



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201985555, 3 Desember 2019

Pencipta

Nama : **Beni Juniarto Rahmad Raharjo, Dr. Ir. Masduki Zakaria, M.T.,**
Alamat : Sempol, Harjobinangun, Pakem, Sleman, Di Yogyakarta, 55282
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM UNY**
Alamat : Jl. Colombo No. 1, Karangmalang, Sleman, Di Yogyakarta, 55281
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku Panduan/Petunjuk**
Judul Ciptaan : **Job Sheet Media Pembelajaran Audio Spectrum Analyzer**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 30 November 2019, di Yogyakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 25 (dua puluh lima) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000167480

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



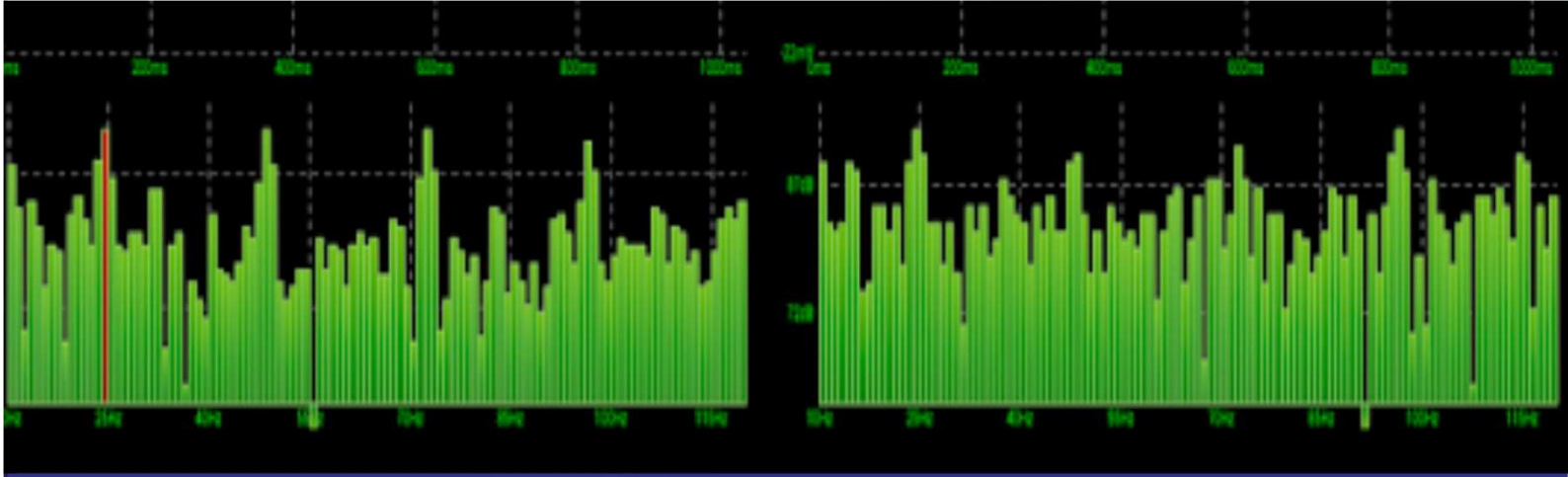
a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Beni Juniarto Rahmad Raharjo	Sempol, Harjobinangun, Pakem
2	Dr. Ir. Masduki Zakaria, M.T.	Godegan, Tamantirto, Kasihan





Job Sheet

Media Pembelajaran Audio Spectrum Analyzer



BENI JUNIARTO RAHMAD RAHARJO, S.Pd.
Dr. Ir. Drs. MASDUKI ZAKARIA, M.T.



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi ALLAH SWT, Tuhan pencipta alam semesta. Dalam perkembangan dan penggunaan teknologi yang semakin cepat, salah satunya adalah dalam bidang audio. Secara umum teknologi ini memfasilitasi kita untuk menggabungkan dunia digital (hasil rekayasa komputer) dengan dunia kerja.


Jobsheet yang disajikan dalam media pembelajaran ini secara umum adalah belajar tentang menganalisa *Loudspeaker* pada mata perkuliahan praktik sistem audio sesuai dengan kompetensi yang harus dimiliki oleh mahasiswa. Keistimewaan media ini adalah kemampuannya untuk memberikan gambaran mengenai bagaimana kompetensi yang dibutuhkan di dunia kerja tentang bagaimana melakukan pengukuran *Loudspeaker* melalui aplikasi audio *Spectrum Analyzer*. Jobsheet ini pun disusun sesuai dengan kompetensi di dunia kerja tentang bagaimana menganalisa *Loudspeaker*, sehingga memberikan kesempatan mahasiswa mengetahui komponen, instalasi serta bagaimana cara melakukan pengukuran terhadap *Loudspeaker*.

Pengembang berharap dengan adanya jobsheet ini dapat membantu mahasiswa menambah gambaran tentang kompetensi di dunia kerja dalam bidang audio serta untuk melengkapi sumber belajar yang sudah ada. Pengembang pun berharap atas kritik dan saran membangun dari pengguna untuk perbaikan Jobsheet ini supaya lebih baik. Terima kasih.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	2
DAFTAR ISI.....	3
JOBSHEET 1.....	4
JOBSHEET 2.....	19
JOBSHEET 3.....	31
KUIS.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	65

JOBSHEET 1

	FAKULTAS TEKNIK		
	UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA		
	JOBSHEET SISTEM AUDIO		
	Komponen Pengambilan Data Teknis <i>Loudspeaker</i>		
Semester 4	<i>Loudspeaker</i>	200 Menit	
No. LST/PTE/ ...	Revisi : 00	Tgl :	

INDIKATOR CAPAIAN PEMBELAJARAN PRAKTIK

Dengan mempelajari dan praktik menggunakan Jobsheet Sistem Audio topik Praktik pengenalan kompoenen pengambilan data teknis *Loudspeaker*, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Mahasiswa dapat mengetahui komponen – komponen yang digunakan untuk pengambilan data teknis *Loudspeaker*.
2. Mahasiswa dapat mengetahui cara kerja dari setiap kompoenen yang digunakan untuk pengambilan data teknis *Loudspeaker*.

DASAR TEORI

1. Akustik

Akustik adalah ilmu yang mempelajari tentang gelombang suara dan perambatannya dalam suatu medium. Pendapat lainnya menyatakan, akustik adalah ilmu yg mempelajari tentang suara, bagaimana suara diproduksi/dihasilkan, perambatannya, dan dampaknya, serta mempelajari bagaimana suatu ruang/medium merespon suara dan karakteristik dari suara itu sendiri yang sensasinya dirasakan oleh telinga (Santosa, H:2013). Penerapan akustik dapat

dilihat di hampir semua aspek masyarakat modern salah satunya adalah industri audio. Salah satu cabang ilmu akustik dalam industri audio adalah *Electroacoustics* yang membahas tentang audio, *loudspeaker* dan *microphone design* (Santosa,H:2013). Sebagai salah satu disiplin ilmu yang sering diterapkan dalam kehidupan sehari – hari, memang benar akustik tidak dapat berdiri sendiri, namun pemahaman yang baik terhadap prinsip akustik akan sangat membantu dan meningkatkan kualitas hidup kita.

a) Sinyal Audio

Perubahan pada tekanan udara yang diterima oleh pendengaran kita adalah gelombang suara. Sinyal audio adalah gelombang suara dalam arah *longitudinal* (Elizabeth Irene: 2015). Frekuensi untuk setiap sinyal audio berbeda-beda dan merepresentasikan seberapa cepat perubahan sinyal audio per detik. Frekuensi gelombang suara yang dapat diterima oleh indra pendengaran manusia adalah antara 20 Hz sampai 20 kHz. Gelombang suara pada area frekuensi ini yang dianggap sebagai sinyal audio (Umopathy, 2010). Selain frekuensi sinyal audio terdapat beberapa properti lain, yaitu periode dan amplitudo. Periode adalah waktu yang dibutuhkan selama siklus gelombang dalam satuan sekon. Amplitudo adalah ukuran volume sinyal pada waktu tertentu.

a) Karakteristik sinyal audio

Jenis karakteristik sinyal audio dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu: karakteristik sementara dan spektral (Rao, 2007). Karakteristik sementara termasuk durasi dan modulasi amplitudo sinyal termasuk naik turun bentuk gelombang. Karakteristik spektral berhubungan dengan komponen frekuensi dan jumlahnya.

Sinyal audio juga memiliki beberapa karakteristik yang digunakan untuk menentukan perbedaan sinyal ucapan dan sinyal lain yang dianggap sebagai kebisingan. Sinyal ucapan adalah sinyal audio yang berasal dari sistem pengucapan manusia dengan tujuan untuk komunikasi. Frekuensi standar untuk sinyal ucapan manusia antara 100 sampai 3000 Hz. Sinyal ucapan bersuara berasal dari getaran pita suara, sementara ucapan tanpa suara memiliki sinyal bising seperti ‘s’, ‘sh’(Pollak, 2004). Sedangkan sinyal kebisingan adalah sinyal selain sinyal ucapan

manusia, termasuk suara alami, buatan, dan musik. Karakteristik ini dikategorikan menjadi dua, yaitu karakteristik fisik dan persepsi.

Karakteristik fisik meliputi energi, *zero-crossing rate*, fitur spektral, frekuensi dasar, lokasi formant, fitur berbasis waktu, dan modulasi. Karakteristik persepsi meliputi nada dan prosodi, bingkai suara dan tanpa suara, warna nada, dan ritme. Karakteristik fisik adalah fitur-fitur unik dalam sinyal audio yang diperoleh dari perhitungan langsung dari amplitudo gelombang audio atau nilai spektral jangka pendek. Karakteristik persepsi adalah karakteristik relative yang diperoleh dari informasi sinyal audio (Gerhard, 2003).

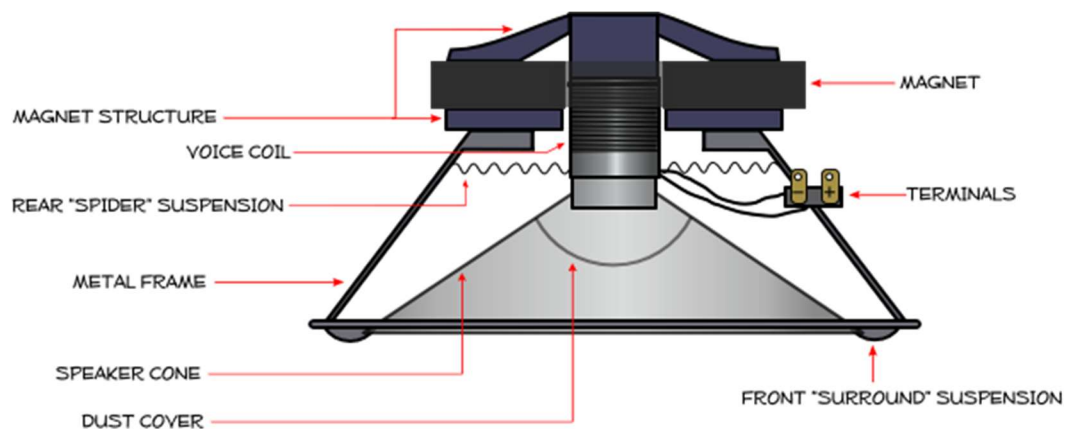
2. *Loudspeaker / Speaker*

Loudspeaker adalah perangkat yang digerakkan oleh energi sinyal listrik dan memancarkan energi akustik ke ruangan atau udara terbuka (Ian R. Sinclair: 1998:276). *Loudspeaker*, *speaker* atau sistem *speaker* merupakan sebuah *transduser elektroakustical* yang mengubah sinyal listrik ke energi suara atau sebaliknya. (Iarsen Erik, 2004). Dari pendapat yang telah ada bahwa loudspeaker dapat dikatakan sebuah perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi pancaran energi suara dalam jangkauan tertentu atau bisa disebut penguat suara. Penguat suara elektroakustik telah ada selama beberapa waktu. Paten pertama untuk loudspeaker kumparan bergerak ditayangkan pada tahun 1877, oleh Cuttriss dan Redding.

a) Prinsip kerja *Loudspeaker*

Dalam *Loudspeaker* terdapat sekat rongga (juga dikenal sebagai konus) tipis, membran agak kaku diletakkan ditengah-tengah magnet. Magnet menginduksi membran hingga bergetar, menghasilkan suara (Sri Waluyanti dkk: 2008). Membran ini juga terdapat pada *headphone*. Menggunakan sebaliknya mengubah getaran udara (suara) ke dalam sinyal listrik seperti dalam perancangan mikrofon pada umumnya. Secara singkat bagian yang terpenting dari *Loudspeaker* adalah : Konus, Suspensi, Kumparan suara dan Magnet. Perubahan medan magnet di dalam *speaker* akan berinteraksi dengan medan konstan magnet yang

menyebabkan kumparan bergerak sebagai reaksi akibat ada tidaknya arus. Konus ikut bergerak akibat kumparan suara bergerak sehingga pada udara sekitar konus akan terbentuk gelombang tekanan. Gelombang inilah yang terdengar sebagai bunyi. Gendang telinga menggunakan prinsip yang serupa, menggunakan sekat rongga (*diafragma*) merangsang kegelisahan untuk memancarkan gambaran suara ke otak. Dalam *Loudspeaker*, terdapat *fiber selulosa* (kertas) merupakan bahan asli yang sangat umum digunakan untuk membuat sekat rongga. Kepadatan kertas dimodifikasi untuk menghasilkan karakteristik suara yang diinginkan. Selulosa kontinyu sangat umum digunakan dalam *cone speaker*. Sekarang banyak ditambahkan fiber sintetis dan binder untuk tingkatan kekayaan yang akustik seperti halnya dalam menghandel daya. Bahan lain yang sekarang banyak digunakan adalah *polypropylene* dan alumunium, gambar skematik *loudspeaker* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skematik *Loudspeaker* (www.centerpointaudio.com)

b) Karakteristik *Loudspeaker*

Speaker adalah suatu alat *electromechanical transducer* yang merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Rentang dari frekuensi suara yang dapat dihasilkan oleh sebuah sistem *speaker* adalah berkisar antara 20 sampai 20 kHz. Keadaan tersebut sesuai dengan rentang pendengaran manusia yaitu dari 20 sampai 20 kHz. Menurut Sri Waluyanti *Speaker* terbagi menurut fungsi dan lebar frekuensi yang dapat dimainkannya yaitu:

- a. *Subwoofer/Woofers*: Untuk menghasilkan reproduksi nada rendah. Biasanya dibatasi dari 100 Hz dan di bawahnya. Dan bilamana suatu *woofers* dapat mereproduksi nada bass dibawah 40 Hz, maka dapat disebut *subwoofer*. Biasanya ukuran dari *subwoofer* adalah 12, 15, 18 inci dan ukuran *woofers* sekitar 8 dan 10 inci.
- b. *Mid bass/Midwoofers*: Biasanya menghasilkan frekuensi dengan rentang antara 80-350Hz. Biasanya ukuran dari midbass ini adalah berkisar dari 5 sampai 7 inci.
- c. *Midrange*: Ukuran dari midrange murni adalah berkisar 3-4 inci dan frekuensi kerjanya adalah berkisar 350 sampai dengan 4500 Hz; 3.
- d. *Tweeter*: Adalah driver *speakers* yang digunakan untuk mereproduksi daerah atas dari frekuensi musik, biasanya cakupan kerjanya adalah berkisar dari 3500 sampai 20 kHz. Bentuknya bermacam-macam menurut ukuran dan frekuensi kerjanya. Biasanya ukurannya berkisar antara 0,54 inci.

3. Mikrofon

Dalam bidang elektro-akustik, mikrofon dan *Loudspeaker* adalah sebuah *transducer*, yaitu pengubah energi. Mikrofon adalah perangkat yang mengubah energi akustik (diterima sebagai gerak getar partikel udara) menjadi energi listrik (dikirim sepanjang kabel mikrofon sebagai gerak getar partikel listrik elementer yang disebut elektron)(Ian R. Sinclair: 1998). Mikrofon merupakan sebuah alat yang mengeluarkan sebuah gelombang sinus yang sudah pasti pada suatu tekanan tertentu (Yp Hadi Sumoro K: 2012). Pendapat lain juga mengartikan bahwa Mikrofon adalah suatu alat yang dapat mengubah getaran suara menjadi getaran listrik (Sri Waluyanti dkk : 2008). Dari pendapat yang disampaikan dapat diketahui bahwa mikrofon diartikan sebagai alat yang digunakan untuk menghasilkan suara dimana terjadi perubahan energi – energi akustik (gelombang suara) menjadi energi elektrik (listrik).

a) Cara kerja mikrofon

Mikrofon mempunyai berbagai macam cara dalam mengubah energi tergantung dari jenisnya. Akan tetapi, semua jenis mikrofon mempunyai satu persamaan yaitu pada *diaphragm* atau selaput tipis (*diafragma*). *Diafragma* merupakan material tipis yang berada di dalam mikrofon dan bergetar saat terkena gelombang suara. Menurut Ian R. Sinclair (1998:120) Mikrofon terbagi menjadi beberapa jenis diantaranya mikrofon dinamis, mikrofon kondensor, mikrofon pitamikrofon kondenser dan mikrofon piezoelectric (drystal). Selaras dengan yang diungkapkan Waluyanti (2008: 94) Ditinjau dari jenisnya, mikrofon dibagi menjadi mikrofon dinamis, mikrofon karbon dan mikrofon kondensor atau condenser mikrofon. *Condenser* mikrofon menggunakan kapasitor untuk mengubah energi akustik dalam bentuk gelombang suara menjadi energi listrik. Cara kerja *condenser* mikrofon yaitu dengan menggunakan dua lempeng sebagai kapasitor yang mempunyai beda tegangan. Diafragma diletakkan di depan salah satu lempeng dan akan bergetar ketika terkena gelombang suara, mengakibatkan jarak antara dua lempeng kapasitor berubah sehingga menyebabkan nilai kapasitansinya berubah kemudian arus yang dihasilkan juga berubah.

b) Jenis dan Karakteristik mikrofon

Ditinjau dari jenisnya, mikrofon dibagi menjadi :

a. Mikrofon dinamis

Mikrofon dinamis adalah mikrofon yang menggunakan prinsip kerja induksi (mikrofon menjadi sumber listrik induksi).

Prinsip kerja : Getaran suara yang masuk menggerakkan membran; getaran membran menggerakkan *moving coil*; getaran *moving coil* yang berada dalam membrane magnet akan menyebabkan timbulnya aliran listrik. Aliran listrik yang berupa gelombang listrik seirama dengan getaran suara yang diterima.

b. Mikrofon Karbon (*Cardioid*)

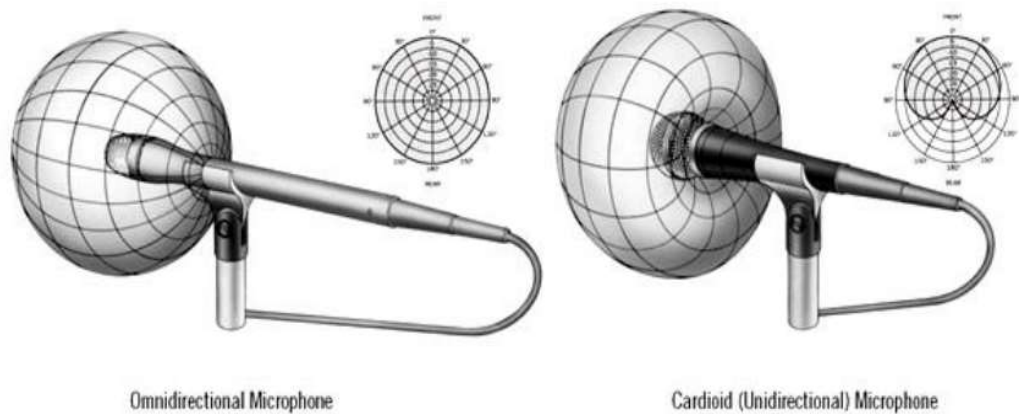
Mikrofon karbon adalah mikrofon yang menggunakan prinsip kerja tahanan (*resistansi*) yang berubah-ubah, biasanya adalah resistor arang.

Prinsip kerja : Getaran suara yang masuk menggetarkan membran. Getaran membran ini menyebabkan kerenggangan dan kerapatan arang berubah-ubah. Hal ini menyebabkan bervariasinya nilai resistansi arus listrik yang melewati kumparan primer. Arus listrik pada kumparan primer akan terinduksi pada gulungan sekunder dan besar kecilnya arus ini tergantung dari getaran membran yang disebabkan oleh getaran suara yang diterima.

c. Mikrofon Kondensor

Mikrofon kondensor adalah mikrofon yang dalam kerjanya menggunakan kondensator. Prinsip kerja : Getaran suara yang masuk menggetarkan membran. Getaran membran ini mengakibatkan gerakan maju dan mundur lempengan penghantar pada kondensator. Dengan perubahan ini, nilai kondensator pun berubah seiring dengan perubahan getaran. Perubahan kapasitansi ini menyebabkan terjadinya getaran listrik. Selanjutnya getaran listrik ini diperkuat oleh *Preamp*. Pada mikrofon jenis ini memerlukan tegangan phantom dari preamp sebesar 48 volt, tetapi untuk aplikasi sehari-hari biasanya mikrofon kondensor cukup menggunakan baterai 1,5 volt.

Setiap mikrofon mempunyai suatu karakteristik yang menggambarkan sensitivitas atau kepekaannya terhadap suara dari berbagai macam arah yang disebut karakteristik direksional. Karakteristik direksional yang umumnya digunakan adalah *bidirectional*, *omnidirectional*, dan *unidirectional*. *Bidirectional microphone* akan sensitif terhadap suara pada dua arah yang berlawanan, sedangkan *omnidirectional microphone* akan sensitif terhadap suara yang datang dari segala arah dan *unidirectional microphone* akan sensitif terhadap suara pada satu arah saja, seperti yang terlihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 2. Perbandingan antara *omnidirectional microphone* dan *unidirectional microphone* (jfkcoernia.com)

4. RTA (*Real Time Analyzer*)

RTA merupakan jenis mikrofon yang biasanya digunakan oleh audio profesional audio yang berfungsi untuk menganalisis melihat sinyal frekuensi dan spektrum secara *real-time*. Pada dasarnya RTA adalah grafik energi sinyal yang masuk ke dalam sebuah mikrofon yang dipecah dengan rentang frekuensi (Hertz) pada sumbu x dan energi (dB) pada sumbu y. Grafik diperbaharui secara terus menerus melakukan pengukuran yang berjalan sesuai dengan waktu nyata.

RTA adalah alat untuk memonitor frekuensi suara secara *real time*. RTA digunakan untuk mencari kesalahan kesalahan frekuensi dalam menset sistem audio. RTA akan memberikan informasi berupa grafik frekuensi. Dari alat ini kita bisa mengetahui frekuensi-frekuensi yang perlu di *bost* dan di *cut* (Waluyanti, 2008: 118). Audio RTA mempunyai built in mikrofon yang *flat* untuk menerima sinyal suara dari luar. Jadi, RTA bersifat *independent* tidak terhubung pada sistem audio melalui jaringan kabel. Mikrofon RTA dirancang khusus untuk memberikan reproduksi yang akurat dari karakteristik sebuah ruangan untuk diunakan dengan alat analisa spektrum audio. Mikrofon RTA presonus PRM merupakan salah satu contoh mikrofon pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Mikrofon RTA (www.presonus.com)

5. Soundcard

Soundcard adalah perangkat keras komputer pengolah data berupa audio atau suara. Secara definisi *soundcard* dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan fisiknya, yaitu *onboard soundcard* dan *external soundcard*. *Soundcard* memiliki format tata suara yang mendukung system keluaran suara, misalnya *soundcard* yang memiliki 4 chanel harus menggunakan *speaker* aktif dengan 4 *speaker* dan 1 *subwover* untuk mendapatkan hasil yang optimal. *Soundcard* berfungsi untuk mengeluarkan suara dari proses komputer. Perkembangan *soundcard* sendiri telah mengalami banyak revolusi di zaman teknologi belakangan ini, dimana banyak tersedianya *soundcard* dari berbagai merk terkenal. Contoh merk *soundcard* yaitu Creative, edirol, focusrite, behringer, steinberg dan Rocketfish. Dilihat dari cara pemasangannya, *soundcard* dibagi menjadi 3 bagian :

- a. *Onboard Soundcard*, yaitu *Soundcard* yang menempel langsung pada *motherboard* komputer.
- b. *Offboard Soundcard*, yaitu *Soundcard* yang pemasangannya di slot ISA/PCI pada *motherboard*. Rata-rata, sekarang sudah menggunakan PCI.
- c. *External Soundcard (USB Audio Interface)*, adalah *Soundcard* yang penggunaannya disambungkan ke komputer melalui *port eksternal*, seperti USB atau *FireWire*.

1) Fungsi *Soundcard*

Soundcard berfungsi mengeluarkan suara yang dihasilkan oleh proses komputer. Namun *soundcard* juga memiliki beberapa fungsi utama yaitu sebagai penerjemah sinyal analog menjadi sinyal digital saat anda melakukan proses perekaman suara, *soundcard* juga bisa menerjemahkan sinyal digital menjadi sinyal analog saat anda ingin mendengarkan sebuah file suara. *Soundcard* juga berfungsi sebagai *synthesizer* dan juga sebagai *MIDI interface*.

2) Cara kerja *soundcard*

a) Mendengarkan suara

Saat anda ingin mendengarkan sebuah file suara. File suara berupa *wavefrom.wav* atau mp3 dikirim ke *soundcard*. Lalu file tersebut diolah dan diproses oleh DSP (*Digital Signal Processing*) yang bekerja sama dengan DAC (*Digital Analog Converter*). DAC disini memiliki peran untuk mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Setelah sinyal diubah, sinyal tersebut diperkuat dan dikeluarkan melalui speaker komputer.

b) Merekam suara

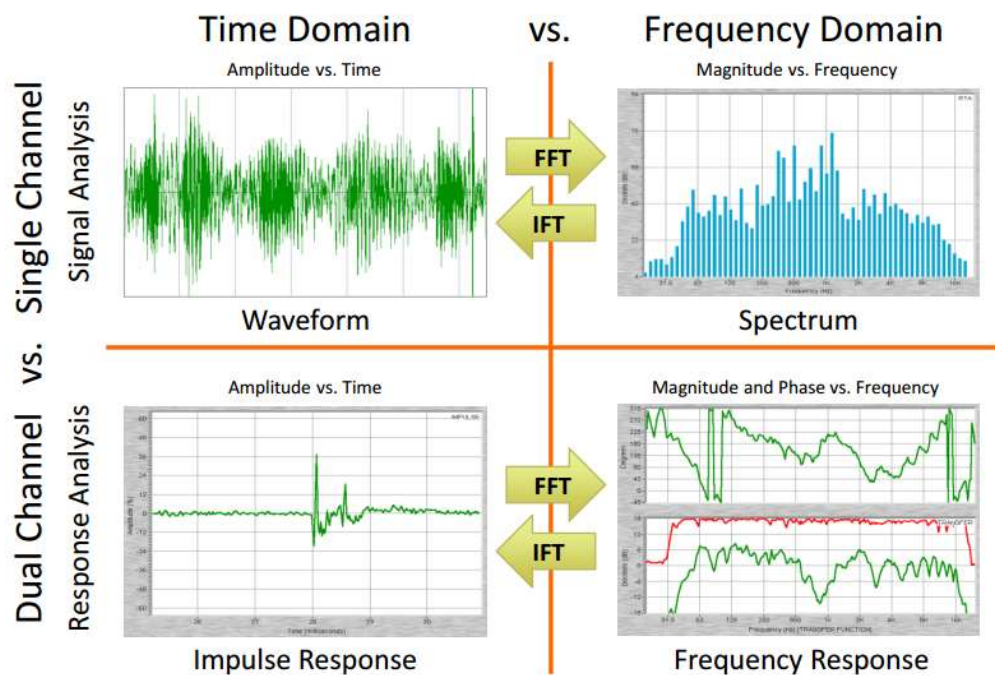
Saat anda ingin melakukan perekaman suara, proses penginputan suara dilakukan lewat sebuah mikrofon. Lalu suara diolah oleh DSP (*Digital Signal Processing*) yang kemudian akan dikirim ke ADC (*Analog Digital Converter*) yang berperan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Kemudian sinyal akan disimpan dalam format *wavefrom table (.wav)*. audio interface EDIROL U25 merupakan salah satu jenis *external soundcard (audio interface)* yang biasa digunakan untuk pengolahan data suara, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. *Audio Interface EDIROL U25 (www.roland.com)*

6. *Spectrum Analyzer*

Spectrum Analyzer adalah perangkat yang digunakan untuk menyelidiki distribusi energi sepanjang spektrum frekuensi dari sebuah sinyal listrik yang diketahui. Penganalisa spektrum merupakan alat ukur ranah frekuensi yang didalamnya terdiri perpaduan antara CRO dan pembangkit frekuensi. Pendapat lain mengatakan bahwa *Spectrum Analyzer* dapat diartikan sebagai salah satu alat pengukuran yang digunakan untuk mengukur respon *magnitude* (amplitudo) sinyal terhadap skala frekuensi.



Gambar 5. *Spektral Domain Frekuensi* (*Rational Acoustics*, 2018)

Gambar 6 menunjukkan grafik *time* dan *frequency* domain dikutip dari *Rational Acoustics*. Untuk gambar pada kanan bawah, terlihat tiga kurva. Kurva berwarna hijau atas adalah *respon fase*, kurva hijau bagian bawah adalah *Frekuensi respon* (FR) dan kurva merah merupakan koherensi. Kurva koherensi merupakan kurva yang menunjukkan seberapa valid data yang diukur. Kurva koherensi akan terlihat jatuh apabila ada suatu energi pada frekuensi tertentu tidak cukup untuk pengukuran (signal to *noise* ratio yang rendah).

Analisis spektrum biasanya dibagi dalam dua kelompok utama, yaitu: (1) Analisis spektrum audio, frekuensi dibawah 10 MHz; (2) Analisis spektrum RF (*radio frequency*). Analisis spektrum RF yang meliputi frekuensi dari 10 MHz sampai 40 GHz adalah lebih penting, sebab dia mencakup mayoritas yang paling banyak dalam pita-pita frekuensi (*bands*) pada perangkat komunikasi, instrumentasi industri, pelayaran (navigasi) dan radar.

Dalam bidang audio *Spectrum Analyzer* sangat diperlukan, yakni untuk menganalisis spektrum audio. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer* memungkinkan kita untuk mengukur dan menganalisis frekuensi sinyal audio, mempelajari waktu dan respon setiap frekuensi suara yang tangkap oleh aplikasi. Aplikasi audio *spectrum analyzer* menjadi sepenuhnya berbasis perangkat lunak, aplikasi dapat memproses data dari hampir semua sumber audio yang dapat mengalirkan data ke komputer baik dari *chip* suara maupun dengan antarmuka perekaman menggunakan *multi-channel* profesional. Aplikasi *spectrum analyzer* menyediakan analisis spektrum secara *real-time* dari sinyal audio dan analisis respon frekuensi sinyal suara.

BAHAN DAN ALAT

1. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*
2. *Speaker Monitor Recording Tech RT 5*
3. Mikrofon RTA Behringer ECM8000
4. *External Soundcard* Edirol U25

KESELAMATAN KERJA

1. Baca buku panduan sebelum menggunakan.
2. Hati – hati dalam menggunakan mikrofon RTA jangan sampai jatuh.
3. Pastikan semua kabel terpasang dengan sempurna sebelum media digunakan.

LANGKAH KERJA

1. Menyiapkan semua komponen media pembelajaran *Audio Spectrum Analyzer* yang terdiri dari, Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*, *External Soundcard (USB Audio Interface)*, *Loudspeaker*, RTA, kabel penghubung, jobsheet, dan buku panduan serta CD pelengkap media yang berisi aplikasi audio *Spectrum Analyzer*, driver *External Soundcard (USB Audio Interface)* dan master Matlab.
2. Menyiapkan komputer untuk membuka aplikasi *audio Spectrum Analyzer* yang sudah di instal Matlab (Jika belum instal Matlab terlebih dahulu), cara instal Matlab ada di buku panduan dan master ada di CD yang merupakan bagian pelengkap dari media pembelajaran ini.
3. Amati dan pelajari setiap komponen yang menjadi bagian utama dari *audio Spectrum Analyzer* seperti, aplikasi *audio Spectrum Analyzer*, *External Soundcard (USB Audio Interface)*, *Loudspeaker* dan RTA. Hasil dari pengenalan komponen dituliskan pada tabel pengamatan.

PENGAMATAN PENGENALAN KOMPONEN

1. *External Soundcard (USB Audio Interface)*



Gambar 6. *External Soundcard Edirol U25 (www.roland.com)*

Nama, Fungsi dan Spesifikasi Komponen

.....

.....

2. Mikrofon RTA (*Real Time Analyzer*)



Gambar 7. RTA Behringer ECM8000 (*www.musictribe.com*)

Nama, Fungsi dan Spesifikasi Komponen

.....

.....

3. *Loudspeaker*



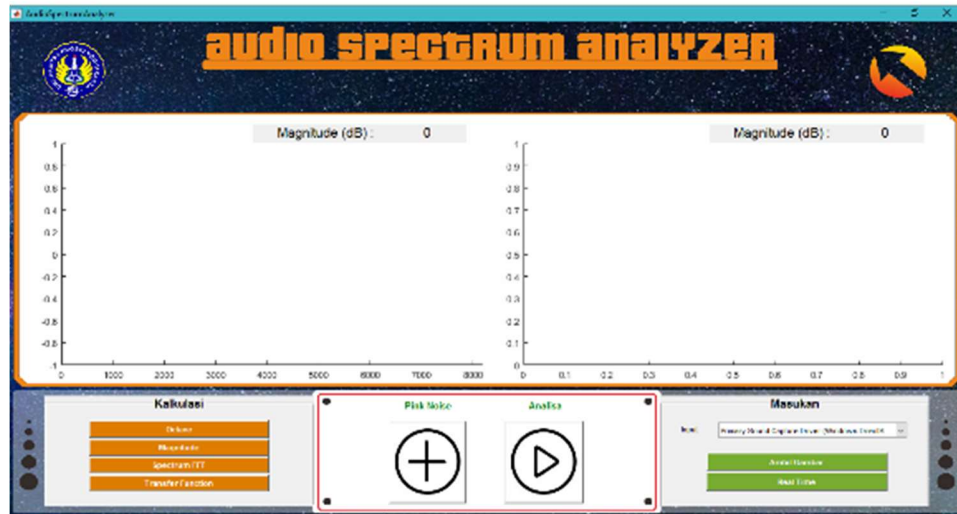
Gambar 8. *Speaker Recording Tech RT-5 (www.rocketmusik.com)*

Nama, Fungsi dan Spesifikasi Komponen

.....

.....

4. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*




Gambar 9. *Audio Spectrum Analyzer*

Nama, Fungsi dan Spesifikasi Komponen

BAHAN DISKUSI

1. Apa itu akustik ?
2. Apa perbedaan CRO dan *Spectrum Analyzer*?
3. Bagaimana Cara Kerja *Spectrum Analyzer*?
4. Apa perbedaan antara analog *Spectrum Analyzer* dan digital *Spectrum Analyzer*?

JOBSHEET 2

	FAKULTAS TEKNIK		
	UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA		
	JOBSHEET SISTEM AUDIO		
	Intalasi Pengambilan Data Teknis <i>Loudspeaker</i>		
Semester 4	<i>Loudspeaker</i>	200 Menit	
No. LST/PTE/ ...	Revisi : 00	Tgl :	

INDIKATOR CAPAIAN PEMBELAJARAN PRAKTIK

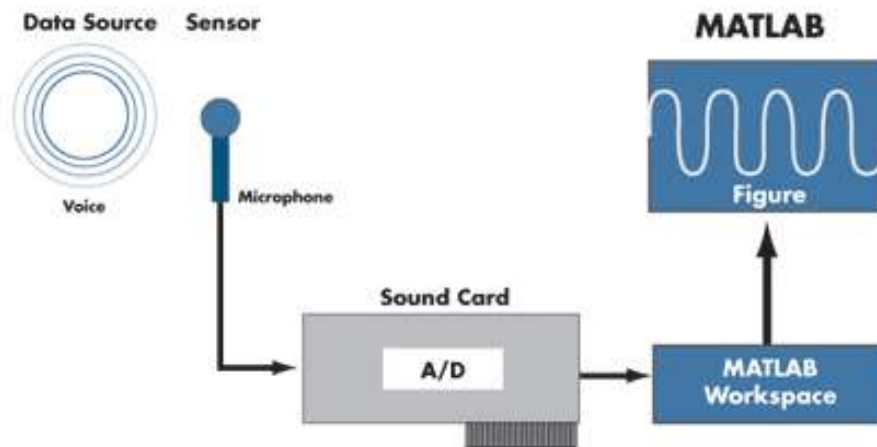
Dengan mempelajari dan praktik menggunakan Jobsheet Sistem Audio topik Praktik Instalasi Komponen Pengukuran *Loudspeaker.*, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Mahasiswa dapat mengetahui bagaimana instalasi untuk pengambilan data teknis *Loudspeaker.*
2. Mahasiswa dapat mengetahui fungsi dari perangkat keras dan perangkat lunak dari komponen untuk pengambilan data teknis *Loudspeaker.*
3. Mahasiswa dapat mengkoneksikan antara perangkat keras dan perangkat lunak pada komponen pengambilan data teknis *Loudspeaker.*

DASAR TEORI

Untuk melakukan pengukuran terhadap *Loudspeaker* ada beberapa hal yang harus dipersiapkan. Ada beberapa metode untuk melakukan pengukuran terhadap *Loudspeaker.* Metode yang akan digunakan dalam praktikum ini adalah dengan menggunakan aplikasi audio *Spectrum Analyzer* yang akan dihubungkan dengan *External Soundcard* dan mikrofon . *Audio Spectrum Analyzer* yang dikembangkan

dengan GUI Matlab digunakan untuk bisa melihat *spectrum* yang dihasilkan, *Soundcard* digunakan untuk pemroses data yang akan diolah sebelum dikalkulasi oleh aplikasi, dan mikrofon sebagai komponen yang digunakan untuk menangkap suara dari *Loudspeaker*. Dasar pengembangan ini secara umum dikutip dari *mathworks*, karena *audio spectrum analyzer* di kembangkan menggunakan Matlab. Skematik pengembangan *audio spectrum analyzer* ini dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Pengambilan data suara (www.mathworks.com)

A. Matlab (*Matrix Laboratory*)

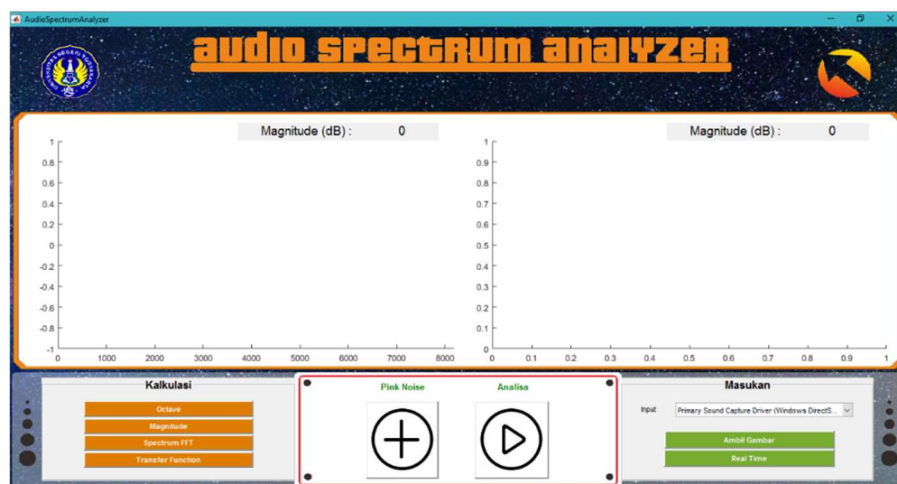
Matlab dikembangkan sebagai bahasa pemrograman sekaligus alat visualisasi yang dapat menyelesaikan banyak permasalahan yang berhubungan langsung dengan berbagai disiplin keilmuan seperti matematika, fisika, rekayasa teknik dan lain-lain. Kegunaan Matlab (*Matrix Laboratory*) Penggunaan Matlab sangat luas bahkan tidak hanya digunakan oleh kalangan perguruan tinggi, dunia perindustrian juga menggunakan Matlab sebagai perangkat pilihan untuk penelitian, pengembangan dan analisisnya.

Fasilitas Matlab (*Matrix Laboratory*) Matlab mempunyai banyak fitur-fitur yang sangat memudahkan dalam penggunaannya, dari awal keluarnya Matlab terus dikembangkan sehingga *toolboxnya* sangat membantu penggunanya dalam pemakaian. *Toolbox* ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi Matlab yang memudahkan dalam memecahkan masalah seperti pengolahan sinyal, sistem

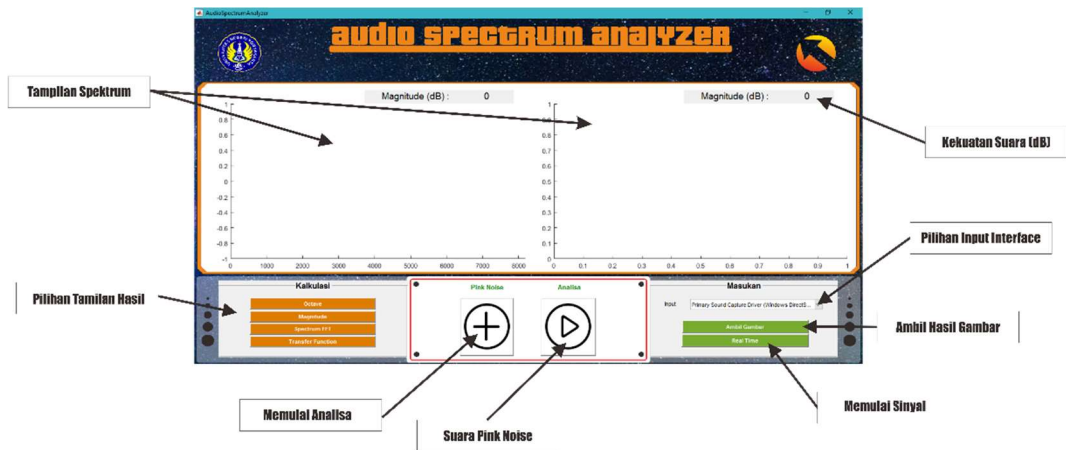
kontrol, *neural networks* dan lain-lain. Dalam memakai dan melakukan pemrograman dengan Matlab ada dua cara untuk menggunakannya, yaitu:

- a) Cara langsung di *command window*. Cara pertama ini paling sering dilakukan dan hasil dari pengetikan program bisa langsung terlihat hasilnya di *command window* itu sendiri.
- b) Menggunakan File M Cara ini memakai Matlab *editor*, biasanya cara ini dipakai oleh orang yang sudah mengenal lebih jauh tentang Matlab, kelebihan dari cara ini yaitu kemudahan dalam mengevaluasi perintah secara keseluruhan, terutama untuk program yang membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup lama serta skrip yang panjang.

Pada media ini matlab digunakan untuk membuka aplikasi yang telah dikembangkan dengan fitur GUI (*Guide User Interface*). Program aplikasi yang digunakan dapat dibuka melalui GUI matlab atau dengan (.M) file matlab. *Audio spectrum analyzer* dikembangkan dengan memanfaatkan fitur GUI pada matlab. Fungsi dari *audio spectrum analyzer* ini adalah untuk mengetahui data teknis sebuah *loudspeaker* atau untuk menganalisa sebuah *loudspeaker*. Tampilan *Audio spectrum analyzer* dan fitur yang di kembangkan dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 13.



Gambar 11. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*



Gambar 12. Komponen aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*

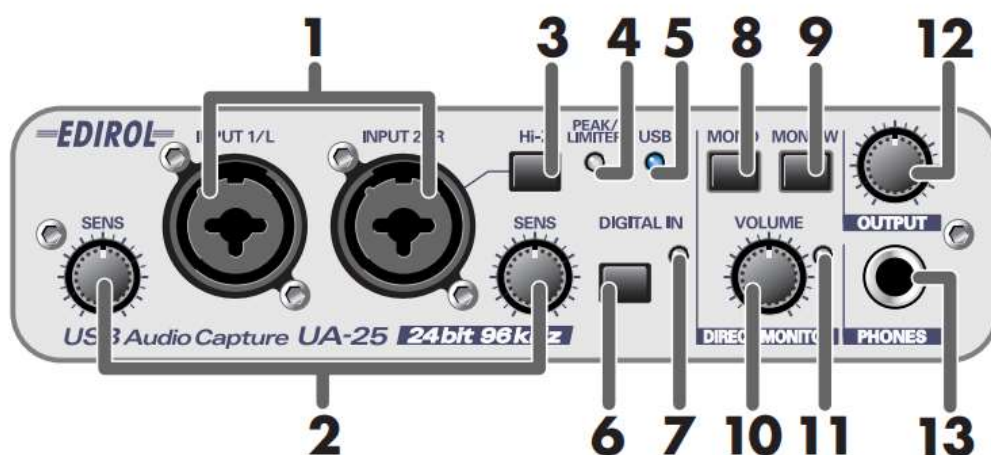
Tabel 1. Fitur *audio Spectrum Analyzer*

No	Fitur	Keterangan
1	Tampilan <i>Spectrum</i>	Kolom ini berfungsi menampilkan hasil <i>spectrum</i> suara secara <i>realtime</i> . <ul style="list-style-type: none"> • Kolom kiri untuk <i>channel 1</i> • Kolom kanan untuk <i>channel 2</i>
2	Kekuatan Suara	Menampilkan kekuatan suara (dB). *Dengan catatan harus kalibrasi
3	Pilihan Tampilan Hasil	Ada 4 hasil <i>spectrum</i> yang dapat ditampilkan sesuai dengan pilihan tombol mana yang akan di klik. <ol style="list-style-type: none"> 1. Oktav (Menampilkan <i>spectrum</i> dalam bentuk <i>octave 1/3</i>) 2. Magnitude (Menampilkan <i>spectrum</i> dalam bentuk frekuensi magnitude) 3. Spectrum FFT (Menampilkan <i>spectrum</i> domain frekuensi dengan algoritma FFT) 4. Transfer Function (Untuk melihat perbandingan antara frekuensi <i>channel 1</i> dan <i>channel 2</i> pada domain <i>spectrum FFT</i> dan <i>Phase</i>)
4	Memulai Analisa	Tombol untuk memulai menampilkan <i>spectrum</i> .
5	<i>Pink Noise</i>	Mengeluarkan suara <i>Pink Noise</i>
6	<i>Real Time</i>	Menampilkan <i>spectrum</i> suara domain waktu

7	Ambil Hasil Gambar	Melakukan <i>screenshot</i> pada hasil <i>spectrum</i> pada kolom 1 dan 2
8	Pilihan <i>Input Interface</i>	Kolom ini digunakan untuk memilih sumber suara yang akan dianalisa secara <i>Real Time</i> .

B. External Soundcard (USB Audio Interface)

External soundcard yaitu sebagai penerjemah sinyal analog menjadi sinyal digital saat anda melakukan proses pengambilan data teknis *loudspeaker*. *Soundcard* yang akan dibahas pada jobsheet ini akan difokuskan pada *soundcard* yang digunakan pada media pembelajaran yang dikembangkan. *Soundcard* ini digunakan dalam media pembelajaran ini digunakan untuk pengambilan data teknis sebuah *loudspeaker*, untuk *detail soundcard* dapat dilihat pada gambar 14 dan gambar 15.

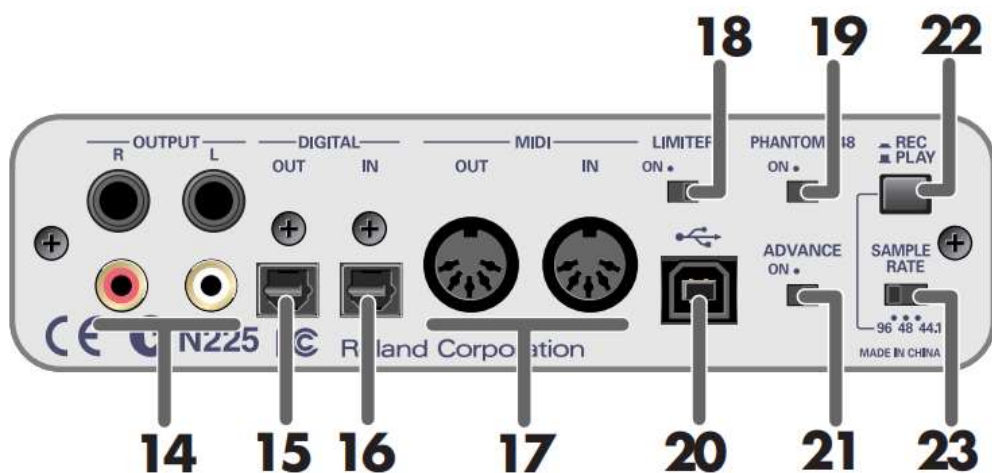


Gambar 13. Tampak depan *audio nterface* EDIROL U25 (www.roland.com)

Tabel 2. *Detail External Soundcard* EDIROL U25

1	<i>Combo input jack</i>	Mengakomodasi masukan dari XLR atau <i>Phone plugs</i> , seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.
---	-------------------------	--

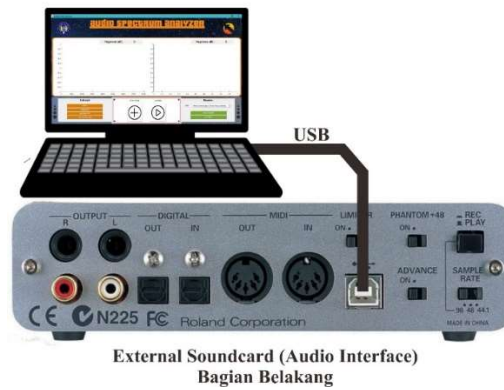
2	<i>Input sensitivity knobs</i>	Berfungsi penyesuaian level masukan dari <i>combo input jacks</i> .
3	<i>Input impedance select switch</i>	Pemilihan impedansi.
4	<i>Peak/limiter indikator</i>	Lampu indikator yang menandakan pembatas sinyal input.
5	<i>USB indikator</i>	Lampu indikator berwarna biru yang menandakan perangkat EDIROL U25 <i>audio interface</i> terkoneksi dengan perangkat komputer.
6	<i>Digital input switch</i>	Pemilihan metode untuk perekaman.
7	<i>Digital input indikator</i>	Indikator pemberitahuan perangkat terhubung dengan konektor masukan digital.
8	<i>Stereo/Mono select switch</i>	Pemilihan masukan jack input combo Mono/Stereo
9	<i>Direct monitor switch</i>	Pemilihan jenis inputan sinyal.
10	<i>Direct monitor volume</i>	Menyesuaikan volume antara jack input combo, jack headphone dan output master.
11	<i>Direct monitor indikator</i>	Lampu indikator yang menandakan hidup atau matinya monitor.
12	<i>Output volume</i>	Untuk menaikkan/menurunkan volume untuk headphone jack (13) dan master output jack (14)
13	<i>Headphone jack</i>	Keluaran untuk <i>headphone</i> (menghasilkan suara yang sama dengan master asli).



Gambar 14. Tampak belakang *audio Interface EDIROL U25* (www.roland.com)

14	<i>Master output jacks</i>	Jack keluaran audio analog, seperti jack RCA.
15	<i>Digital output convertor (optical)</i>	Konektor untuk keluaran perangkat dari CD, MD atau DAT.
16	<i>Digital input convertor (optical)</i>	Konektor untuk masukan perangkat dari CD, MD atau DAT.
17	<i>MIDI IN/OUT connectors</i>	Konektor untuk mengirimkan dan menerima pesan MIDI.
18	<i>Limiter switch</i>	Tombol pembatas perangkat dalam mengendalikan volume suara tinggi pada bagian input.
19	<i>Phantom power switch</i>	Tombol switch daya tambahan pada input XLR.
20	<i>USB connector</i>	Konektor penghubung ke komputer.
21	<i>ADVANCE (mode select) switch</i>	Tombol <i>switch</i> yang digunakan untuk pilihan melakukan editing suara.
22	<i>96 kHz REC/PLAY select switch</i>	Tombol <i>switch</i> yang digunakan ketika melakukan perakaman pada pergantian <i>simple rate</i> .
23	<i>Sample rate select swich</i>	<i>Switch</i> pilihan <i>sample rate</i> 96 kHz, 48 kHz dan 44.1 kHz.

External soundcard yang digunakan akan dikoneksikan dengan komputer. *External soundcard* dihubungkan dengan perangkat komputer menggunakan USB 2.0 seperti yang ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 15. Instalasi *Audio interface* dengan perangkat komputer (www.roland.com)

C. Mikروفon RTA (*Real-Time Analyzer*)

RTA (Real-Time Analyzer) digunakan sebagai sensor suara untuk pengambilan data teknis loudspeaker. RTA merupakan jenis mikrofon omnidirectional yang memiliki kurva respon yang flat. Pengambilan data teknis loudspeaker RTA disambungkan dengan dengan sebuah *external soundcard* (Audio Interface) menggunakan konektor XLR seperti yang dtunjukkan pada gambar 17.



Gambar 16. Instalasi RTA dengan *external soundcard* (www.roland.com)

D. Loudspeaker

loudspeaker sebagai komponen yang akan diambil data teknisnya, disambungkan dengan *external soundcard* disalah satu bagian output bisa L ataupun R. *Loudspeaker* ini bisa diganti sesuai dengan loudspekaer yang akan dianalisa sesuai kebutuhan. Dalam melakukan penyambungan media ini menggunakan kabel XLR yang akan disambungkan ke *loudspekaer*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 17. Instalasi *loudspeaker* dengan *External Soundcard* (www.roland.com)

Setelah mempelajari semua penyambungan masing-masing komponen, maka selanjutnya menggabungkan dalam suatu rangkaian keseluruhan untuk pengambilan data teknis loudspekaer. Komponen media pembelajaran yang dikembangkan antara lain, *speaker monitor recording tech RT 5*, *RTA behringer ECM800*, *external soundcard Edirol U25* dan *audio spectrum analyzer*. Untuk melakukan instalasi di sarankan untuk melakukan pemasangan kabel sebelum menghidupkan daya apapun, instalasi dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 18. Instalasi Pengambilan data teknis *loudspeaker*

BAHAN DAN ALAT

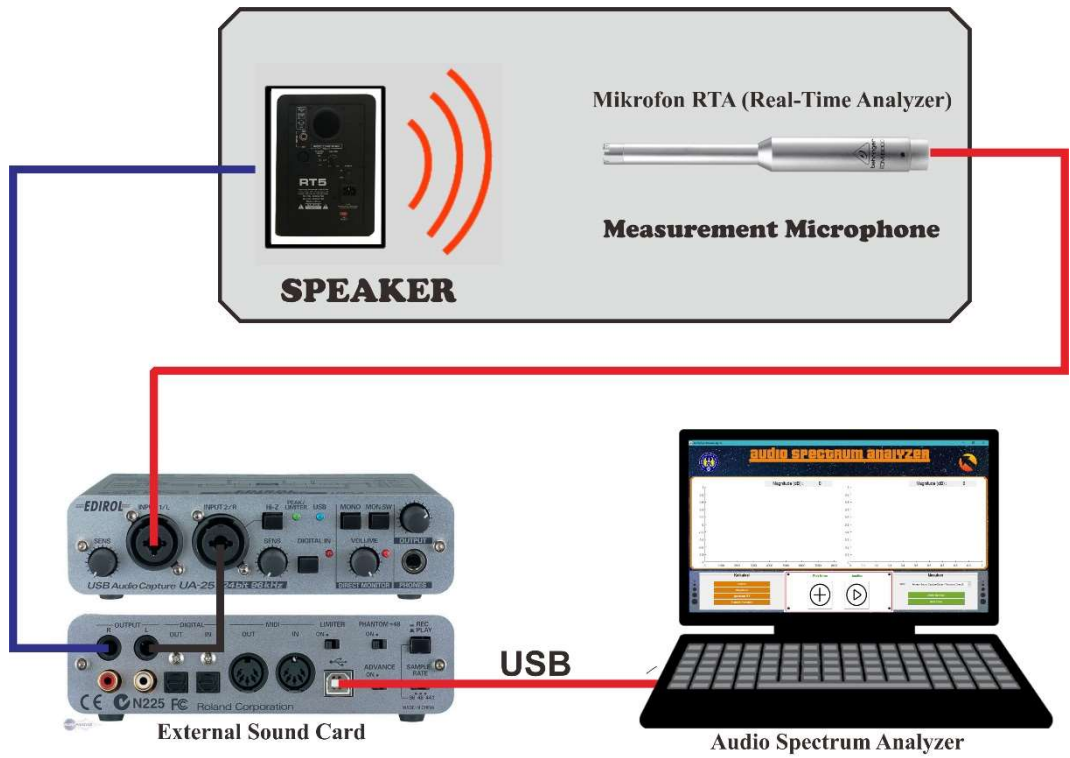
1. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*
2. *Speaker Monitor Recording Tech RT 5*
3. Mikrofon RTA *Behringer ECM8000*
4. *External Soundcard Edirol U25*

KESELAMATAN KERJA

1. Baca buku panduan sebelum menggunakan jobsheet ini.
2. Hati – hati dalam menggunakan mikrofon RTA jangan sampai jatuh.
3. Pastikan semua kabel terpasang dengan sempurna sebelum media digunakan.

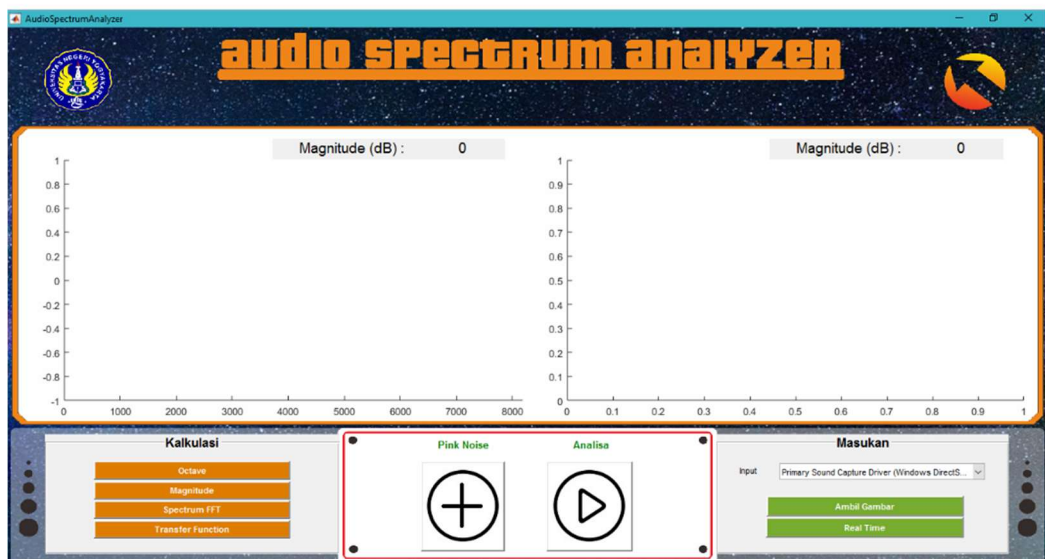
LANGKAH KERJA

1. Menyiapkan semua komponen media pembelajaran *Audio Spectrum Analyzer* yang terdiri dari, Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*, *External Soundcard (USB Audio Interface)*, *Loudspeaker*, RTA, kabel penghubung, jobsheet, dan buku panduan serta CD pelengkap media yang berisi aplikasi audio *Spectrum Analyzer*, driver *External Soundcard (USB Audio Interface)* dan master Matlab.
2. Menyiapkan komputer untuk membuka aplikasi audio *Spectrum Analyzer* yang sudah di instal Matlab (Jika belum instal Matlab terlebih dahulu), cara instal Matlab ada di buku panduan dan master ada di CD yang merupakan kelengkapan dari media pembelajaran ini.
3. Menginstal driver *External Soundcard (USB Audio Interface)* (Cara Instal ada di buku panduan).
4. Setelah aplikasi matlab dan soundcard telah terinstal, sebelum membuka aplikasi matlab lakukan langkah instalasi sesuai dengan gambar 21 berikut ini:



Gambar 19. Instalasi Pengambilan Data Teknis *Loudspeaker*

- Setelah melakukan penyambungan sesuai dengan gambar, buka aplikasi matlab untuk menjalankan *Audio Spectrum Analyer*.



4. Setelah aplikasi telah terbuka, coba melakukan *test case* untuk memastikan aplikasi bisa berjalan sesuai dengan fungsinya. Anda dapat memasukkan hasil tes tersebut pada tabel pengamatan.

Tabel Pengamatan

Test Case	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian	Simpulan
Aplikasi Matlab	Membuka Aplikasi	Dapat menjalankan tanpa <i>error</i>	.....	.....
GUI audio <i>Spectrum Analyzer</i>	Membuka Aplikasi melalui Matlab	Dapat membuka file dan menjalankan file	.....	.....
Tombol <i>Power Speaker</i>	Tombol power ditekan	<i>Speaker</i> posisi standby dan siap digunakan	.....	.....
<i>Power Soundcard</i>	Menyambungkan USB kekomputer	<i>Soundcard</i> akan menghidupkan LED	.....	.....
Tombol Analisis	Tombol Memulai analisis	Muncul spektrum	.....	.....
Tombol <i>Pink Noise</i>	Tombol Suara <i>Pink Noise</i>	Aplikasi akan mengeluarkan melalui <i>speaker</i> suara sesuai dengan masukan	.....	.....
Tombol <i>Octave</i>	Tombol Mengubah <i>Spectrum</i> menjadi <i>Octave</i>	Muncul spektrum <i>octave</i> domain frekuensi pada <i>axis 1</i> dan <i>axis 2</i>	.....	.....
Tombol <i>Spectrum FFT</i>	Tombol Mengubah <i>Spektrum</i> menjadi FFT	Muncul spektrum FFT domain frekuensi <i>axis 1</i> dan <i>axis 2</i>	.....	.....
Tombol <i>Magnitude</i>	Tombol Mengubah <i>Spektrum</i> menjadi <i>Magnitude</i>	Muncul spektrum <i>Magnitude axis 1</i> dan <i>axis 2</i>	.....	.....
Tombol <i>Transfer Function</i>	Tombol Mengubah perbandingan <i>Spektrum FFT</i>	Muncul spektrum <i>transfer function axis 1</i> dan <i>axis 2</i>	.....	.....
Tombol <i>Real Time</i>	Tombol Mengubah <i>Spektrum Time – Domain</i>	Muncul spektrum suara pada domain waktu	.....	.....
Input	Mengubah jenis masukan interface	Muncul pilihan masukan sesuai yang disambungkan	.....	.....
Tampilan <i>Spektrum</i>	Menampilkan <i>Spektrum</i>	Muncul spektrum sesuai pilihan tombol spektrum	.....	.....


*Untuk kolom hasil pegujian dapat disisi seuai harapan/ tidak sesuai harapan

*Untuk kolom simpulan dapat disisi valid/tidak valid

BAHAN DISKUSI

Apa fungsi RTA sebagai alat bantu yang digunakan untuk menganalisa ludspeaker?

JOBSHEET 3

	FAKULTAS TEKNIK		
	UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA		
	JOBSHEET SISTEM AUDIO		
	Pengamatan <i>loudspeaker</i> dengan <i>Spectrum Analyzer</i>		
Semester 4	<i>Loudspeaker</i>	200 Menit	
No. LST/PTE/ ...	Revisi : 00	Tgl :	

INDIKATOR CAPAIAN PEMBELAJARAN PRAKTIK

Dengan mempelajari dan praktik menggunakan Jobsheet Sistem Audio topik Praktik Pengukuran *Loudspeaker*, diharapkan mahasiswa mampu:

1. Mahasiswa dapat menggunakan aplikasi audio *Spectrum Analyzer*
2. Mahasiswa dapat mengetahui parameter penilaian dari sebuah *Loudspeaker* apakah baik dan tidak dengan menggunakan aplikasi audio *Spectrum Analyzer*.
3. Mahasiswa dapat membaca hasil dari pengukuran dilihat dari aplikasi Audio *Spectrum Analyzer*.

DASAR TEORI

A. Beberapa Cara Pengambilan Data *Loudspeaker*

Ada banyak cara untuk melakukan pengukuran terhadap sebuah *Loudspeaker*, contohnya saja RTA (*Real Time Analyzer*) , FFT (*Fast Fourier Transform*), dan TDS. Pada pembelajaran media pembelajaran yang dikembangkan untuk jobsheet ini akan dibahas 2 metode saja, yaitu RTA dan FFT.

1. RTA (*Real Time Analyzer*)

RTA adalah sebuah piranti yang mengukur besarnya energi suara yang dihasilkan sebuah *Loudspeaker*. RTA hanya menangkap tekanan suara pada frekuensi – frekuensi tertentu dan hanya terbatas pada magnitudanya saja pada titik lokasi mikrofon (Kristianto, Hadi Sumoro:2012).

Pada umumnya, sebuah *Loudspeaker* diberikan sinyal masukan *Pink Noise*. Sinyal yang ditangkap pada oleh mikrofon akan diproses oleh beberapa *bandpass* filter dengan *bandwidth persentase per octave* yang konstan, dimana setiap filter di *tune* ke frekuensi tengah yang berbeda – beda yang kemudian output setiap filter ditampilkan. Hasil yang ditampilkan menunjukkan respon amplituda *Loudspeaker* tersebut dalam batasan teknik pengukuran dan kondisi tes. Ketika menganalisa dengan menggunakan sinyal *pink noise*, hasil keluaran dari analisa sebuah *Loudspeaker* akan bersifat fluktuasi. Data yang ditampilkan pada umumnya pada rentang waktu tertentu untuk menghasilkan sebuah grafik yang stabil dan mudah dilihat.

Beberapa hal yang perlu diketahui mengenai pengambilan data teknis menggunakan metode RTA (Kristianto, Hadi Sumoro:2012):

- a) Hasil yang ditangkap oleh sebuah mikrofon adalah hasil apa adanya. Pengukuran ini tidak dapat membedakan suara langsung dari *Loudspeaker* yang akan diukur dengan suara hasil pantulan suara disuatu ruangan.
- b) Distorsi adalah bagian dari keluaran *Loudspeaker* yang akan dianalisa. RTA membawa sejumlah distorsi *Loudspeaker* pada amplitudo *Loudspeaker* tersebut.
- c) Pengukuran menggunakan metode RTA biasanya tidak dapat mengkompensasi *time of flight* atau *propagation delay* suara.
- d) *Background noise* adalah bagian dari sinyal yang terekam oleh mic. Karena itu sangat disarankan untuk melakukan pengukuran menggunakan metode RTA dengan kondisi yang tenang untuk mendapatkan *signal to noise* (SNR) yang tinggi (diatas 10dB, sangat disarankan 25dB).

- e) Kalibrasi mikrofon dengan sebuah *microphone calibrator* sangat disarankan sebelum melakukan pengukuran sehingga data dB SPL dapat akurat. Mari kita lihat contoh pengukuran RTA pada gambar 21.



Gambar 20. RTA 2 WAY Loudspeaker 1/3 Octave ([www. proav.roland.com](http://www.proav.roland.com))

Menurut (Kristianto,Hadi Sumoro:2012) dalam bukunya yang membahas tentang pengambilan data teknis *Loudspeaker* menggunakan RTA mempunyai kelebihan yaitu:

- Sumber suara sinyal (*Pink Noise*) tidak perlu berasal dari RTA *analyzernya*. *Signal pink noise* dapat dimunculkan dari berbagai media, contohnya file *pink noise*, CD yang berisi file *Pink noise* atau dapat juga menggunakan *Pink Noise* dari sistem yang tersedia di beberapa aplikasi.
- Murah, dan
- Pengaturan serta persiapannya mudah.

Pink Noise merupakan sumber suara sinyal yang banyak digunakan untuk menganalisa *Loudspeaker*. RTA adalah sebuah piranti yang digunakan untuk menganalisa dari energi suara yang tertangkap oleh mikrofon yang digunakan. Jika menganalisa sebuah *Loudspeaker* dengan menggunakan sumber suara musik, yang kita dapatkan adalah energi suara yang terkandung dalam suara musik tersebut

Beberapa jenis *noise* yang biasa digunakan dalam sistem pengolahan sinyal suara diantaranya adalah *white noise*, dan *pink noise* (Kristianto,Hadi Sumoro:2012):.

- a) *White noise* merupakan jenis *noise* dengan kerapatan spektrum yang merata pada seluruh komponen frekuensinya. Dikatakan *white noise* karena berpedoman pada kenyataan bahwa sebenarnya cahaya putih merupakan kumpulan dari berbagai warna yang dapat diuraikan secara merata melalui suatu spektrum.
- b) *Pink noise* merupakan jenis *noise* dengan spektrum yang berbanding terbalik pada komponen frekuensinya. *Pink noise* dirancang khusus untuk menghasilkan amplitudo konstan di semua band *octave*. Pada skala linier itu berkurang pada amplitudo dan meningkatnya frekuensi hanya dalam jumlah yang tepat yaitu - 3 DB / *octave*) untuk mengkompensasi lebar meningkat dari filter *octave*.

Dalam hal pengambilan data Loudspeaker, *pink noise* lebih mempunyai banyak peranan penting dan *white noise* hampir tidak pernah digunakan lagi dalam pengukuran RTA (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

b) *Octave*

Istilah *octave* muncul dalam peristilahan tangga nada musik. Jarak dari satu nada ke nada yang sama (misal DO ke DO berikutnya) disebut satu *octave*. Satuan *octave* dapat didefinisikan yaitu perbandingan antara dua buah frekuensi. Satu *octave* adalah perbandingan dua nilai frekuensi sebesar 2:1. Sebagai contoh, frekuensi 20Hz dengan frekuensi 40Hz dikatakan berjaran 1 *octave*. Demikian pula, frekuensi 800Hz dikatakan 1 *octave* diatas frekuensi 400Hz atau frekuensi 220Hz berada 1 *octave* dibawah frekuensi 440Hz.

Analisis *octave* sepertiga, sepersepuluh kadang-kadang diperlukan untuk mendapatkan frekuensi yang cukup resolusi, maka kebutuhan untuk *bandwidth* lebih halus dari satu *octave*. Pilihan *bandwidth* saringan tergantung pada sifat dari kebisingan diukur. Dekat jarak murni nada tidak akan ditemukan oleh analisis *bandwidth* yang lebar.

2. Karakteristik RTA (*Real Time Analyzer*) dalam pengambilan data teknis *Loudspeaker*

Fungsi RTA adalah untuk mencari kesalahan *frequency* pada saat *setting system* audio. Dalam instalasi audio profesional, RTA merupakan alat tambahan yang dapat membantu untuk mengoreksi kesalahan *frequency* yang mungkin saja muncul akibat kesalahan instalasi atau mungkin karena kualitas perangkat yang kurang bagus. RTA hanya dapat mengetahui kesalahan yang terjadi dan tidak dapat mengatasinya. RTA merupakan alat yang *independen*, artinya dalam pemasangannya tidak terhubung dengan jaringan *audio sound system* menggunakan jaringan kabel. Suara yang tertangkap oleh microphone RTA akan diolah atau di pilah-pilah sesuai setingan parameter pada RTA.

Seperti masalah pada akustik ruangan, serta kualitas perangkat yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap hasil suara yang dihasilkan. Mengingat RTA adalah alat yang difungsikan sebagai pendeteksi dan tidak bisa mengatasi masalah yang terjadi. Sebenarnya kualitas suara yang dihasilkan oleh sistem tidak hanya berasal dari alat yang digunakan, tetapi juga dari faktor *Sound Engineernya*. Peran utama RTA hanya membantu *Sound Engineer* dalam mencari kesalahan pada *frequency* tertentu, sehingga dia dapat mengetahui harus berbuat apa untuk mengatasi masalah yang muncul.

Dalam perkembangannya RTA dikembangkan dalam bentuk *software*, sehingga penggunaannya dapat langsung disimulasikan dalam komputer. Tetapi dalam implementasinya, penggunaan dengan *software* tidak begitu efektif bila dalam instalasinya masih terdapat masalah dengan akustik ruangan. Untuk menggunakan RTA dengan maksimal, ada hal – hal yang harus di minimailkan kesalahan – kesalahan dalam pengambilan data teknis *Loudspeaker*.

- a) Penempatan *speaker* yang kurang tepat, sehingga menimbulkan gema. Hal ini dapat mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan system, misalnya adanya *summation* (penambahan kekerasan/daya *frequency*), dan *canceling* (*frequency* yang saling menghilangkan).

- b) Penggunaan mikrofon dan Penempatannya, kualitas mikrofon juga berpengaruh pada *frequency* yang dihasilkan, masalahnya adalah pada respon *frequency* nya yang berbeda-beda pada setiap mikrofon. Selain itu penempatan yang kurang tepat bisa menyebabkan dengung.
- c) Pemasangan Kabel kurang Baik, pemasangan yang kurang rapi selain menyulitkan *sound engineer* juga dapat mengakibatkan respon suara kurang baik.
- d) Penggunaan banyak *speaker* (*Multispeker*), Jika dalam *sound system* menggunakan lebih dari 2 *speaker* dan jaraknya berbeda satu sama lainnya dari pusat *sound control*, tentu saja waktu tempuh suara juga akan berbeda (meskipun hanya beberapa *milisecond*). Hal ini juga berpengaruh dengan suara yang dihasilkan, untuk *Sound Engineer* harus men-*Delay* nya agar waktu tempuhnya sama. Serta masalah lain yang menyangkut kualitas suara yang dihasilkan.

Dari beberapa teori diatas maka dapat disimpulkan bahwa RTA (*Real Time Analyzer*) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui apakah kualitas audio dari *sound system* sudah sesuai digunakan atau belum. Alat ini sangat membantu para *sound engineer* untuk menemukan kesalahan serta permasalahan dengan akustik ruangan

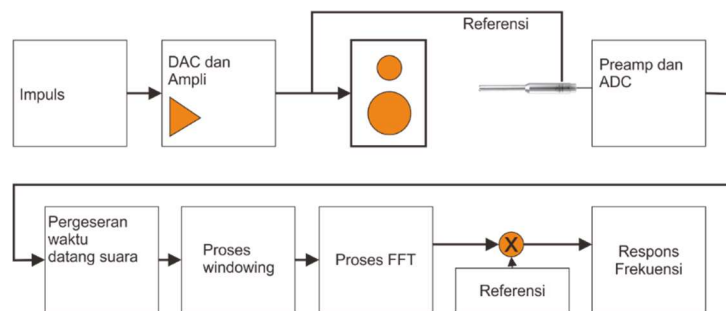
3. *Fast Fourier Transform* (FFT)

FFT (*Fast fourier transform*) adalah suatu metoda untuk mentransformasikan sinyal suara menjadi sinyal frekuensi. Pada tahun 1960, J. W. Cooley dan J. W. Tukey, berhasil merumuskan suatu teknik perhitungan algoritma *Fourier Transform* yang efisien. Teknik perhitungan algoritma ini dikenal dengan sebutan *Fast Fourier Transform* atau lebih populer dengan istilah FFT yang diperkenalkan oleh J.S.Bendat dan A.G.Piersol pada 1986. *Fast Fourier Transform* dalam bahasa indonesia adalah *Transformasi Fourier Cepat* adalah sumber dari suatu algoritma untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (transformasi fourier diskri tatau DFT) dengan cepat, efisien dan inversnya.

Fast Fourier Transform (FFT) diterapkan dalam beragam bidang dari pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan *diferensial parsial* menjadi algoritma-algoritma untuk pengandaan bilangan integer dalam jumlah banyak. Ada pun kelas dasar dari algoritma FFT yaitu *decimation in time* (DIT) dan *decimation in frequency* (DIF). Garis besar dari kata *Fast* diartikan karena formulasi FFT jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode perhitungan algoritma *Fourier Transform* sebelumnya.

Pembahasan FFT dapat dilihat dari beberapa sudut pandang, namun dalam jobsheet ini kita lebih akan menjelaskan implementasi FFT yang digunakan untuk menganalisa suara. FFT adalah proses matematika untuk mengubah data pada domain waktu ke domain frekuensi, atau sebaliknya. Dalam menganalisa *loudspeaker* ada beberapa metode FFT digunakan untuk pengambilan dan pemrosesan data yaitu diantara sebagai berikut:

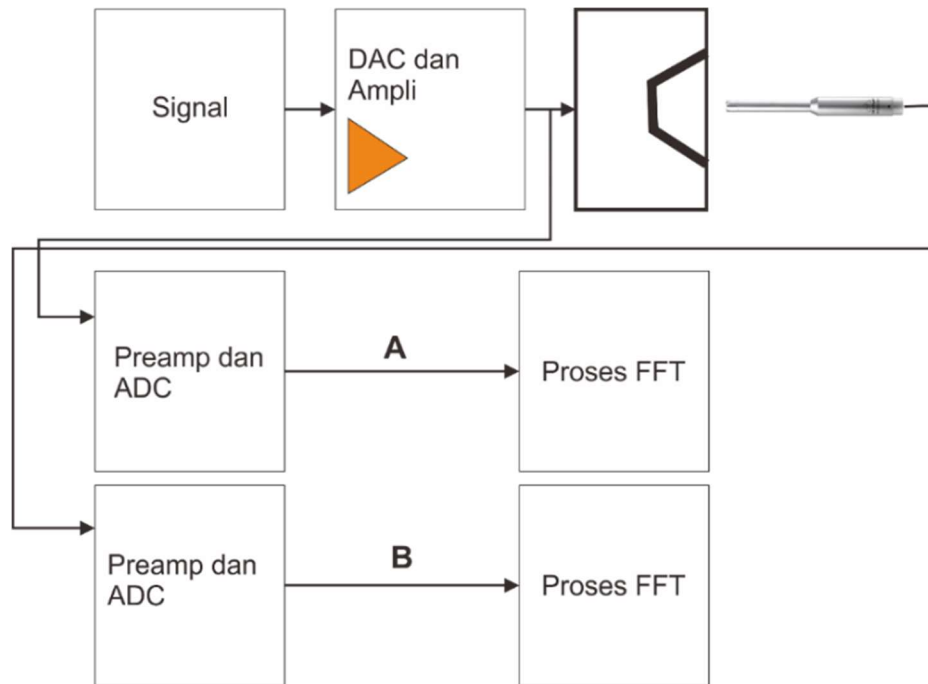
a) Proses FFT dengan *impuls*



Gambar 21. Proses FFT dengan *Impuls* (Kristianto,Hadi Sumoro:2012)

Proses pengambilan data FR pada gambar menggunakan suah impuls yang sempurna. Impuls akan diteruskan sekebuah amplifier dan audio converter/DAC lalu diteruskan kesuah *Loudspeaker*. Mikrofon digunakan untuk merekam data suara yang dihasilkan oleh sebuah *Loudspeaker*. Setelah itu proses akan dilakukan dengan FFT yang akan menghasilkan sebuah respon frekuensi. Referensi digunakan untuk menetralkan DAC dan ADC yang digunakan dan juga mengkompresi mic, sehingga hasil yang digunakan tidak dipengaruhi oleh komponen/alat yang digunakan dalam menganalisa sebuah loudspaker.

b) DUAL – FFT



Gambar 22. Prose Dual FFT (Kristianto,Hadi Sumoro:2012)

Proses DUAL-FFT artinya ada dua FFT yang bekerja secara bersamaan. Ada proses pengiriman sinyal dari DAC juga dikirm ke ADC (sinyal referensi biasanya diambil setelah DAC, sebelum ampli). Proses dual FFT pada implementasinya menggunakan sebuah *external soundcard* yang mempunyai 2 input dan 2 output. Proses ini akan menganalisa sinyal mikrofon dan juga sinyal loopback DAC ke ADC (sinyal referensi). Proses menangkap sinyal suara dalam domain waktu (*time domain*) yang nantinya bisa diproses kedalam frekuensi domain ini mempunyai banyak manfaat. Kurva yang menunjukkan dimensi waktu merupakan grafik dua dimensi dengan *axis-X* yang menunjukkan waktu dan *axis- Y* yang menunjukkan amplitudo (*magnitude*). Sedangkan kurva yang menunjukkan dimensi frekuensi merupakan grafik dua dimensi dengan *axis-X* yang merupakan frekuensi dan *axis-Y* yang menunjukkan amplitudo (*magnitude*).

B. Parameter *Loudspeaker*

Hal penting yang perlu diketahui dari sebuah *Loudspeaker* adalah bagaimana sebuah *Loudspeaker* mereproduksi suara atau musik agar dapat dinikmati dengan jangkauan yang lebih luas. Salah satu indikator sebuah *Loudspeaker* dapat dikatakan baik adalah mampu menghasilkan suara dengan kualitas yang sama dengan aslinya (tidak cacat atau gangguan). *Loudspeaker* yang baik harusnya mampu menjangkau nada serendah mungkin mendekati 20Hz, dan nada setinggi mungkin mendekati 20.000Hz.

Dr. A. N. Thiele & Dr. Ricard Small (beliau merupakan tokoh yang berjasa dalam bidang *Loudspeaker*), dalam pengujian dan pengukuran yang dilakukan, mereka membuat tetapan – tetapan yang terdapat pada setiap *speaker* dengan istilah T/S Parameter, sehingga selanjutnya dapat dilakukan perhitungan untuk memperkirakan rancangan yang mendekati ketepatan.

C. Parameter Pengukuran Data Teknis *Loudspeaker*

Loudspeaker merupakan *transducer*, yang berarti suatu alat yang mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. *Loudspeaker* mengubah suatu energi listrik menjadi sebuah energi mekanik (gerak) menjadi energi akustik (Kristianto,Hadi Sumoro:2012). Menurut Kristianto ada delapan parameter penting dalam pengambilan data sebuah *Loudspeaker*.

1) *Frequency Response* (FR)

Frequency response (FR) atau respon frekuensi dari sebuah *Loudspeaker* adalah pengukuran *output*/keluaran sebuah sistem terhadap respon suatu sinyal masuk/*input*. FR biasanya direpresentasikan atas fungsi frekuensi terhadap amplituda. Contohnya suatu sinyal masuk yang sama besarnya (misalkan 1V) pada semua frekuensi, hasil keluaran *Loudspeaker* belum tentu sama pada satu amplituda saja. Jika keluaran respon frekuensi *Loudspeaker* tersebut mendekati angka yang sama pada semua frekuensi operasionalnya (misalnya tidak lebih dari +/- 2dB), *Loudspeaker* tersebut dapat dikatakan *flat*/datar.

Pengambilan data respon frekuensi biasanya dilakukan *on-axis*/lurus dengan garis referensi tengahnya, garis tengah yang disebut dengan *acoustic center* atau titik asal suara dari “dalam” *Loudspeaker*. Pengambilan data ini tidak selalu dilakukan pada jarak tertentu dengan ukuran amplituda yang absolut. Sering kali pengambilan data dari jarak yang jauh (*far-field*) dan hasilnya dihitung ke jarak yang lebih dekat. Hal ini sering dilakukan untuk *line Array*. Respon frekuensi adalah sebuah kurva yang menunjukkan amplituda relatif pada frekuensi tertentu (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

Respons frekuensi merupakan salah satu parameter yang terpenting dalam menganalisa sebuah *Loudspeaker*. Kurva FR yang disebut flat/datar menunjukkan bahwa dengan voltase yang sama disetiap frekuensi, *Loudspeaker* mempunyai output dengan tekanan suara yang sama pada setiap frekuensi. Namun kurva ini harusnya diinterpretasikan secara relatif, bukan secara fakta pasti (bahwa *Loudspeaker* yang mempunyai frekuensi flat bisa dikatakan baik). Sebuah loudspeaker dengan kurva flat dapat digunakan sebagai referensi pada ruangan studio musik contohnya. Namun, kurva flat belum tentu nyaman didengar. *Loudspeaker* yang digunakan untuk *live sound* dan *home theater* contohnya, karena telinga kita kurang begitu sensitif dengan frekuensi rendah, pengaturan pada model seperti ini digunakan frekuensi rendah (dibawah 100Hz) yang rata-rata (nominal) 6dB atau lebih dibandingkan rata-rata (nominal) frekuensi menengah dan tinggi (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

Kurva FR yang flat/datar bukanlah yang terpenting dalam sebuah *Loudspeaker*. Fungsi dari sebuah *Loudspeaker* seharusnya ditunjang dengan kurva FR yang mendukung pada frekuensi-frekuensi tertentu. Perlu diketahui bahwa fungsi dimana *Loudspeaker* akan digunakan harus tercapai dengan baik untuk dapat sukses dipasaran, dan salah satunya adalah dengan bentuk kurva yang spesifik.

2) Phase Response dan Group Delay

Phase Response sebuah *Loudspeaker* adalah relasi fase dari sinyal masuk gelombang sinus (secara elektrik) terhadap sinyal keluaran gelombang sinus tersebut (secara akustik, yang ditangkap oleh *microphone*). Biasanya *phase*

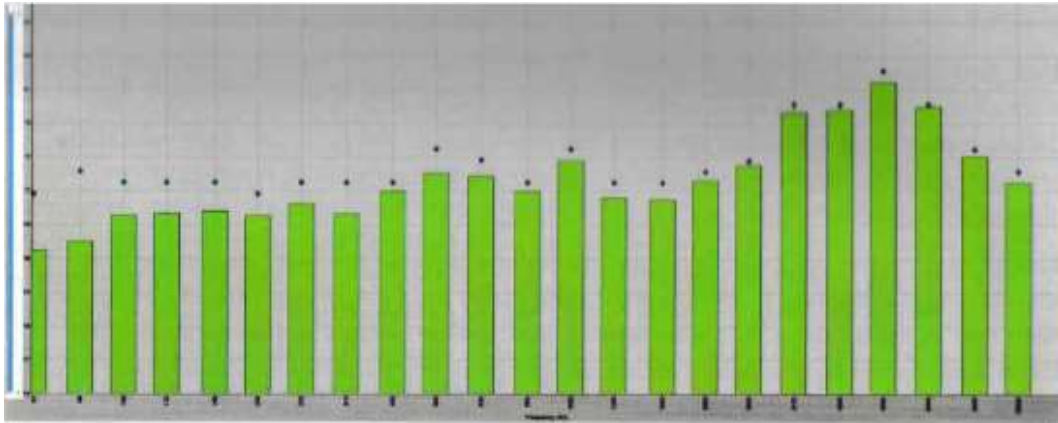
response tidak dituliskan dalam spesifikasi pada sebuah *Loudspeaker*. sedangkan Grup Delay adalah turunan dari *Phase Response* terhadap frekuensi ($-d\phi/d\omega$) (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

3) *Sensitivity*

Sensitifitas dari sebuah *Loudspeaker* adalah rasio besar output terhadap besar input, pada rentang frekuensi tertentu. Sensitifitas biasanya diukur pada sinyal 1Watt masuk pada *Loudspeaker* tersebut dan diukur pada jarak 1 meter atau dihitung ke jarak 1 meter. Karena satuan Watt sangat bergantung pada impedansi *Loudspeaker*, ada beberapa yang mengukur sensitifitas berdasarkan voltase yang di beri kepada *loudspeaker* tersebut. Kedua cara ini adalah sama. Poin dari sensitifitas adalah menunjukkan dengan sinyal masuk sekian (*Watt* atau *Volt*), tekanan suara yang dihasilkan pada 1 meter (atau di hitung ke 1 meter) adalah sekian dB SPL. Pengukuran besarnya sinyal yang diterima *Loudspeaker* dari kabrasi *microphone* yang benar adalah mutlak untuk mengetahui sensitifitas *loudspeaker* (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

Sebuah *Loudspeaker* bisa dikatakan “efisien” dalam menghasilkan sebuah output, salah satu faktor penentunya adalah nilai angka dari sensitifitas *Loudspeaker* itu sendiri. Efisien disini dapat diartikan seberapa banyak keluaran *acoustic power* sebuah *Loudspeaker* dari *electrical power* yang diambil. Teknik pengambilan data sensitifitas hampir sama dengan teknik pengambilan data pada sebuah respons frekuensi.

Contoh nyata dikutip dari buku kristianto, hadi sumoro (122:2012), *Loudspeaker* yang terukur dengan menggunakan RTA 1/3 *octave*.



Gambar 23. Pengukuran RTA 1.3 Octave (Kristianto,Hadi Sumoro:2012)

Rentang frekuensi pada pengukuran ini 40Hz sampai dengan 20.000Hz, *Loudspeaker* mempunyai impedansi nominal 4ohm, total daya 200W (*pink noise* yang digunakan mempunyai *crest factor* sebesar 12dB) dan *microphone* berjarak 2m dari depan *Loudspeaker*. Misalnya kita ingin membuat *Loudspeaker* ini spesifikasinya rentang optimal 80Hz sampai dengan 10.000Hz.

80	67,5343
100	69,8677
125	70,0431
160	70,2536
200	69,8501
250	70,8852
315	70,008
400	72,008
500	73,6045
630	73,3589
800	72,0256
1000	74,7448
1250	71,429
1600	71,3063
2000	73,008
2500	74,3413

3150	79,1133
4000	79,2887
5000	81,7799
6300	79,5343
8000	75,1308
10000	72,815
Total	88,49692

Tekanan suara total adalah 88,5dB pada jarak 2m dan sinyal 4V. Perhatikan *Loudspeaker* ini mempunyai impedansi nominal 4ohm. Dengan demikian, kita harus menghitung daya pada *Loudspeaker* ini dengan input 4V sebagai berikut (hukum OHM) $4 \times 4 / 4 = 4W$.

Dengan perhitungan, kita mendapatkan:

$$2m \text{ ke } 1m = 20 \text{ Log } \frac{2}{1} = 6dB$$

$$4W \text{ ke } 1W = 10 \text{ Log } \frac{4}{1} = 6dB$$

Sensitifitas *Loudspeaker* didapatkan dengan perhitungan data diatas: $88,5 - 6 + 6 = 88,5 \text{ dB} = 89 \text{ dB}$.

Menurut Kristianto dalam bukunya mengatakan secara umum, *pink noise* dan RTA (*1/3 Octave*) yang digunakan untuk mengukur sensitifitas. Untuk mengukur sensitifitas bisa dilakukan secara langsung dengan RTA atau juga bisa menggunakan *sweep-sine* (TDS atau dual-FFT). Untuk metode dengan dual-FFT bisa dilakukan dengan melakukan dua poin penting berikut ini (Kristianto,Hadi Sumoro:2012):

- a) Jika *Loudspeaker* diukur *acoustic center*nya menggunakan dual-FFT atau TDS, biasanya akan menghasilkan titi dibelakang permukaan/depan *Loudspeaker*. Untuk mengukur sensitifitas biasanya diukur dengan jarak 1m dari permukaan depan *Loudspeaker* tersebut (jadi tidak selalu dari *acoustic center*-nya).

- b) Pengukuran dengan menggunakan *pink noise* dan RTA akan menyebabkan jumlah tekanan suara rata – rata lebih tinggi. Itu disebabkan oleh distorsi, *Loudspeaker* yang digunakan oleh metode dual-FFT yang mempunyai hasil pengukuran yang terisolasi dari output distorsinya. Penggunaan RTA dan *pink noise* tekanan suara yang diukur adalah hasil apa adanya, termasuk distorsi yang terjadi.

4) *Harmonic Distortion*

Harmonic Distortion adalah peristiwa adanya komponen sinyal output pada $2f_0$, $3f_0$, dan seterusnya, terhadap respons satu frekuensi yang diterima atau bisa dikatakan frekuensi – frekuensi lain yang biasanya kelipatan dari frekuensi dasar (f_0) tersebut.

Maksud dari pengukuran ini adalah jika sebuah *Loudspeaker* diberi sinyal *sine wave* pada 800Hz. Kelauran yang diterima *microphone* belum tentu 800Hz saja, akan tetapi juga kelipatan bulat dari 800Hz, seperti 1600Hz (harmoni kedua), 2400Hz (Harmoni ketiga) dan lain sebagainya. Distorsi mempunyai sifat *non-linier*, karena tidak diharapkan pada outputnya (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

5) *Impedance*

Impedansi adalah sesuatu yang kompleks dan terdiri dari resistansi (*resistance*) dan *reactance*. *Resistance* dan *reactance* bersama – sama menentukan *magnitude* dan *fase* dari impedansi. Resistansi adalah bagian nyata (*real part*) dari impedansi dan *reactance* adalah bagian tidak nyata (*imaginary part*) dari impedansi. Berbicara pada pengambilan data teknis *loudspeaker*, Impedansi *Loudspeaker* adalah resistansi/hambatan arus AC yang berbeda pada setiap frekuensi. Kurva data ini sangat penting untuk seorang *system engineer* untuk tidak memasang *amplifier* yang tidak mampu memberi arus yang cukup untuk sebuah *Loudspeaker* (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

6) *Power Rating*

Power Rating adalah satu angka panduan untuk memilih *amplifier* yang cukup untuk menjalankan sebuah *Loudspeaker*. Cukup disini artinya sebuah *amplifier* yang mempunyai output yang pas (artinya tidak terlalu besar dan tidak

terlalu kecil) sehingga membuat kerusakan pada mekanik sebuah *Loudspeaker*. Memberikan *power rating* pada suatu *Loudspeaker* bukan hal yang dapat dilakukan dengan mudah, sering kali dijumpai ada beberapa angka *power rating* untuk suatu *Loudspeaker* atau komponen *Loudspeaker* (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

7) Polar Response

Polar Response suatu loudspeaker menunjukkan penyebaran suara dari suatu komponen/sistem *Loudspeaker* pada frekuensi tertentu. Polar Response ini menunjukkan kondisi *Loudspeaker* yang menyebarkan suara secara *directional* (kearah tertentu). Suatu loudspeaker dikatakan menyebarkan suara secara omnidirectional (suara pada frekuensi tertentu atau rentang frekuensi tertentu) tersebar kesegala arah. Hal yang biasanya terjadi adalah sebuah *Loudspeaker* memproduksi suara dengan panjang gelombang yang jauh lebih besar dari besar fisik komponen *Loudspeaker* tersebut (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

8) Impulse Response (IR)

Impulse Response (IR) atau respons impulsif mendeskripsikan reaksi suatu sistem sebagai fungsi waktu dimana output didapatkan dari sinyal masuk/input yang bersifat impulsif. Suara impuls adalah suatu suara yang sangat terjadi dengan sangat singkat. Dengan persamaan Periode x Frekuensi = 1, semakin suatu impuls, maka semakin tinggi/banyak kandungan frekuensinya (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

D. Hal Penunjang Dalam Melakukan Pengambilan Data Teknis *Loudspeaker*

Pada saat melakukan pengambilan data loudspeaker, ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Kondisi lingkungan sangat berpengaruh dalam pengambilan data. Menurut Kristianto Hadi Sumoro dalam bukunya menjelaskan pentingnya menyadari tentang kondisi lingkungan sekitar dalam pengambilan data, hal – hal tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1) Pantulan dari benda disekitar *microphone* atau *Loudspeaker*

Dalam pengambilan data pada sebuah *Loudspeaker*, kondisi benda yang ada disekitar daerah pengukuran akan memberi pengaruh. Contoh sederhana adalah stand *microphone*. Penggunaan *microphone omni directional*, kondisi ini akan memberi masalah pada data frekuensi tinggi, jika *stand* tergolong besar/panjang dan menempati banyak daerah pengukuran. Untuk pengukuran frekuensi tinggi (diatas 500Hz) dimana panjang gelombangnya kurang dari 60cm, sangat perlu diperhatikan bahwa daerah pengukuran harus bebas dari benda-benda lainnya. Percuma jika suatu ruangan pengukuran yang cukup besar banyak berserakan barang/benda. *Windowing* tidak akan selalu membantu karena pantulan seperti ini datangnya kurang dari 5 milidetik setelah suara langsung (Kristianto,Hadi Sumoro:2012).

2) Impedansi kabel yang panjang

Kabel yang panjang dan penggunaan konektor yang terlalu banyak akan memberi tambahan resistansi atau reaksi, yang pada akhirnya dapat membuat pengukuran data impedansi yang kurang akurat dan maksimal.

3) Amplituda pantualan untuk mendapatkan target +/- 1DB

Amplituda pantulan berkaitan dengan pantulan, contohnya efek sisir pada *Frekuensi Response* (FR) yang terjadi (*comb filtering*) karena amplitudo pantulan yang tergolong tinggi.

4) Penggunaan bahan penyerap suara

Penggunaan bahan penyerap suara sangat berpengaruh pada pengambilan data teknis sebuah *Loudspeaker*. Sebagai contoh sebuah *Loudspeaker* yang diukur *free-space* dan sebuah *microphone* yang diletakkan disebuah stand. Penggunaan penyerap suara (*glaswol/rockwool*) juga dibutuhkan dan sangat penting dalam sesuai dengan kondisi benda dan tmpat dimana pengambilan data dilakukan.

5) Pengukuran *woofer Free – Air*

Pengukuran *free-air* sebuah woofer adalah kondisi dimana *woofer* tidak ditaruh di *box/* kotak apapun. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui frekuensi

resonansi dan FR sebelum dimasukkan ke sebuah kotak menjadi satu sistem yang lain (*woofer*, udara dan kotak tersebut akan membentuk satu kesatuan sistem sangat berbeda dengan *woofer* itu sendiri).

BAHAN DAN ALAT

1. Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*
2. *Speaker Monitor Recording Tech RT 5*
3. Mikrofon RTA Behringer ECM8000
4. *External Soundcard* Edirol U25

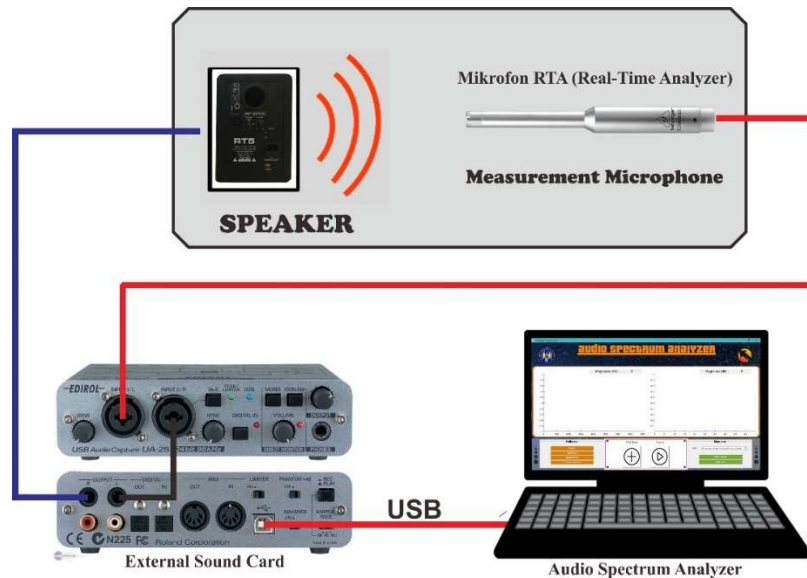
KESELAMATAN KERJA

1. Baca buku panduan sebelum menggunakan.
2. Hati – hati dalam menggunakan mikrofon RTA jangan sampai jatuh.
3. Pastikan semua kabel terpasang dengan sempurna sebelum media digunakan.

LANGKAH KERJA

1. Menyiapkan semua komponen media pembelajaran *Audio Spectrum Analyzer* yang terdiri dari, Aplikasi *Audio Spectrum Analyzer*, *External Soundcard (USB Audio Interface)*, *Loudspeaker*, RTA, kabel penghubung, jobsheet, dan buku panduan serta CD pelengkap media yang berisi aplikasi audio *Spectrum Analyzer*, driver *Soundcard* dan master Matlab.
2. Menyiapkan komputer untuk membuka aplikasi audio *Spectrum Analyzer* yang sudah di instal Matlab (Jika belum instal Matlab terlebih dahulu), cara instal Matlab ada di buku panduan dan master ada di CD yang merupakan bagian pelengkap dari media pembelajaran ini.
3. Menginstal driver *External Soundcard (USB Audio Interface)*
*Cara Instal ada di buku panduan.
4. Pastikan komputer sudah terinstal driver *Soundcard* yang digunakan dalam media pembelajaran ini. Master driver *Soundcard* sudah disertakan dalam media ini (cara instal terdapat dalam buku panduan).

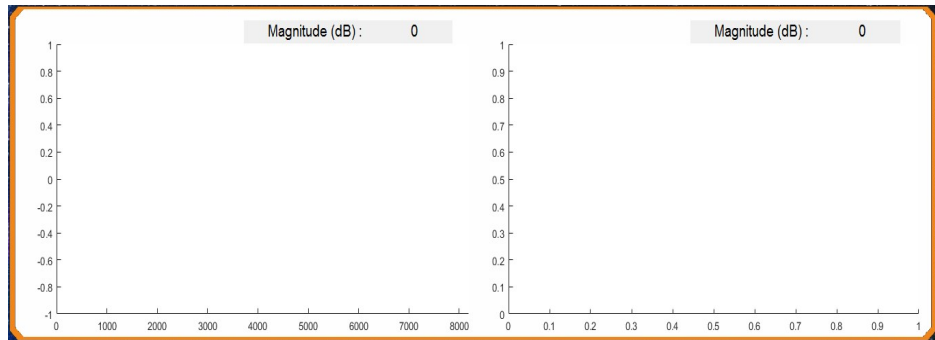
- Setelah aplikasi Matlab terinstal dan driver *Soundcard* sudah terhubung selanjutnya lakukan instalasi seperti gambar. Pastikan USB dari *External Soundcard (USB Audio Interface)* terhubung dahulu kekomputer sebelum membuka aplikasi Matlab. langkah instalasi sama dengan langkah pada job sebelumnya. Disini kita akan melanjutkan untuk pengambilan data *Loudspeaker*.



Gambar 24. Instalasi Pengambilan Data Teknis *Loudspeaker*

- Untuk menganalisa *Loudspeaker*, Sebelumnya cek terlebih dahulu pada kolom masukan sumber suara yang akan diolah.
- Untuk awal memulai apakah komponen mic RTA dapat berfungsi bisa mengklik pada button “Real Time” (akan menampilkan *spectrum* domain waktu).
- Pada kolom tampilan *spectrum* FFT dan *Octave* , disini kita bisa melihat karakter suara dari sebuah *Loudspeaker*. Ambil hasil dari spektrum FFT dan *Octave* setelah itu dianalisa dari hasil grafik yang didapatkan. Hasil bisa di tuliskan pada tabel pengamatan dibawah ini.

Hasil Spektrum



Analisis :

Dari grafik *Octave* apa yang dapat disimpulkan:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

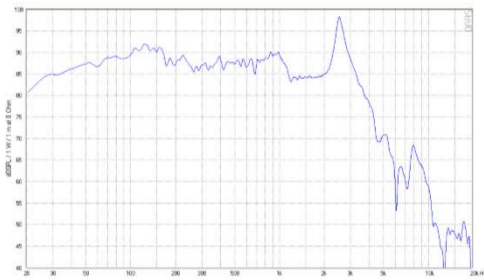
BAHAN DISKUSI

1. Bagaimana *loudspeaker* dikatakan baik jika dilihat dari grafik *octave*?
2. Apakah anda ketahui dengan *crossover* pasif dan aktif?
3. Bagaimana pengaruh *crossover* pada data teknis sebuah *Loudspeaker*?
Bagaimana dengan data *Loudspeaker* jika *crossover* diganti, apakah data berubah! Tuliskan alasannya!

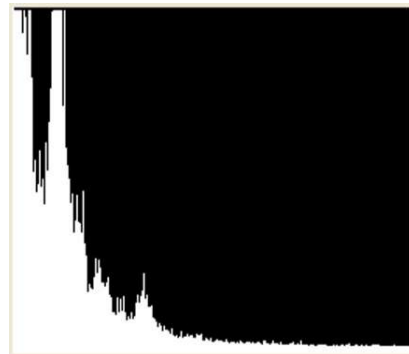
TUGAS

1. Analisa gambar respon frekuensi dari sebuah *Loudspeaker* dibawah ini, spektrum ini adalah hasil dari pengambilan data teknis menggunakan aplikasi profesional audio *Spectrum Analyzer* yang umumnya digunakan didunia kerja dan Aplikasi audio *Spectrum Analyzer* yang dikembangkan untuk media pembelajaran ini. Adakah perbedaan? Jika ada tunjukkan dimana letak perbedaan tersebut!

Spektrum Subwoofer *Speaker*



Gambar 25. *Spectrum* Hasil Audio Pro (Wilyanto, Leo S: 2012)



Gambar 26. *Spectrum* Hasil FFT

Analisis :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

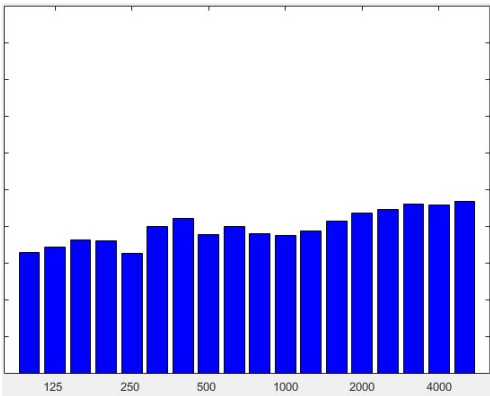
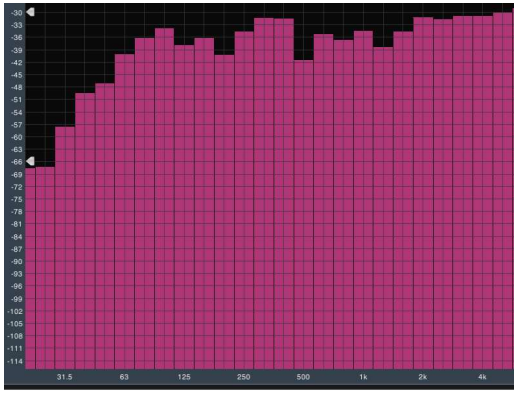
.....

.....

.....

2. Analisa gambar respon frekuensi dari metode RTA menggunakan *Pink Noise (OCTAVE 1/3)* dari sebuah loudspeaker dibawah ini, spektrum pada gambar 30 dan gambar 31 adalah hasil dari pengambilan data teknis menggunakan aplikasi profesional audio *Spectrum Analyzer* yang umumnya digunakan didunia kerja dan Aplikasi audio *Spectrum Analyzer* yang dikembangkan untuk media pembelajaran ini! Adakah perbedaan? Jika ada tunjukkan dimana letak perbedaan tersebut!

Spektrum RTA pada *speaker* monitor Behringer RT-5

Spektrum Hasil <i>SmartLive 7</i>	Spektrum Hasil Pengembangan
 <p data-bbox="379 1227 740 1321">Gambar 30. <i>Octave 1/3</i> (<i>Audio Spectrum Analyzer</i>)</p>	 <p data-bbox="916 1227 1267 1312">Gambar 31. <i>Octave 1/3</i> (<i>Rational Acoustics, 2018</i>)</p>
<p data-bbox="316 1357 432 1388">Analisis:</p> <p data-bbox="316 1447 1345 1899">..... </p>	

KUIS			
	FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA		
	KUIS		
	Semester 4	<i>Loudspeaker</i>	200 Menit
	No. LST/PTE/ ...	Revisi : 00	Tgl :
Kuis 1			

Kuis ini merupakan pertanyaan yang umum mengenai komponen-komponen dari pengambilan data teknis *Loudspeaker*. Kuis ini diadopsi dari Hadi Sumoro Kristianto yang merupakan seorang ahli praktisi dan teknisi dalam bidang audio profesional. Kuis ini diharapkan dapat menambah dan melatih wawasan saudara mengenai audio profesional yang secara langsung diambil dari permasalahan dan persoalan dilapangan/dunia kerja bidang audio.

Selamat mengerjakan!

1. Kabel *low impedance*, *balanced* dan *shielded* tidak melindungi sinyal dari?
 - a. *Transmission Loss*
 - b. Kelembaban
 - c. Gelombang Radio
 - d. *Noise*

2. *Microphone* yang tepat untuk *live recording*?
 - a. *Ribbon, PZM*
 - b. *Dynamic, Condenser*
 - c. *PZM, Condenser*
 - d. *Condenser, Ribbon*
 - e. *Dynamic, Ribbon*

3. Kita tidak bisa memperkeras?
 - a. *Feedback*
 - b. Sesuatu yang sudah sangat keras
 - c. Alat musik yang sedang diam
 - d. Vokal
 - e. Alat musik akustik

4. *Microphone* yang besar lebih bagus kualitasnya karena menangkap lebih banyak suara?
 - a. Iya, apalagi kalau tube
 - b. Mungkin tidak, mikrofon besar punya resiko jatuh yang tinggi
 - c. Tergantung kebutuhan, mikrofon besar bagus juga untuk *vocalist* dan promosi produk
 - d. Iya karena fisiknya yang besar

5. Yang seharusnya dilakukan saat *mixing* dalam sebuah pertunjukan?
 - a. *Delay full range speaker* karena bass merambat lebih lama
 - b. Berjalan kedepan untuk membandingkan dengan monitor
 - c. Sedia *beer* disamping *condole*
 - d. *Mute microphone* yang tidak terpakai

6. Lebih baik?
 - a. Pakai *sound* dengan teknologi baru
 - b. Pakai *system* dengan sebaran *converage* rata dan konsisten
 - c. Cari tempat untuk *mixing* lebih baik dibanding penonton
 - d. Pakai *system* yang punya *power* kuat untuk SPL yang tinggi

7. Pada *setting Loudspeaker management/DSP*, konfigurasi mana yang harus dibalik salah satu *polaritynya* supaya hasilnya flat?
- Tidak tahu
 - Butherworth 24*
 - Butherworth 12*
 - Butherworth 18*
 - Linkwitz-Riley 24*
 - Linkwitz-Riley 36*
8. *Submixing* sangat efektif untuk digunakan?
- Mixing* dari ruangan sebelah
 - Mixing* untuk monitor
 - Menggabung beberapa *channel* untuk di *route* ke *submaster*
 - Mixing* di 2 *console*
9. Penggunaan gobo plastik transparan tergolong efektif untuk?
- Mengeraskan suara drum yang tertangkap mikrofon
 - Mengisolasi suara drum terutama hi-hat, snare
 - Mengisolasi suara drum terutama *click, floor*
 - Mengisolasi pemain *upright bass* (*bass* “betot”)
10. Jika suara “pop” dari seseorang (p,b,d) sangat kuat, apa yang dapat kita lakukan.?
- Menyuruh penyanyi untuk lebih dekat ke mikrofon
 - High pass filter* dengan frekuensi yang lebih rendah
 - Menyuruh penyanyi untuk bernyanyi dengan lebih hati-hati
 - Low pass filter* dengan frekuensi yang lebih tinggi
 - Mengurangi *bass/low* frekuensi pada *channel* mikrofon itu
 - Menaruh *foam/windscreen* di mikrofon nya

Kuis 2

1. Sinyal *aux* yang *Pre-Fader*
 - a. *Independen* dari *gain control*
 - b. Tergantung *channel fader*
 - c. *Independen* dari *channel fader*
 - d. Tergantung *aux* yang lain

2. Tiap kali mendobel banyaknya mikrofon yang “on”/open, kita kehilangan beberapa db untuk stabil dari *feedback*?
 - a. 9dB
 - b. 3dB
 - c. 6dB
 - d. 1dB

3. Maximum db(SPL) untuk keamanan pendengaran kita sebaiknya?
 - a. 110dB(C) *slow response*
 - b. 100dB(A) *fast response*
 - c. 120dB(A) *slow response*
 - d. 90dB(A) *slow response*

4. 0db pada master *fader* sebaiknya dipatok/ditentukan menggunakan?
 - a. Saat telinga kita merasa sakit sekitar 115dB(A) *slow response* dengan *pink noise*
 - b. 90dB(A), *sine wave* 1 kHz
 - c. 85dB(A), *pink noise*
 - d. 85dB(A), *sine wave* 100Hz

5. Clip' (*limit*) atau *clipping* berarti?
 - a. Sinyal harus re-route ke chanel lain
 - b. Kurangnya *desibel*
 - c. Sinyal input terlalu kuat
 - d. dB SPL terlalu kencang

6. *White noise*?
 - a. Sebuah sinyal dengan energi yang sama untuk tiap octave band-nya
 - b. RTA akan menunjukkan suatu garis yang flat datar
 - c. Kalau didengar, *high* frekuensi nya mendominasi

7. *Speaker sealed box fullrange* punya *response* 100Hz-20kHz (+/- 3dB). *Subwoofernya* punya *response* 30Hz-1KHz (+/- 3dB). Ketika kita pasang HPF pada *fullrange* dengan *butherworth* 12 di frekuensi 100Hz. LPF pada *subwoofer* di 100Hz supaya hasilnya mendekati flat sebaiknya?
 - a. LR 24 polaritas dibalik
 - b. *Butherworth* 36 polaritas dibalik
 - c. *Butherworth* 24 polaritas tidak dibalik
 - d. *Butherworth* 12 polaritas dibalik
 - e. *Butherworth* 12 polaritas tidak dibalik

8. Menaikkan output *amplifier* dari 6V ke 12V?
 - a. *Impedance* turun 3dB
 - b. dB SPL naik 6dB
 - c. power naik 3dB
 - d. power naik 2 kali lipat

9. 1000W *amplifier* dapat mencapai suara maksimum sebesar 110dB dengan *Loudspeaker* tertentu diukur pada jarak tertentu. Untuk menaikkan menjadi 120dB, beberapa watt *amplifier* yang di butuhkan?
- 10.000Watt
 - 8000Watt
 - 20.000Watt
 - 5000Watt
 - 15.000Watt
 - 2000Watt
10. Kabel untuk *Loudspeaker*?
- Makin kecil kabel, arus makin tinggi dan voltase makin rendah
 - Dengan *transformer*, kabel dapat memakai gauge yang lebih besar
 - Jarak dekat disarankan memakai kabel dengan gauge besar
 - Jarak jauh memerlukan kabel dengan gauge kecil

Kuis 3

1. Crossover aktif ...
 - a. Bekerja dengan *line level*, butuh amplifikasinya lagi
 - b. Tidak se-fleksibel *crossover* pasif
 - c. Dapat meng-handle/menerima *Loudspeaker level*
 - d. Diletakkan setelah *amplifier*
2. Hasil *line array* tidak optimal dengan?
 - a. *Piezo-element*
 - b. 6 *inch*
 - c. *Subwoofer*
 - d. 4 *inch*
 - e. 8 *inch*
 - f. *Horn*
3. *Horn vs Cone* ...
 - a. Q (*directivity*) lebih baik pada *cone*
 - b. Distorsi lebih tinggi pada *horn*
 - c. Output rata-rata lebih tinggi pada *cone*
4. Posisi pengambilan data *frequency response* yang memungkinkan dan benar didalam ruangan yang besar tanpa banyak penyerap suara ...
 - a. *Speaker* 1m diatas lantai, mic 2m diatas lantai, sekitar 1-2m jauhnya
 - b. *Speaker* 1m diatas lantai, mic 1m diatas lantai, sekitar 5-10cm jauhnya untuk frekuensi rendah
 - c. *Speaker* 1m diatas lantai, mic diatas lantai, sekitar 2-5m jauhnya
 - d. *Speaker* diatas lantai, mic diatas lantai, sekitar 2-5m jauhnya
 - e. *Speaker* 2m diatas lantai, mic 2m diatas lantai, sekitar 3m jauhnya
 - f. *Speaker* 1m diatas lantai, mic 1m diatas lantai, sekitar 3m jauhnya

5. Sensitifitas *Loudspeaker* ...
 - a. Tidak penting untuk studio *Loudspeaker*
 - b. Pengambilan data dapat menggunakan jarak dan *voltase* berapa saja
 - c. Harus diukur dengan 2.83Vrms
 - d. Harus diukur dengan jarak *Loudspeaker* ke mic sejauh 1m

6. Pernyataan yang benar?
 - a. Baterai 9V dapat digunakan untuk mengetahui terbalik atau tidaknya polaritas suatu driver
 - b. *Frequency response* masing-masing box tidak akan berubah jika dijejer/di-cluster rapat
 - c. Pemasangan *flush mount* tidak akan mengubah *frequency response*
 - d. Output *subwoofer* bertambah jika digantung (seperti didalam cluster)

7. Frekuensi *Crossover* ...
 - a. Frekuensi crossover makin rendah jika menambah jumlah *subwoofer*
 - b. LPF pada frekuensi break up mode terjadi
 - c. HPF 90Hz pada 3" cone driver
 - d. HPF pada 1kHz untuk 5" cone driver
 - e. HPF 300Hz pada 1" compression driver

8. *Horn* tidak ...
 - a. ...menaikkan efisiensi driver
 - b. ...menambah sensitifitas
 - c. ...mengurangi distorsi
 - d. ...dapat mengontrol dispersi suara

9. Power 100Wrms dipasang pada *fullrange* yang terdiri dari 15inch (*max* 100Wrms) dan *horn* 2inch (*max* 150Wrms). Ketika terjadi *clipping*, maka yang kemungkinan jebol terlebih dahulu adalah?
- Crossover*
 - Horn*
 - Power Amp*
 - 15 inch
10. Makin besar *cone* sebuah *Loudspeaker*?
- Respon frekuensi makin tinggi jika massa *cone* nya makin ringan
 - Respon frekuensi makin rendah jika *surround/spider* makin keras/kaku
 - Breakup mode makin rendah
 - Respon frekuensi makin tinggi

Kuis 4

1. Salah satu contoh *line array* ...
 - a. *Cluster* dengan 4 *Loudspeaker* yang di-splay 15derajat antar *box*
 - b. 5 sub berjejeran dibawah panggung
 - c. 3 sub yang masing – masing dijejer dengan jarak 5m antar *box*
 - d. 10 *horns* yang di-*stack* dan di *steer* 30 derajat kebawah

2. Penambahan jumlah *Loudspeaker* ...
 - a. Output *complex wave* bertambah
 - b. Mengurangi *comb filtering*
 - c. %AL cons tidak terpengaruh
 - d. Menambah tinggi D/R ratio

3. Untuk menembak jarak jauh, dibutuhkan *Loudspeaker* dengan ...
 - a. DSP
 - b. *Horn* yang besar
 - c. Sensitifitas besar dan dispersi yang sempit
 - d. *Line array*

4. *Subwoofer* harus di *delay* jika/karena ...
 - a. Diletakkan dibawah tumpukan *fullrange*
 - b. Datangnya suara sub lebih lambat dibandingkan *fullrange* – nya
 - c. Letaknya lebih dekat ke penonton dibanding *fullrange*
 - d. Kecepatan rambat frekuesnsi rendah lebih lambat

5. Tiga *Loudspeakers* di buat *cluster* dengan ...
 - a. Pakai *Horn*
 - b. Cari *box* dengan *dispersi/converage* yang lebih besar
 - c. EQ
 - d. Delay yang berada di tengah

6. Untuk “jangkauan” jarak dekat antara penonton yang banyak & tersebar dengan sedikitnya *Loudspeaker* ...
 - a. *Loudspeaker* dengan *dispersi vertikal* yang lebih luas daripada horizontalnya
 - b. *Line array* dengan *horn* yang di *steer*/arahkan dengan DSP
 - c. *Horn* yang kecil, *dispersi* yang luas
 - d. *Horn* yang besar, *dispersi* sempit sampai dengan 250Hz

7. Meningkatkan STI pada ruangan dengan T60 tinggi dan *background noise* tinggi yang efektif ...
 - a. *Line array* dengan DSP dan sensitifitas yang tinggi
 - b. Menyuruh pengguna mikrofon untuk berbicara lebih dekat ke mikrofon tersebut
 - c. Menambah banyaknya *Loudspeaker* dengan jarak yang lebih dekat ke pendengar
 - d. Menambah banyak *Loudspeakers*

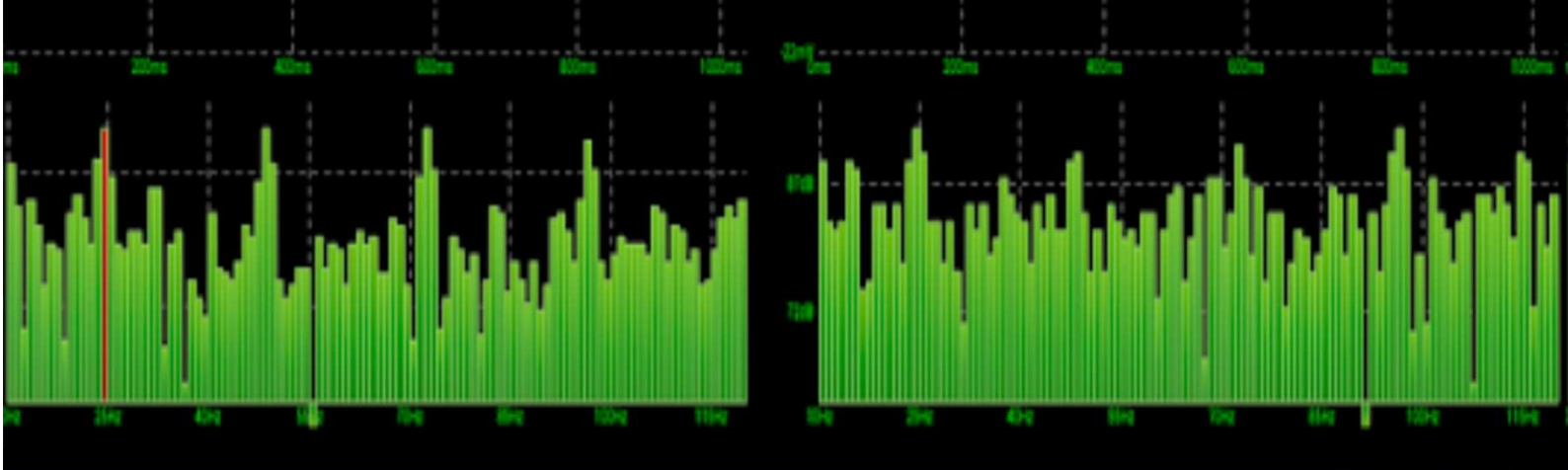
8. *Octave* band frekuensi yang memberi dukungan terbanyak pada tingginya nilai STI/%AL *Cons* ...
 - a. 8000Hz
 - b. 4000Hz
 - c. 2000Hz
 - d. 1000Hz

9. Jika penonton terdepan dan terbelakang berjarak 15m dan hanya satu *Loudspeaker* dengan ketinggian 6m didepan mimbar digunakan (*dispersinya* 40 derajat vertikal), orientasi *on-axis Loudspeaker* lebih baik ke ...
 - a. *On-axis* sebaliknya diarahkan ke penonton paling belakang
 - b. *On-axis* sebaliknya diarahkan ke penonton 1/3 dari belakang
 - c. *On-axis* sebaliknya diarahkan ke penonton ditengah
 - d. *On-axis* sebaliknya diarahkan ke penonton terdepan

DAFTAR PUSTAKA

- Acoustics, Ratonal. (2018). *Rational Acoustic Smaart v8. USA:Rational Acoustic.*
- Santoso, L. W., Lim, R., & Sulistio, R. (2012). Aplikasi *Spectrum Analyzer* Untuk Menganalisa *Loudspeaker*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Informatika*. Surabaya
- Sumoro, H. (n.d). (2012). *Practical Way of Collecting and Interpreting Technical Data of a Loudspeaker*. Purwokerto: Hadi Sumoro.
- Sumoro, H. (n.d). (2008). *Suara, Getaran, dan Pendengaran*. Purwokerto: Hadi Sumoro.
- Sumoro, H. (n.d). *retrieved from Hadi Sumoro's Audio/ Accoustics Publication: <http://www.hadisumoro.com>.*
- Waluyanti, Sri, dkk. 2008. *E-Book Teknik Audio Video*. Direktorat Pembinaan SMK.
- Mubarok, S., Suprayogi., & Prawirasasra.M.S. (2017). *Optimalization Performance Of Acoustic Parameters With Modification Of Speaker Distribution Configuration At Syamsul Ulum Mosque. E-Proceeding of Enggineering, Purwokerto, 689-696.*
- Yanto, Mingki., & Joewono.A. (2007).Alat Pengetesan Kurva Polarisasi *Speaker*. *Widya Teknik*, 163-172.
- Wijayanri, Normasia., Hidayatullah.S., & Zakri.K.W. Analisa Keterarahan *Speaker* dengan Menggunakan *Sound Level Meter* (SLM). *Jurnal Instrumentasi*. Institut Teknologi Sepuluh November.

- Chuang, C.-P., Jou, M., Lin, Y.-T., & Lu, C. T. (2013). Development of a situated *spectrum analyzer* learning platform for enhancing student technical skills. *Journal Interactive Learning Environments*. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.765896>.
- Hengjun, Z., & Wenxing, W. (2015). A Design and Implementation of Portable Spectrum analyzer. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 235-243. Retrieved From <https://pdfs.semanticscholar.org/8c7f/cac3dd0f1264089d13642d3a475de89c1b3b.pdf>.
- Jose, J., Edison, R., & Sherin, S. (2017). Low Cost Android Radio *Spectrum analyzer* Using RTL-SDR Dongle. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engine*, 98-101. Retrieved <https://ijarcce.com/upload/2017/si/NCRICT17/IJARCCE%20NCRICT%2025.pdf>.
- Kristianto, H. S. (2012). *Practical Way of Collecting and Interpreting Technical Data of a Loudspeaker*. Purwokerto: Hadi Sumoro.
- Mahmooda, M., Reddy, M. K., & Nayakanti, S. (2013). Implementation of *Spectrum analyzer* using GEORTZEL Algorithm. *International Journal of Scientific and Research Publications*. Retrieved from <http://www.ijsrp.org/research-paper-0313/ijsrp-p15135.pdf>.
- Santoso, L. W., Lim, R., & Sulistio, R. (2012). Aplikasi *Spectrum analyzer* Untuk Menganalisa Loudspeaker. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Informatika*. Surabaya. Retrieved from <http://repository.petra.ac.id/15833/>.
- Sinclair, I. R. (1988). *Sensor and Tranduser A Guide for Technicians*. Great Britain. Newres.
- Thomas, S., & Haider, N. S. (2013). A Study on Basic of A Spectrum analyzer. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2308-2315. Retrieved from https://www.ijareeie.com/upload/june/25D_A%20Study.pdf.
- Waluyanti, S. (2008). *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Penerbit Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.



**Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta**