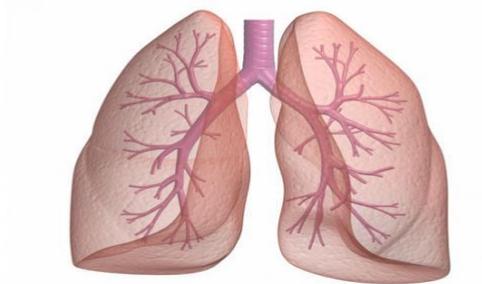


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Paru-paru

Paru-paru adalah organ pada sistem pernapasan (respirasi) dan berhubungan dengan sistem peredaran darah (sirkulasi) vertebrata yang bernapas dengan udara. Fungsinya adalah menukar oksigen dari udara dengan karbon dioksida dari darah. Prosesnya disebut "pernapasan eksternal" atau bernapas. Paru-paru juga mempunyai fungsi nonrespirasi. Istilah kedokteran yang berhubungan dengan paru-paru sering mulai di *pulmo-*, dari kata latin *pulmones* untuk paru-paru [8].



**Gambar 2.1** Paru-paru

Berikut ini jenis-jenis penyakit paru-paru yang perlu diketahui berdasarkan pada buku karangan Steve Parker yang berjudul “Ensiklopedia Tubuh Manusia”.

#### 2.1.1 *Pneumonia* (Radang Paru-paru)

Salah satu jenis-jenis penyakit paru-paru yang berbahaya adalah *pneumonia* atau disebut juga dengan radang paru-paru. *Pneumonia* dapat timbul di berbagai daerah di paru-paru. *Pneumonia lobar* menyerang sebuah lobus atau potongan besar paru-paru. *Pneumonia lobar* adalah bentuk *pneumonia* yang mempengaruhi area yang luas dan terus-menerus dari lobus paru-paru.

#### 2.1.2 Penyakit *Legionnaires*

Penyebab penyakit *legionnaires* adalah bakteri *legionella*, sebuah bakteri berbentuk batang yang ditemukan di sebagian besar sumber air. Mereka dapat

berlipat ganda sangat cepat. Mereka terdapat di sistem pipa ledeng atau di mana pun yang air bisa menggenang. Penyakit *Legionnaire* pertama kali dijelaskan pada 1976 setelah terjadi wabah penyakit yang mirip pneumonia berat pada veteran perang di sebuah konvensi American legion. Penyakit ini lebih banyak menyerang laki-laki.

### 2.1.3 Efusi *Pleura*

Cairan berlebih di dalam membran berlapis ganda yang mengelilingi paru-paru disebut *efusi pleura*. Dua lapis membran yang melapisi paru-paru atau *pleura* dilumasi oleh sedikit cairan yang memungkinkan paru-paru mengembang dan berkontraksi dengan halus dalam dinding dada. Infeksi seperti pneumonia dan tuberkulosis, gagal jantung, dan beberapa kanker dapat menimbulkan pengumpulan cairan di antara *pleura*.

### 2.1.4 Tuberkulosis (TB)

Jenis-jenis penyakit paru-paru lainnya adalah Tuberkulosis atau disingkat TB merupakan penyakit yang disebabkan oleh infeksi yang menyerang jaringan paru-paru. Penyebab seseorang mengidap TB adalah bakteri *mycobacterium tuberculosis*. Sebagian besar orang memiliki mikroba TB di dalam tubuhnya, tapi mikroba ini hanya menyebabkan penyakit di beberapa orang saja, biasanya jika imunitas atau kekebalan tubuh orang itu menurun.

### 2.1.5 *Pneumotoraks*

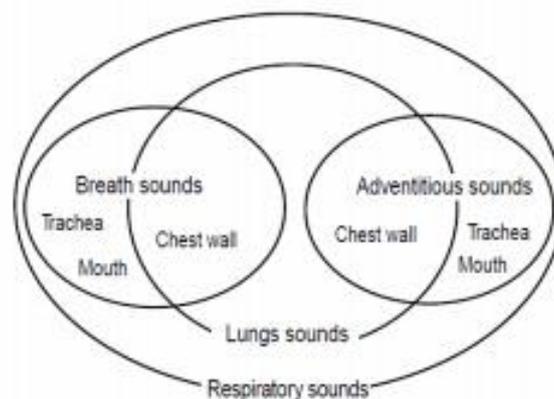
*Pneumotoraks* adalah penyakit yang terdapat di selaput paru atau yang disebut juga *pleura*. *Pneumotoraks* terjadi jika satu atau kedua membrane *pleura* tertembus dan udara masuk ke dalam rongga *pleura* menyebabkan paru-paru mengempis. Membran *pleura* dipisahkan oleh lapisan cairan pleura sangat tipis yang melumasi gerakan mereka. Keseimbangan tekanan antara dinding dada, lapisan pleura, dan jaringan paru-paru memungkinkan paru-paru “terisap” ke dalam dinding dada. Pada pneumotoraks, udara masuk ke dalam rongga pleura. Keseimbangan tekanan pun berubah dan paru-paru mengempis. Penyebab lain adalah patah tulang rusuk dan luka dada.

### 2.1.6 Asma

Asma merupakan salah satu kelainan paru-paru paling banyak dan bervariasi, menyerang satu dari empat anak di beberapa daerah. Otot dinding saluran udara berkontraksi seperti kejang, menyebabkan saluran udara menyempit, sehingga terjadi serangan sesak napas. Penyempitan diperburuk oleh sekresi lendir yang berlebihan. Sebagian besar kasus terjadi di masa kanak-kanak dan biasanya berkaitan dengan penyakit yang didasari oleh alergi seperti eksema dan keduanya mempunyai faktor penyakit turunan. [8]

## 2.2 Suara Paru-paru

Suara paru-paru merupakan bagian dari suara pernafasan atau yang biasa disebut *respiratory sound*. Dalam suara pernafasan meliputi suara yang terdapat pada mulut dan trakea, sedangkan suara paru-paru terjadi pada bagian sekitar dada (chest wall). Respirasi dapat didefinisikan sebagai kegiatan dalam bernafas. Didalamnya termasuk seluruh proses yang berkontribusi dalam hal menghirup oksigen (inhaling) dan mengeluarkan karbon dioksida (exhaling) (Baydar et al. 2003).Suara pernafasan didefinisikan sebagai keseluruhan suara yang berhubungan dengan respirasi termasuk suara nafas (breath sounds), suara adventif (abnormal sounds), suara batuk (cough sounds), dengkuran (snoring sounds), dan suara bersin (sneezing sounds) (Sovijarvi et al.2000).



**Gambar 2.2** Hubungan antara suara pernafasan, suara paru-paru, suara nafas dan suara tambahan (Sovijarvi, A>RA., et al,2999)

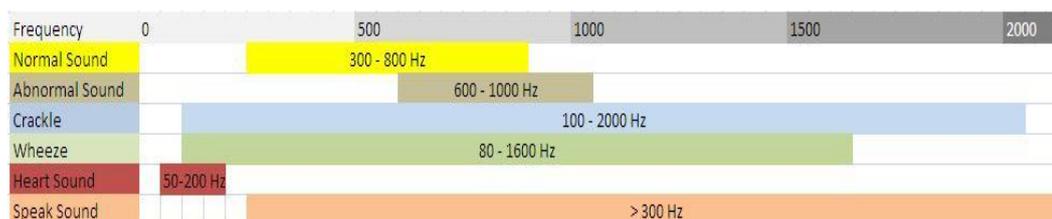
Adanya suara di dalam paru-paru manusia dikarenakan terjadi turbulensi udara saat udara memasuki saluran pernafasan selama proses pernafasan terjadi. Turbulensi yang terjadi di dalam paru-paru manusia terjadi karena adanya perbedaan saluran udara pada sistem pernafasan sehingga menyebabkan udara mengalir dari saluran yang lebar ke saluran yang lebih sempit ataupun sebaliknya. Perhatikan **Tabel 2.1**, tabel tersebut merupakan jenis-jenis dari suara paru-paru.

Dalam proses pernafasan terdapat dua proses utama yaitu proses inspirasi dan proses ekspirasi. Proses inspirasi yaitu proses yang terjadi saat kita menghirup udara ke dalam paru-paru, dalam proses ini oksigen masuk ke dalam tubuh. Ekspirasi yaitu proses yang terjadi saat kita mengeluarkan udara dari paru-paru, dan dalam proses ini karbondioksida dikeluarkan dari dalam tubuh. Pada saat inspirasi, suara paru-paru yang terdengar akan lebih kuat dari pada saat ekspirasi. Hal ini terjadi dikarenakan turbulensi udara pada saat proses inspirasi berlangsung lebih kuat dibandingkan pada saat proses ekspirasi. Namun, durasi antara ekspirasi lebih panjang dari inspirasi. Saat inspirasi, udara mengalir dari saluran udara yang lebih luas ke saluran udara yang lebih sempit sehingga turbulensi udara yang terjadi lebih kuat, sedangkan pada saat ekspirasi terjadi hal yang sebaliknya dari inspirasi. Akibat dari proses ini lah maka pada saat inspirasi suara yang terdengar lebih keras.

**Tabel 2.1** Jenis suara paru-paru

Suara Paru-paru		
Normal	Abnormal	Adventitious
Tracheal	Absent/Decreased	Crackles
Vesicular	Harsh vesicular	Wheeze
Bronchial		Stridor
Bronchovesicular		Rhonci
		Pleural Rub

Pada Tabel 2.2 merupakan range frekuensi dari suara paru-paru. Frekuensi suara paru-paru adventitious mempunyai range frekuensi 100-2000Hz dan suara paru-paru abnormal mempunyai range frekuensi 600-1000Hz. [13]

**Tabel 2.2** Frekuensi Suara Paru-paru

### 2.2.1 Suara Paru-Paru Normal

Pada suara paru-paru normal dibagi lagi menjadi 4 bagian, pembagian yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. *Tracheal Sound*, yaitu suara yang terdengar pada bagian tracheal, yaitu pada bagian larik dan pangkal leher.
2. *Bronchial Sound*, yaitu suara yang terdengar pada bagian bronchial, yaitu suara pada bagian percabangan antara paru-paru kanan dan paru-paru kiri.
3. *Bronchovesicular Sound*, suara ini didengar pada bagian ronchus, yaitu tepat pada bagian dada sebelah kanan atau kiri.
4. *Vesicular Sound*, suara yang dapat didengar pada bagian vesicular, yaitu bagian dada samping dan dada dekat perut.

Kategori dari suara paru-paru normal dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Kategori Suara Paru-paru Normal

Kategori	Intensitas	Lokasi	Pitch
<b>Vesicular</b>	Lembut ( <i>soft</i> )	Pada sisi dada dan perbatasan perut dan dada	Rendah ( <i>low</i> )
<b>Bronchovesicular</b>	Cukup kedengaran ( <i>intermediate</i> )	Antara dada kiri dan kanan	Sedang ( <i>intermediate</i> )
<b>Bronchial</b>	Keras ( <i>loud</i> )	Pada keseluruhan bagian tengah dada	Relatif tinggi ( <i>high</i> )
<b>Tracheal</b>	Sangat keras ( <i>very loud</i> )	Pada daerah trakea	Tinggi ( <i>high</i> )

### 2.2.2 Suara Paru-Paru Abnormal

Pada saat dilakukan auskultasi, tidak jarang dapat didengar suara paru-paru yang normal (normal sound) namun terdengar di tempat yang tidak seharusnya pada bagian anterior dan posterior. Hal ini menyebabkan suara paru-paru yang didengar digolongkan pada suara abnormal. Beberapa bagian dari suara abnormal seperti berikut :

1. *Absent*, yaitu tidak terdengar suara paru-paru pada bagian dada atau suara menghilang. Hal ini disebabkan penyakit berupa daging yang tumbuh hingga paru-paru mengecil.
2. *Harsh Vesicular*, yaitu *vesicular* normal merupakan suara paru-paru dengan intensitas soft dan pitch rendah atau *low*. Apabila suara terdengar lebih kuat dari biasanya bisa berarti abnormal sound dan dapat digolongkan sebagai *harsh vesicular*.
3. *Bronchial*, yaitu ciri utamanya adanya suara bergema, ada celah antara fase inspirasi dan ekspirasi.

### 2.2.3 Suara Paru-paru Tambahan (*Adventitious Sounds*)

Kategori terakhir dari suara paru-paru yaitu suara tambahan (*adventitious sound*). Suara paru-paru tambahan ini muncul karena adanya kelainan pada paru-paru yang disebabkan oleh penyakit, yaitu :

#### 2.2.3.1 *Crackles*

*Crackles* adalah jenis suara yang bersifat discontinuous (terputus-putus), pendek, dan kasar. Suara ini umumnya terdengar pada proses inspirasi. Suara crackles ini juga sering disebut dengan nama *rales* atau *crepitation*. Suara ini dapat diklasifikasikan sebagai *fine*, yaitu memiliki pitch tinggi, lembut, sangat singkat. Atau sebagai *coarse*, yaitu pitch rendah, lebih keras, tidak terlalu singkat. Spectrum frekuensi suara crackles antara 100-2000Hz (Sovijarvi, et al. 2000). Suara crackles dihasilkan akibat dua proses yang terjadi. Proses pertama yaitu ketika terdapat saluran udara yang sempit tiba-tiba terbuka hingga menimbulkan suara mirip seperti suara “plop” yang terdengar saat bibir yang dibasahi tiba-tiba dibuka. Apabila terjadi di daerah bronchioles maka akan tercipta fine crackles.

Proses kedua, ketika gelembung udara keluar pada pulmonary edema. Kondisi yang berhubungan dengan terjadinya crackle yaitu Asma, *Bronchiectasis*, *Chronic bronchitis*, ARDS, *Consolidation*.

#### 2.2.3.2 Wheeze

Suara ini dihasilkan oleh pergerakan udara turbulen melalui lumen jalan nafas yang sempit. *Wheeze* merupakan jenis suara yang bersifat kontiniu, memiliki pitch tinggi, lebih sering terdengar pada proses ekspirasi. Suara ini terjadi saat aliran udara melalui saluran udara yang menyempit karena sekresi, benda asing ataupun luka yang menghalangi. Jika *Wheeze* terjadi, terdapat perubahan setelah bernafas dalam atau batuk. *Wheeze* yang terdengar akan menandakan peak ekspirasi yang 50% lebih rendah dibandingkan dengan pernafasan normal. Terdapat 5 macam suara *Wheeze*, yaitu :

1. Suara *monophonic* yaitu suara yang terjadi karena adanya blok pada satu saluran napas, biasanya sering terjadi saat tumor menekan dinding *bronchioles*.
2. Suara *polyphonic* yaitu suara yang terjadi karena adanya halangan pada semua saluran nafas pada saat proses ekspirasi.

Kondisi yang menyebabkan *wheezing* yaitu Asma, CHF, *Chronic bronchitis*, COPD, *Pulmonary edema*.

#### 2.2.3.4 Ronchi

*Ronchi* merupakan jenis suara yang bersifat kontiniu, pitch rendah, mirip seperti *Wheeze*. Tetapi dalam ronchi jalan udara lebih besar, atau sering disebut coarse rattling sound. Suara ini menunjukkan halangan pada saluran udara yang lebih besar oleh sekresi. Kondisi yang berhubungan dengan terjadinya ronchi yaitu *Pneumonia*, Asma, *Bronchitis*, dan *Bronkopasme*.

#### 2.2.3.5 Stridor

*Stridor* merupakan suara *Wheeze* pada saat inspirasi yang terdengar keras pada *trachea*. *Stridor* menunjukkan indikasi luka pada trachea atau pada larynx sehingga sangat dianjurkan pertolongan medis.

### 2.2.3.6 Pleural rub

*Pleural rub* merupakan suara yang menggesek atau menggeretak yang terjadi saat permukaan *pleural* membengkok atau menjadi kasar dan menggesek satu dan lainnya. Suaranya dapat bersifat kontiniu atau diskontiniu. Biasanya terlokasi pada suatu tempat di dinding dada dan terdengar selama fase inspirasi atau ekspirasi. Beberapa kondisi yang menyebabkan *pleural rub* yaitu *pleural effusion* dan *pneumothorax*.

Menurut referensi [10] pada Tabel 2.4 merupakan frekuensi dari suara paru-paru normal dan suara paru-paru adventitious.

**Tabel 2.4** Frekuensi Suara Paru-paru Normal dan Adventitious

No.	Kategori Suara Paru-paru	Frekuensi Dominan (Hz)	Frekuensi Minimum (Hz)	Frekuensi Maximum (Hz)
1.	Tracheal	150	300	1250
2.	Bronchial	250	150	400
3.	Bronchovesicular	200	100	600
4.	Vesicular	200	100	800
5.	Fine Crackles	800	200	2000
6.	Coarse Crackles	200	100	300
7.	Wheeze	200	150	450
8.	Ronchi	300	150	500
9.	Stridor	300	150	100
10.	Pleural Rub	200	100	400

## 2.3 Proses Auskultasi

Auskultasi merupakan teknik yang dilakukan untuk mendiagnosis dengan mendengarkan suara biologis yang dihasilkan oleh tubuh. Suara yang biasa didengarkan dengan teknik ini misalnya suara jantung dan suara paru. Teknik ini menggunakan alat bantu yaitu berupa stetoskop. Masalah yang timbul dalam auskultasi adalah suara biologis biasanya menempati frekuensi yang cukup rendah

sekitar 20-400Hz, amplitude yang rendah, masalah kebisingan lingkungan, kepekaan telinga dan pola suara yang mirip.

Auskultasi menggunakan diafragma stetoskop. Pada saat pemeriksaan pasien hendaknya tidak berbicara dan tidak bernafas dalam menggunakan mulut. Paling tidak harus didengar satu nafas lengkap untuk tiap lokasi. Hal tersebut sangat penting bahwa nafas yang didengarkan harus dibandingkan dengan sisi yang berlawanan. Ada 12 lokasi auskultasi pada dada anterior dan ada 14 lokasi posterior. Secara umum yang harus didengar paling tidak 6 lokasi pada interior dan 6 lokasi pada posterior. Berikut Gambar 2.3 lokasi untuk auskultasi [11]

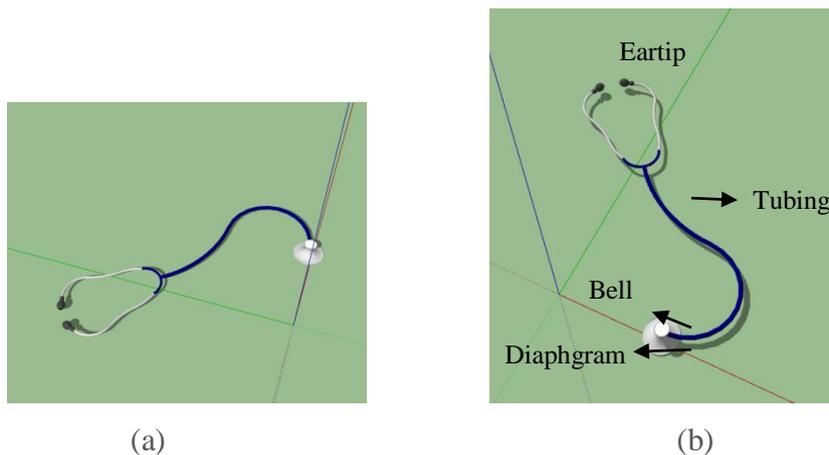


**Gambar 2.3** Lokasi Proses Auskultasi (a) pada dada anterior dan (b) pada dada posterior

## 2.4 Stetoskop

Stetoskop adalah alat medis yang fungsinya tidak hanya untuk mendengar suara detak jantung saja, tetapi juga untuk mendengarkan suara organ lain yang berada di dalam tubuh. Beberapa organ yang dibisa didengarkan oleh alat ini di antaranya adalah suara organ pencernaan, paru-paru, bahkan sampai suara janin yang masih di dalam kandungan pun bisa didengar detak jantungnya.

Selain untuk mendengar suara-suara di dalam tubuh, dokter juga akan menggunakan stetoskop untuk mendengar apakah terdapat sesuatu yang tidak normal dari suara di dalam tubuh. Dengan begitu, diagnosis suara di dalam tubuh lewat alat ini bisa membantu dokter memilih tindakan dan pengobatan yang tepat untuk pasien [10].



**Gambar 2.4** (a) Stetoskop secara keseluruhan dan (b) Bagian dari stetoskop

#### 2.4.1 Bagian dari Stetoskop

##### 2.4.1.1 *Eartips*

Bagian ini merupakan bagian yang diletakkan atau dimasukkan ke dalam telinga. *Eartips* menjadi pintu keluar suara yang didengar dari organ dalam tubuh, termasuk dada. *Eartips* umumnya terbuat dari karet atau bahan silikon yang dirancang dengan bentuk yang pas dipakai di dalam telinga sehingga suara lain yang tidak diinginkan tidak masuk tercampur.

##### 2.4.1.2 *Tubing*

*Tubing* adalah bagian dari alat yang berfungsi untuk menjaga dan mentransfer frekuensi suara yang ditangkap oleh diafragma stetoskop dan mengirimkannya kembali ke *eartip*.

##### 2.4.1.3 *Bell*

*Bell* biasanya terdapat dalam stetoskop berkepala ganda. *Bell* memiliki bentuk lingkaran yang lebih kecil. Bagian ini berfungsi mendengarkan suara berfrekuensi rendah yang mungkin tidak mudah dideteksi oleh bagian lain alat ini, yaitu diafragma. *Bell* juga membantu untuk mendengarkan suara pada lokasi yang tidak datar, yang biasanya tidak dapat dijangkau secara optimal dengan menggunakan diafragma.

#### 2.4.1.4 *Diaphragm*

Diafragma atau *diaphragm* stetoskop adalah bagian datar di ujung kepala alat ini. Fungsinya untuk mendengarkan nada tinggi, contohnya suara paru-paru. Beberapa jenis alat ini ada yang memiliki diafragma tetapi tidak punya *bell* untuk mendeteksi suara rendah.

#### 2.4.2 Jenis-jenis dari Stetoskop

Pada dasarnya setiap jenis dari alat ini dirancang untuk melakukan fungsi yang sama, yakni mendengar suara di dalam tubuh. Berikut adalah berbagai jenis stetoskop yang perlu ketahui :

##### 2.4.2.1 Stetoskop Kardiologi

Alat jenis ini umumnya terlihat sama layaknya stetoskop biasa. Bedanya, kemampuan alat kardiologi ini dapat mendengarkan suara detak jantung dengan lebih jelas. Alat ini dapat mendengar suara dari frekuensi rendah ke tinggi dari diafragma tanpa perlu menggunakan *bell* yang biasanya ditemukan dalam stetoskop berkepala ganda.

##### 2.4.2.2 Stetoskop Bayi

Ini adalah jenis alat medis yang digunakan untuk memeriksa bayi yang sudah berusia sekitar tiga bulan lebih. Alat ini digunakan oleh praktisi medis dan juga mahasiswa kedokteran untuk mendengarkan dan mempelajari jantung serta suara lain untuk mendiagnosis dan menilai masalah yang mungkin muncul pada pasien bayi.

##### 2.4.2.3 Stetoskop Elektronik

Alat medis elektronik ini fungsinya untuk membantu memecahkan masalah suara dan memperkuat suara yang didengar pada dada atau bagian tubuh lainnya secara elektronik. Suara elektronik itu kemudian diubah menjadi sebuah gelombang listrik yang nantinya akan menghasilkan suara yang lebih jelas lagi jika sudah sampai ke telinga dokter.

Stetoskop jenis ini terbagi lagi ke dalam dua jenis, ada yang jenis amplifikasi dan digitalisasi. Alat ini sangat berguna, karena dapat memperkuat suara jantung atau pernapasan, sehingga memudahkan diagnosis dalam kasus suara yang samar. Umumnya, alat ini digunakan untuk diagnosis pada masalah kesehatan jantung atau paru.

## 2.5 *Microphone*

*Microphone* merupakan transduser yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal suara dan menghasilkan sinyal elektrik berupa tegangan atau arus yang proporsional terhadap sinyal suara. *Microphone* memberikan nilai output sinyal analog yang sebanding dengan perubahan tekanan akustik bergantung pada fleksibilitas diafragma. Sinyal listrik kemudian digunakan untuk pengiriman, perekaman atau pengukuran pada karakteristik sinyal akustik.



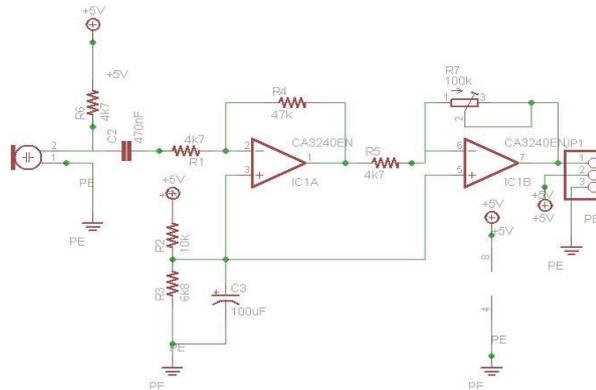
**Gambar 2.5** *Electret Condenser Microphone*

Dengan referensi beberapa riset sebelumnya bahwa suara paru-paru terutama focus pada suara paru-paru adventitious terletak pada range frekuensi 100-2000Hz dan abnormal terletak pada frekuensi range 600-1000Hz dibagian posterior, maka diperlukan *microphone* yang sesuai dengan range frekuensi dari suara paru-paru tersebut.

Salah satu jenis *microphone* yang biasa digunakan untuk kepentingan musical adalah *condenser*. *Condenser* atau yang lebih dikenal dengan kapasitor yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Untuk dapat bekerja, *condenser microphone* memerlukan energi power dari baterai atau suplai eksternal. Sinyal audio yang dihasilkan oleh *condenser microphone* lebih kuat dibandingkan dengan tipe yang lainnya. *Condenser* juga lebih sensitif dan responsif sehingga tepat digunakan untuk mengambil perbedaan pada suara [11].

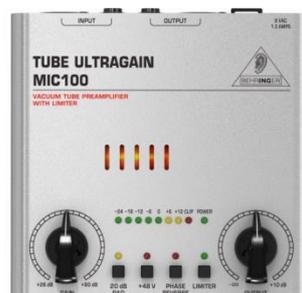
## 2.6 Pre-Amplifier

*Pre-amplifier* berfungsi untuk menguatkan sinyal, karena suara paru-paru berada pada frekuensi rendah. Maka suara yang ditangkap *stetoskop mic-condenser* dikuatkan dengan rangkaian *pre-amplifier* agar frekuensi sinyal suara paru-paru menjadi besar [1]. **Gambar 2.5** merupakan skematik rangkaian *pre-amp mic condenser*.



**Gambar 2.6** Rangkaian *Pre-amplifier mic condenser*

Rangkaian dari pre amplifier dapat menjadi satu dengan transduser sebelum amplifier ataupun dalam rangkaian yang terpisah. Jadi pre amplifier merupakan bagian yang berfungsi menguatkan daya sinyal yang dikeluarkan oleh input sinyal, atau dengan kata lain penguat awal yang berfungsi sebagai penguat sinyal audio yang masih lemah. Adapun sinyal yang dikuatkan oleh penguat awal adalah amplitude tegangan sinyal, sehingga dihasilkan intensitas tegangan sinyal audio yang akan dikuatkan lagi oleh power amplifier.



**Gambar 2.7** *Pre amplifier*

Secara umum fungsi dari *pre amplifier* adalah untuk menguatkan sinyal dari low ke level ke line level. Line level merupakan kekuatan tertentu dari sinyal audio yang digunakan untuk mengirimkan suara analog antara komponen audio seperti CD dan DVD player, TV, amplifier audio, dan *konsol mixing*. Jadi sinyal yang keluar dari transduser masuk ke dalam rangkaian *pre amplifier* dalam rangkaian tersebut memproses sinyal elektronik yang masu, di olah ke level tertentu yang kemudian diteruskan ke dalam amplifier atau peralatan elektronik lainnya. Dalam penelitian ini sinyal keluaran dari *pre amplifier* akan dihubungkan ke line in DSP untuk dilakukan filtering lowpass sebelum direkam dalam personal computer (sound card).

## **2.7 DSP (*Digital Signal Processing*) TMS320C6416T**

DSP merupakan singkatan dari *Digital Signal Processing* yang dapat diartikan sebagai *device* pemrosesan sinyal digital. DSP merupakan suatu rangkaian terintegrasi sejenis *microprocessor* yang dirancang khusus untuk melakukan pemrosesan data diskrit dengan kecepatan tinggi seperti, *fast fourier transform* dan *filtering*.

Sinyal analog yang berkesinambungan dalam waktu dan amplitud yang pada umumnya sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Contoh sinyal analog seperti tegangan, arus, tekanan, dan intensitas cahaya. Sebuah transducer digunakan untuk mengubah suatu sinyal non listrik ke sinyal listrik analog (tegangan). Sinyal analog tersebut diumpankan ke filter analog untuk membatasi rentang frekuensi sebelum melakukan pengambilan proses sampel. Tujuan proses filtering atau penyaringan yaitu untuk secara signifikan melemahkan distorsi aliasing. Sinyal band terbatas pada output filter analog kemudian akan disampel dan diubah melalui unit ADC ke dalam sinyal digital baik dalam diskrit waktu dan amplitud.

Proses DSP kemudian menerima sinyal digital dan memproses data digital menurut aturan DSP seperti filtering digital *lowpass*, *highpass* dan *bandpass* atau algoritma lain untuk aplikasi yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa unit prosesor DS merupakan jenis khusus dari computer digital dan dapat digunakan untuk tujuan umum digital komputer, mikroprosesor atau mikrokontroler. Lebih

jauh lagi DSP dapat diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak yang sesuai dan diproses sinyal output digital yang dihasilkan. Sinyal ini akan berperilaku sesuai dengan algoritma khusus yang digunakan. Pada unit DAC berfungsi untuk mengubah sinyal digital olahan dari sinyal yang dikeluarkan oleh sinyal analog [11].

## 2.8 Pengolahan Sinyal Digital

Setelah diperoleh data digital dengan akuisisi data, selanjutnya dibutuhkan pengolahan data tersebut untuk keperluan analisa suatu grafik yang diperoleh, respon frekuensi atau analisa yang lainnya. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan tiga metode untuk membantu dalam menganalisa suara paru-paru. Tiga metode yang digunakan yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT), *Short Time Fourier Transform* (STFT) dan *Wavelet Transform* (WF).

### 2.8.1 Transformasi Fourier

*Transformasi Fourier* diawali pada abad ke 19 oleh seorang matematikawan Prancis yang bernama Jean Baptiste Fourier. Dalam penelitiannya Fourier berhasil menunjukkan bahwa semua fungsi yang bersifat periodik (sinyal) dalam waktu dapat diekspresikan sebagai fungsi penjumlahan trigonometri sinus dari berbagai frekuensi. Transformasi Fourier merupakan salah satu dari beberapa metode matematika yang berguna dalam analisa sinyal. Penyajian sinyal ini pada dasarnya meliputi dekomposisi sinyal dari segi komponen sinusoidal. Dengan dekomposisi seperti itu, suatu sinyal dikatakan akan disajikan dalam domain frekuensi.

Fourier mendefinisikan transformasi sinyal dari kawasan waktu ke kawasan frekuensi dengan rumus :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} df \dots\dots\dots 2.1$$

Sebaliknya untuk mengubah sinyal dari kawasan frekuensi menjadi kawasan waktu (melakukan invers) dengan menggunakan rumus :

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x(f) \cdot e^{-j\omega t} df \dots\dots\dots 2.2$$

$X(f)$  merupakan spectrum, dimana  $f$  mewakili frekuensi dan  $x(t)$  merupakan sinyal asli dalam kawasan waktu. Bilangan  $j$  yang muncul merupakan bilangan kompleks (akar -1). Batas atas dan batas bawah dari integral adalah plus minus tak terhingga yang menyatakan bahwa sinyal tersebut merupakan sinyal kontiniu (periodic) dari rentang minus tak terhingga sampai plus tak berhingga [13].

### 2.8.2 Short Time Fourier Transform (STFT)

*Short Time Fourier Transform* sinyal dibagi-bagi atas segmen yang cukup kecil. Pada STFT, window ada dalam finite area, sehingga kita tidak akan mendapatkan resolusi frekuensi yang tepat dengan waktu yang pendek atau short time.

Fungsi dari window ini menggunakan fungsi simple dari Gaussian dengan bentuk :

$$w(t) = \frac{t^2}{e^{2t^2}} \dots \dots \dots 2.3$$

Dimana  $a$  merupakan panjang dari window dan  $t$  merupakan waktu [13].

### 2.8.3 Wavelet Transforms (WT)

*Wavelet* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam menganalisa sinyal stasioner. Metode *wavelet* sendiri dapat digunakan untuk menapis data dan meningkatkan mutu kualitas data. *Wavelet* juga dapat mengkompres data dan mendeteksi kejadian-kejadian tertentu pada data *non-stasioner*. Berkaitan dengan kemampuan *wavelet* untuk memisahkan berbagai macam karakteristik pada berbagai skala. Sifat terpenting dari wavelet adalah lokalisasi waktu-frekuensi, sehingga analisis dengan metode *wavelet* dapat menyajikan sinyal secara detil, local sesuai dengan skalanya. Jadi penyajian data dengan *wavelet* dilakukan dengan cara ekspans sampai tak berhingga. Seperti yang dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$CW_{t_x}^{\varphi}(\tau, s) = \varphi_x^{\varphi}(t, s) = \int x(t) \cdot \varphi_{\tau, s}^*(t) dt \dots \dots \dots 2.4$$

Pada awalnya wavelet akan dimulai pada  $s=1$  pada  $time=0$ , maka sinyal akan dikalikan dan diintegrasikan pada sepanjang waktu. Hasil dari integrasi akan dikalikan dengan angka konstan  $\sqrt{s}$ . Perkalian ini untuk normalisasi energy,

sehingga energi akan sama pada setiap skala. Hasil akhir dari transformasi akan bergantung pada titik  $t=\tau$ ,  $s=1$  pada plane time frekuensi. Prosedur ini akan terus menerus diulang hingga wavelet mencapai akhir dari sinyal sehingga satu baris dari point pada skala waktu  $s=1$  [13].

Wavelet adalah fungsi matematik yang membagi-bagi data menjadi beberapa komponen frekuensi yang berbeda-beda, kemudian dilakukan analisis untuk masing-masing komponen menggunakan resolusi yang sesuai dengan skalanya. Kepentingan penggunaan wavelet ini berdasarkan fakta dengan transformasi wavelet akan diperoleh solusi waktu yang lebih baik dari pada metode-metode lainnya seperti Fourier Transform (FT) dan Short Time Fourier Transform (STFT). Pada transformasi fourier akan didapat informasi frekuensi namun tidak terdapat mengenai waktu [11], sedangkan dengan menggunakan metode STFT akan memberikan representasi waktu dan frekuensi. Representasi waktu dan frekuensi ini digunakan untuk analisis sinyal non-stasioner.

## 2.9 LabView

Toolkit Advance Signal Processing yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan LabView 8.5 yang merupakan tools untuk pengolahan sinyal tingkat lanjut. Pada LabView ini terdapat tiga fitur tambahan dalam toolkit Labview, yaitu :

1. Time Frequency Analysis
2. Time Series Analysis
3. Wavelet Analysis

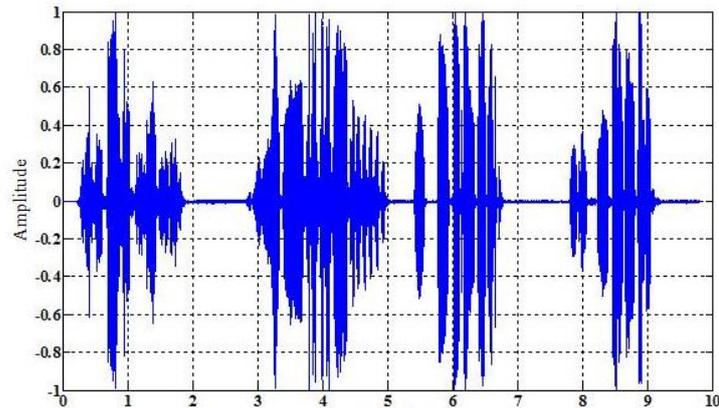
Dalam pengolahan sinyal suara paru-paru dikhususkan pada analisis, peneliti menggunakan FFT, STFT dan Wavelet untuk menyediakan spectral warna pada pengamatan analisis suara paru-paru.



**Gambar 2.8** Analisis Dalam Advance Signal Processing Toolkit LabView

### 2.9.1 Time Domain Waveform

Sinyal merupakan bentuk dimensi waktu (time domain), contoh beragam bentuk sinyal dalam waktu tertentu. Representasi sinyal time domain sering juga dinamakan representasi sinyal Time-Amplitude. Contoh sinyal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8 dibawah ini :

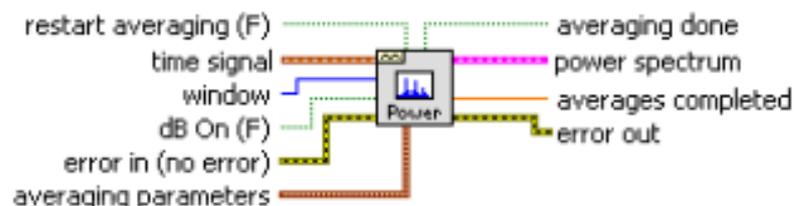


**Gambar 2.9** Time Domain Signal

### 2.9.2 FFT RMS dan Power Spectrum

Pengolahan data domain waktu menjadi data pada domain frekuensi dilakukan dengan sistem *transformasi fourier* (FFT). Pada program LabView disediakan bagaimana sinyal domain untuk dapat ditransformasikan menjadi sinyal dalam domain frekuensi dengan menggunakan FFT Power Spectrum.

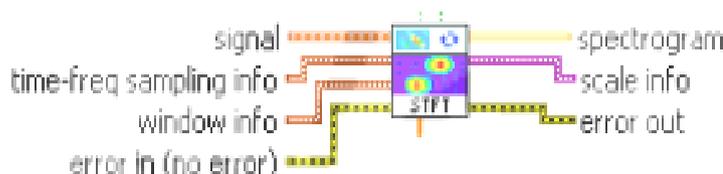
Proses *window* merupakan proses pemotongan hasil sampling sinyal domain waktu dengan fungsi gelombang domain waktu yang lain. Amplitudo dari fungsi *window* ini menuju nol secara perlahan pada ujung-ujung batas *sampling*, sehingga terlihat hanya seperti sinyal spectrum garis tegak dalam domain frekuensi.



**Gambar 2.10** FFT Power Spectrum pada LabView

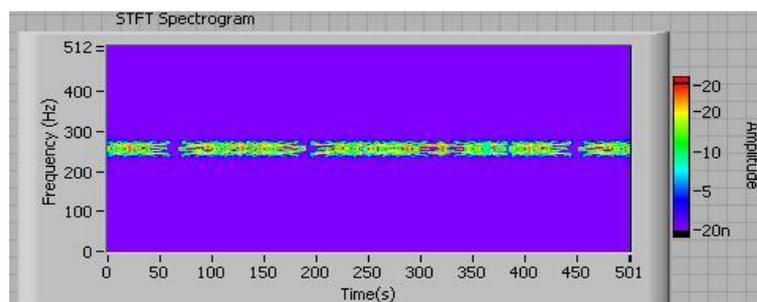
### 2.9.3 STFT Spectrogram

Pada STFT Spectrogram sinyal domain waktu akan diubah dengan spectral warna yang berbeda dengan nilai amplitude sinyal. Dengan metode scanning window ini waktu yang pendek akan mendapatkan resolusi warna yang baik.



**Gambar 2.11** STFT Spectrum pada LabView

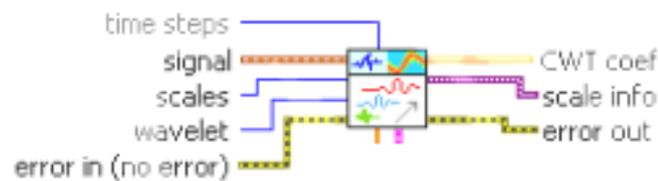
Untuk menganalisa sinyal suara paru-paru dapat menggunakan fungsi window yang ada dalam toolkit LabView. Pada Gambar 2.11 contoh hasil simulasi sinyal frekuensi oleh STFT Spectrum dengan 300 Hz.



**Gambar 2.12** Simulasi Sinyal Frekuensi STFT Spectrum pada LabView

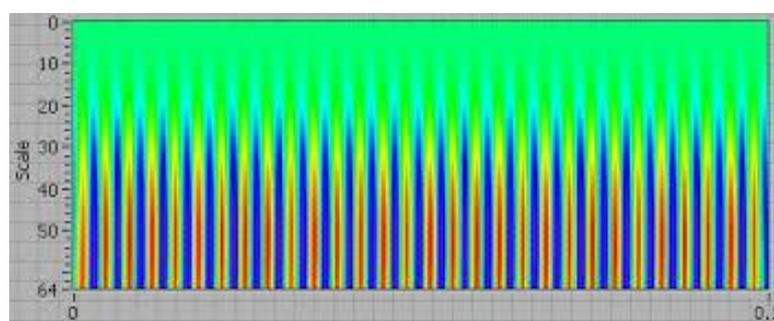
### 2.9.4 Wavelet Scalogram

Dalam representasi sinyal pada wavelet warna sinyal yang dihasilkan adalah spectral warna (scalogram). Scalogram merupakan fungsi dalam wavelet yang dinyatakan dengan skala. Sinyal dalam domain waktu akan diubah menjadi koefisien wavelet. Koefisien ini merupakan lokalisasi waktu-frekuensi (time frequency localization), sehingga dengan metode wavelet dapat menyajikan sinyal secara detail dan sesuai dengan skalanya.



**Gambar 2.13** Wavelet Scalogram pada LabView

Untuk menganalisa sinyal suara paru-paru dapat menggunakan fungsi *window* yang ada dalam toolkit LabView. Pada Gambar 2.13 contoh hasil simulasi sinyal frekuensi oleh Wavelet Scalogram dengan 300 Hz. [13]



**Gambar 2.14** Simulasi Sinyal Frekuensi Wavelet Scalogram pada LabView

## 2.10 Perbandingan Jurnal Penelitian

**Tabel 2.5** Perbandingan Jurnal Penelitian

No.	Parameter	Metode	Aplikasi	Kekurangan	Kelebihan	Referensi
1.	Simulasi sinyal suara pada kelainan paru-paru berbasis <i>Android</i>	Pembacaan sinyal frekuensi yang keluar dari osiloskop	Modul <i>Bluetooth</i>	Tampilan sinyal suara paru-paru pada android tidak begitu jelas, dikarenakan mikrokontroler arduino tidak begitu cepat dalam pembacaan data dari rangkaian	Dapat menampilkan data sinyal frekuensi dari kelainan suara paru-paru menggunakan	[1]

					<i>smartphone android</i>	
2.	Stetoskop Elektronik	Teknik Auskultasi	Suara paru-paru dan microphone	Stetoskop akustik yang kurang peka dan penguatan yang kurang tinggi dan akan menyebabkan hasil rekaman suara paru-paru yang kurang baik.	Dapat merekam, didengarkan kembali atau dapat diolah untuk didengarkan bagian frekuensi dari suara paru-paru tersebut.	[6]
3.	Deteksi Kelainan Parenkim Paru-paru	<i>Power Spectrum Density</i> dengan metode <i>Welch</i>	<i>Spectrum</i> Frekuensi	Frekuensi dan amplitude dari suara paru-paru masih rendah sehingga dapat menyebabkan salah pendengaran antara suara jantung dan suara paru-paru	Dapat mengelompokkan suara paru normal dan suara paru abnormal	[7]