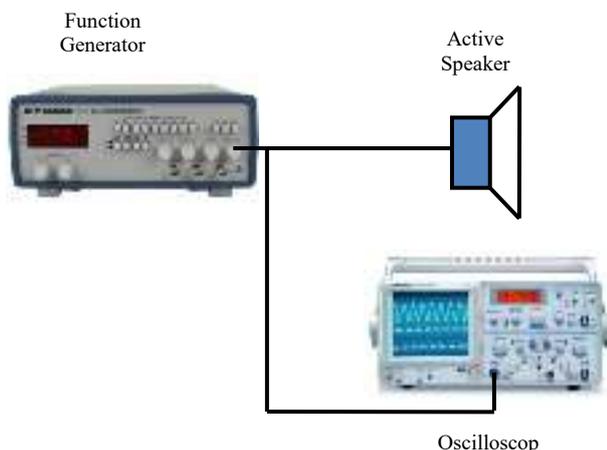
Kelemahan metode ini adalah ketika pemodelan yang dilakukan terlalu banyak asumsi, maka sistem yang disimulasikan tidak akan mampu mendekati perilaku sistem yang disimulasikan. Dan tentu saja siswa tidak akan menemukan kondisi real dari sistem yang sesungguhnya, adat mendapatkan gambaran secara fisik dengan cukup jelas.

C. Pendekatan model Simulasi On-Board Prototyping

On board prototyping atau yang juga dikenal sebagai modul ajar perangkat keras sebetulnya tidak murni terdiri dari perangkat keras dan peralatan ukur saja, tetapi untuk kondisi sekarang sudah merupakan kombinasi antara perangkat keras dengan sistem embedded yang didrive dengan perangkat lunak. Contohnya seperti pada Gambar 5.

Metode pembelajaran ini sangat efektif dan mudah bagi siswa untuk memahami sistem, karena mampu memberikan gambaran

mendekati sistem real di lapangan, tentu saja dalam skala laboratorium. Di era industry 4.0 sekarang ini, model pendekatan onboard prototype sudah lebih memungkinkan untuk direalisasikan, karena berbagai device dan alat ukur sudah tersedia dengan harga yang terjangkau dan semakin mudah didapatkan.



Gambar 5. Contoh tampilan model on-board skala lab

Satu hal yang perlu dicermati dalam hal ini adalah kesiapan seorang pengajar yang harus memenuhi persyaratan, yaitu kemampuan dalam mengoperasikan alat ukur dan melakukan coding pada saat membangun model yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Raspberry Pi adalah jenis komputer papan tunggal (*single-board circuit*, SBC) yang memiliki ukuran sebesar kartu kredit, seperti pada gambar 3 berikut. RPI adalah hasil dari proyek yang diprakarsai oleh Eben Upton, seorang insinyur Inggris pada tahun 2006 yang bertujuan untuk membangkitkan pengajaran ilmu komputer di sekolah tinggi. Jantung inti dari Raspberry Pi 3 Model B ini adalah sirkuit terpadu (*system on chip*-SOC) yang menggabungkan prosesor ARM Cortex-A53 1.2 GHz (CPU) 64-bit Quad-core, prosesor grafis *Broadcom VideoCore IV* (GPU), dan memiliki RAM 1 GB dalam satu chip sistem.

Selain itu terdapat slot *MicroSD* sebagai penyimpanan data serta sistem operasi dari RPI sendiri, port Ethernet, 4 port I/O USB, HDMI. Gambar 3 memberikan gambaran skematis dari perangkat Raspberry Pi 3 Model

B. RPI memiliki 40 pin *General Purpose Input/Output* (GPIO) yang muncul keluar ke header, sebagian besar memiliki fungsi lain yang tidak sekedar I/O. Ada dua pin yang dapat digunakan untuk GPIO INPUT atau OUTPUT dengan baik. Ada juga internal *pull-up* dan *pull-down* untuk setiap pin. Tabel 1 berikut adalah spesifikasi hardware pada penelitian ini

Tabel 1. Spesifikasi Raspberry Pi

No	Spesifikasi	Nilai
1	System on Chip	Broadcom BCM2837 64-bit CPU
2	CPU	Quad-core ARM Cortex-A53 1.2 GHz
3	GPU	Broadcom VideoCore IV
4	RAM	GB LPDDR2 (900 MHz)
5	Networking	10/100 Ethernet, 2.4 GHz 802.11n wireless
6	Bluetooth	Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy
7	Storage	microSD
8	GPIO	40-pin header, populated
9	Ports	HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4xUSB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

Seperti kita ketahui bahwa Raspberry Pi tidak dilengkapi memiliki analog input/output. Untuk berkomunikasi dengan sinyal analog diperlukan sebuah USB audio card, sehingga memungkinkan untuk menerima sinyal analog dari function generator dan mengeluarkan sinyal analog untuk diamati dengan osiloskop, atau didengarkan dengan speaker. Device ini bekerja sebagai analog to digital (ADC) dan digital to analog (DAC).

Untuk kasus pengolahan sinyal audio dapat dilakukan dengan frekuensi sampling 44100 Hz dan resolusi 16 bit per sampel. Modul yang dirancang diharapkan akan mampu menangani sinyal audio dengan frekuensi 0 ~ 20000 Hz. Sehingga akan mampu untuk proses pengolahan pada daerah frekuensi dasar (base band).

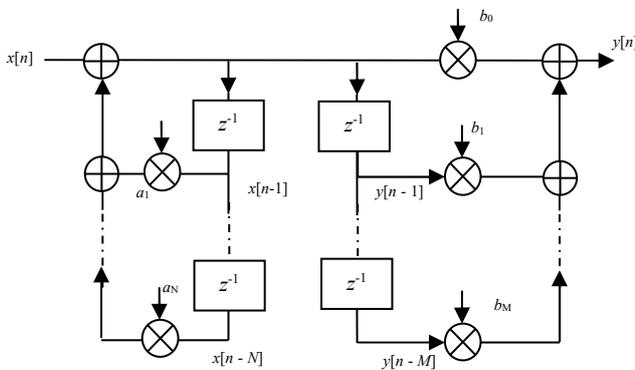
Ada tiga contoh modul praktikum yang akan disajikan pada paper ini, yaitu: modul perancangan filter digital, modul prediksi *voice* dan *unvoice*, dan modul estimasi nilai pitch.

A. Perancangan Filter Digital

Perancangan filter digital yang dirancang adalah dengan metode perancangan berbasis respon impulse. Untuk kasus ini dipilih metode IIR. Jenis filter IIR termasuk dalam katagori recursive filter. Tipe ini dipilih karena relative sederhana, dan mudah diimplementasikan. Bentuk dasar filter IIR yang dirancang dapat didekati dengan persamaan sbb:

$$y(n) = \sum_{l=1}^N a_l y[n - l] + \sum_{k=0}^M b_k [n - k] \tag{1}$$

Sebelum mengarah kepada system real, terlebih dulu digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti Gambar 6. Suatu model diagram blok didasarkan pada bentuk yang paling sederhana, dikenal sebagai direct form IIR filter. Model ini cukup mudah dipahami, dimana koefisien-koefisien *feedback* berada di bagian kiri, ditandai dengan a_l . Sedangkan koedisien-koefisien *feedforward* diletakkan pada bagian kanan, dan ditandai sebagai b_k . masukan sinyal dinyatakan sebagai $x(n)$, sedangkan luaran sinyal adalah $y(n)$.

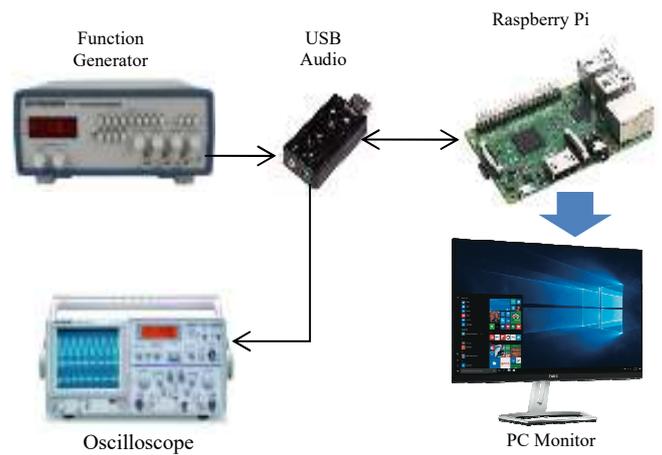


Gambar 6. Diagram blok implementasi Filter IIR

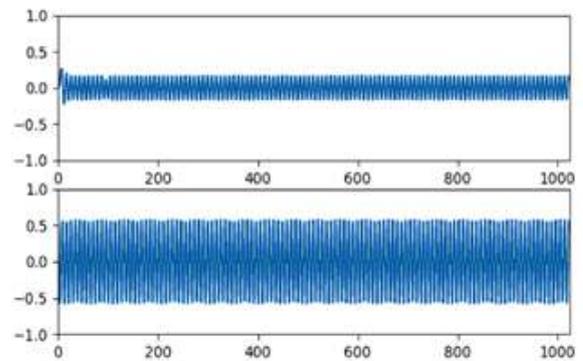
Langkah berikutnya adalah merealisasikan dalam suatu perangkat keras *on board prototype* dalam skala laboratorium seperti Gambar 7. Dalam hal ini diperlukan perangkat utama yaitu mini PC Raspberry Pi, sebuah USB audio sebagai ADC, beberapa konektor, Function generator untuk membangkitkan sinyal uji, dan Oscilloscope untuk pengamatan luaran dalam bentuk real. Sebagai tambahan

diperlukan sebuah monitor dan keyboard untuk proses pemrograman pada Raspberry pi.

Pada kasus ini dipilih frekuensi sampling sebesar 41000 Hz. Filter dirancang adalah sebuah low pass filter dengan nilai koefisien filter $N=3$, dan *cut off* frekuensi sebesar 4000 Hz. Bentuk selengkapnya rancangan seperti pada Gambar 7a, sedangkan luaran pada saat frekuensi input 4000 Hz dapat dilihat seperti pada Gambar 7b.



(a) Modul secara lengkap untuk filter IIR



(b) Contoh sinyal luaran, pada input 4000 Hz.

Gambar 7. Implementasi Filter IIR dengan Raspberry Pi

B. Prediksi Voice un-Voice

Model *voice un-voice* detection merupakan suatu *pre-processing* pada analisa pengolahan suara. Hal ini dilakukan untuk mengefisiensikan proses pengolahan. Salah satu teknik yang cukup populer adalah dengan *zero crossing rate* seperti persamaan berikut:

$$Z_{\hat{n}} = \sum_{m=-\infty}^{\infty} 0.5[\text{sgn}\{x[m]\} - \text{sgn}\{x[m-1]\}]w[\hat{n}-m] \tag{2}$$

dimana : $\text{sgn}\{n\} = \begin{cases} 1 & ;x \geq 0 \\ -1 & ;x < 0 \end{cases}$

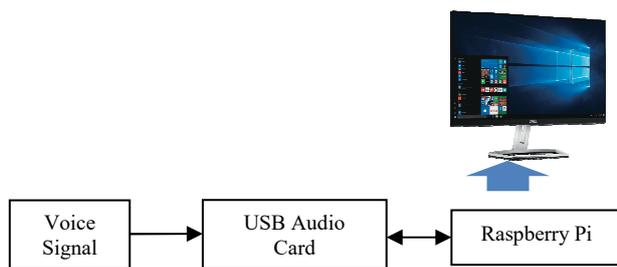
Dengan algorithma yang cukup sederhana, dimana ciri sinyal suara (*voice*) memiliki level tegangan cukup tinggi dan jarang melintasi sumbu $y = 0$. Sedangkan untuk *unvoice* memiliki ciri sebaliknya, yaitu level tegangan cenderung rendah dan sering melintasi sumbu $y = 0$.

Implementasi dalam bentuk modul praktikum dapat dilakukan dengan mengacu pada Gambar 8a. Sedangkan hasil luaran dapat dilihat seperti pada Gambar 8b. Terlihat bahwa antara bentuk perekaman awal dan hasil *voice-unvoice estimation* telah menunjukkan adanya penghilangan bagian *unvoice* pada perekaman tersebut.

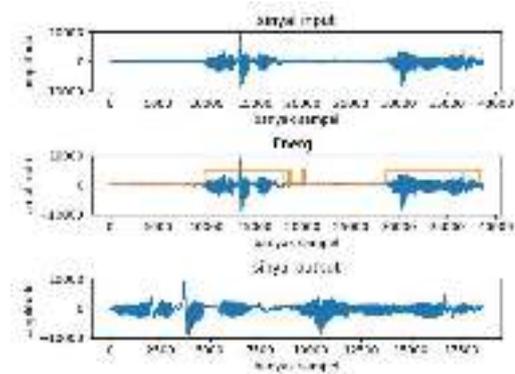
C. Estimasi Nilai Pitch

Estimasi nilai *pitch* adalah suatu bentuk penghitungan sederhana untuk mendapatkan nilai perkiraan kasar frekuensi dasar dari suatu sinyal wicara. Teknik yang digunakan di dalam modul ini adalah dengan memanfaatkan persamaan autokorelasi dari sinyal, seperti pada persamaan berikut ini.

$$\phi_{\hat{n}}[l] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x_{\hat{n}}[m]x_{\hat{n}}[m+l] \tag{3}$$



(a) Modul voice-unvoice detection

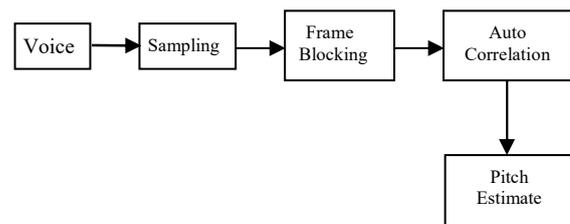


(b) Hasil voice-unvoicedetection

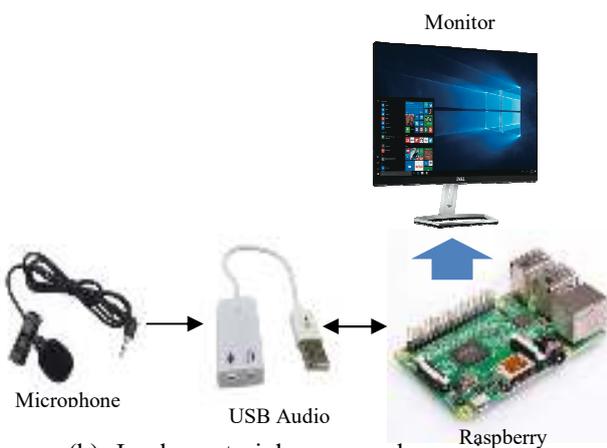
Gambar 7. Implementasi Filter IIR dengan Raspberry Pi

Jika sinyal yang masuk adalah sinyal suara, maka korelasinya akan memiliki pola tertentu, dan cenderung memiliki level tinggi, sedangkan untuk sinyal unvoice cenderung tidak memiliki bentuk korelasi yang jelas.

Gambaran diagram blok dan modul untuk estimasi pitch dapat diberikan pada Gambar 8a dan 8b. Pada Gambar 8a dapat dilihat bahwa sinyal suara setelah melalui proses sampling dibentuk menjadi frame-frame untuk memudahkan pengolahan dan memenuhi syarat linear dan time invariant. Proses autokorelasi dilakukan dengan memanfaatkan persamaan (3), luaran dari system berupa angka-angka yang menyatakan pitch dari hasil perekaman sesuai posisi frame yang diinginkan.



(a) Diagram blok dasar estimasi pitch



(b) Implementasi dengan raspberry pi

Gambar 8 Implementasi estimasi nilai pitch

D. Tantangan di dalam Implementasi

Seperti diketahui bahwa suatu kegiatan praktikum diawali dengan paparan teori dasar yang mendukung eksperimen yang akan dilakukan. Pada bagian ini pada umumnya tidak akan terjadi permasalahan, karena pada umumnya seorang pengajar sudah menguasai konsep teoritis dari mata kuliah yang diajarkannya. Di dalam pelaksanaan eksperimen seorang pengajar dipersyaratkan memiliki kematangan dalam penguasaan materi, kemampuan di dalam pengoperasian alat ukur, penguasaan modul praktikum, dan kesabaran di dalam menangani berbagai persoalan teknis dan non teknis yang mungkin muncul selama pelaksanaan praktikum.

Pada suatu kondisi tertentu mungkin terjadi di mana siswa-siswa mengalami kesulitan dalam pengoperasian peralatan. Dalam hal ini diperlukan suatu pembelajaran awal tentang bagaimana cara pengoperasian peralatan. Hal ini bisa dilakukan di minggu awal pelaksanaan kegiatan, dan bisa diulang pada bagian awal setiap penggunaan modul baru. Kondisi seperti ini merupakan kesempatan bagi siswa untuk mengembangkan ketrampilan penggunaan peralatan praktikum secara maksimal. Satu keuntungan mendasar dalam hal ini adalah kesempatan bagi siswa untuk melihat secara langsung keterkaitan antara konsep teori dengan hasil eksperimen

yang merupakan salah satu contoh kondisi real di lapangan.

Keuntungan lain dalam pelaksanaan praktikum adalah pembentukan team work. Secara umum praktikum pengolahan sinyal dilakukan secara berkelompok yang terdiri dari ≥ 3 mhs. Proses pembelajaran dengan eksperimen berkelompok memerlukan pengorganisasian dan pembagian pekerjaan. Penentuan ketua sebagai pemimpin dan penugasan pada setiap anggota dengan tugas tertentu. Setiap peserta dalam kelompok memiliki tugas dan tanggung jawab. Keberhasilan semua anggota di dalam menjalankan tugas masing-masing akan menentukan keberhasilan tim dalam suatu eksperimen.

Suatu kelompok mungkin menghadapi permasalahan di dalam menyelesaikan suatu eksperimen. Dalam hal ini tugas seorang pengajar untuk member guide line arah penyelesaiannya. Sehingga kemampuan teoritis, teknis pengoperasian perangkat dan trouble shooting merupakan persyaratan bagi pengajar dalam keberhasilan pelaksanaan pembelajaran di laboratorium. Perlu diingat bahwa siswa yang dihadapi adalah generasi dengan karakter keingin tahuan yang tinggi, kritis, dan selalu menginginkan serba cepat, serta hanya percaya jika dapat melihat secara langsung atau mencoba sendiri.

4. KESIMPULAN

Dari berbagai eksperimen yang telah dan sedang dilakukan memberikan indikasi bahwa model pembelajaran yang disusun cukup memberikan harapan. Sisa secara langsung dapat melihat sistem yang mendekati kondisi real dalam skala tertentu, dan melihat fenomena sinyal secara real time. Hal ini member nuansa lebih baik dibandingkan model pembelajaran yang hanya mengandalkan pendekatan analisa matematik atau model simulasi dengan perangkat lunak.

Model yang diusulkan juga relative fleksibel dan dapat dipenuhi dengan biaya

yang relative murah. Hal ini juga memungkinkan bagi siswa untuk membuat tiruan model secara mandiri dan dapat melakukan berbagai eksperimen di luar kelas atau laboratorium, baik dilakukan secara mandiri atau berkelompok. Dengan demikian proses belajar akan menjadi lebih efektif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami sampaikan terima kasih kepada pihak manajemen kampus PENS yang telah memberi kesempatan untuk melakukan semua eksperimen untuk pengembangan modul praktikum Pengolahan Sinyal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ulversoy, "Software defined radio: Challenges and opportunities," *IEEE Communication Surveys & Tutorial*, vol. 12, no. 4, pp. 531–550, 2010.
- [2] G. Pasolini, A. Bazzi, dan F. Zabini, "A Raspberry Pi-Based Platform for Signal Processing Education," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 34, no. 4, pp. 151 - 158, July 2017.
- [3] A.A. Shahroom, and N. Hussin, "Industrial Revolution 4.0 and Education", *International Journal of Academic Research in Bussiness & Social Sciences*, Vol. 8, No. 9, September 2018, pp. 314 - 319.
- [4] Anealka Aziz Hussin, "Education 4.0 Made Simple: Ideas For Teaching", *Internaitonal Journal of Education & Literacy Studies*, Volume: 6 Issue: 3, 2018, pp.92-98.
- [5] Afrianto, "Being a Professional Teacher in the Era of Industrial Revolution 4.0: Opportunities, Challenges and Strategies for Innovative Classroom Practices", *English Language Teaching and Research*, Vol. 2, No.1 Desember 2018.
- [6] Tuulikki Keskitalo & Heli Ruokamo, "A Pedagogical Model for Simulation-Based Learning in Healthcare", *Seminar.Net*,

International Journal of Media, Technology and Lifelong Learning, Vol. 11, Issue 2, 2015.

- [7] Annonymous "Consumer Devices in the Industrie 4.0 Environment", *ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. German Electrical and Electronic Manufacturers' Association Automation Division*, 2018.
- [8] Veena Pureswaran, and Paul Brody, "Device Democracy: Saving the future of the Internet of Things", *Executive Report Electronics Industry*, IBM, 2018.