

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Cara Kerja Jantung

Jantung yang berfungsi sebagai pompa yang melakukan tekanan terhadap darah agar timbul gradien dan darah dapat mengalir ke seluruh tubuh. Pembuluh darah berfungsi sebagai saluran untuk mendistribusikan darah dari jantung ke semua bagian tubuh dan mengembalikannya kembali ke jantung. Darah yang berfungsi sebagai medium transportasi dimana darah akan membawa oksigen dan nutrisi. Darah berjalan melalui sistem sirkulasi ke dan dari jantung melalui 2 lengkung vaskuler (pembuluh darah) yang terpisah. Sirkulasi paru terdiri atas lengkung tertutup pembuluh darah yang mengangkut darah antara jantung dan paru. Sirkulasi sistemik terdiri atas pembuluh darah yang mengangkut darah antara jantung dan sistem organ (Taylor, 2010).

Walaupun secara anatomik jantung adalah satu organ, sisi kanan dan kiri jantung berfungsi sebagai dua pompa yang terpisah. Jantung terbagi atas separuh kanan dan kiri serta memiliki empat ruang, bilik bagian atas dan bawah di kedua belahannya. Bilik bagian atas disebut dengan atrium yang menerima darah yang kembali ke jantung. dan memindahkannya ke bilik bawah, yaitu ventrikel yang berfungsi memompa darah dari jantung. Pembuluh yang mengembalikan darah dari jaringan ke atrium disebut dengan vena, dan pembuluh yang mengangkut darah menjauhi ventrikel dan menuju ke jaringan disebut dengan arteri. Kedua belahan jantung dipisahkan oleh septum atau sekat, yaitu suatu partisi otot kontinu yang mencegah pencampuran darah dari kedua sisi jantung.

Pemisahan ini sangat penting karena separuh jantung kanan menerima dan memompa darah beroksigen rendah sedangkan sisi jantung sebelah kiri memompa darah beroksigen tinggi (Taylor, 2010).

Perjalanan Darah dalam Sistem Sirkulasi

Jantung berfungsi sebagai pompa ganda. Darah yang kembali dari sirkulasi sistemik (dari seluruh tubuh) masuk ke atrium kanan melalui vena besar yang dikenal sebagai vena kava. Darah yang masuk ke atrium kanan berasal dari jaringan tubuh, telah diambil O_2 -nya dan ditambahi dengan CO_2 . Darah yang miskin akan oksigen tersebut mengalir dari atrium kanan melalui katup ke ventrikel kanan, yang memompanya keluar melalui arteri pulmonalis ke paru. Dengan demikian, sisi kanan jantung memompa darah yang miskin oksigen ke sirkulasi paru (Wijaya, 2009). Di dalam paru, darah akan kehilangan CO_2 -nya dan menyerap O_2 segar sebelum dikembalikan ke atrium kiri melalui vena pulmonalis.

Darah kaya oksigen yang kembali ke atrium kiri ini kemudian mengalir ke dalam ventrikel kiri, bilik pompa yang memompa atau mendorong darah ke semua sistem tubuh kecuali paru. Jadi, sisi kiri jantung memompa darah yang kaya akan O_2 ke dalam sirkulasi sistemik. Arteri besar yang membawa darah menjauhi ventrikel kiri adalah aorta. Aorta bercabang menjadi arteri besar dan mendarahi berbagai jaringan tubuh.

Sirkulasi sistemik memompa darah ke berbagai organ, yaitu ginjal, otot, otak, dan semuanya. Jadi darah yang keluar dari ventrikel kiri tersebar sehingga masing-masing bagian tubuh menerima darah segar. Darah arteri yang sama tidak mengalir dari jaringan ke jaringan. Jaringan akan mengambil O_2 dari darah dan menggunakannya untuk menghasilkan energi. Dalam prosesnya, sel-sel jaringan

akan membentuk CO₂ sebagai produk buangan atau produk sisa yang ditambahkan ke dalam darah. Darah yang sekarang kekurangan O₂ dan mengandung CO₂ berlebih akan kembali ke sisi kanan jantung. Selesailah satu siklus dan terus menerus berulang siklus yang sama setiap saat.

Kedua sisi jantung akan memompa darah dalam jumlah yang sama. Volume darah yang beroksigen rendah yang dipompa ke paru oleh sisi jantung kanan memiliki volume yang sama dengan darah beroksigen tinggi yang dipompa ke jaringan oleh sisi kiri jantung.

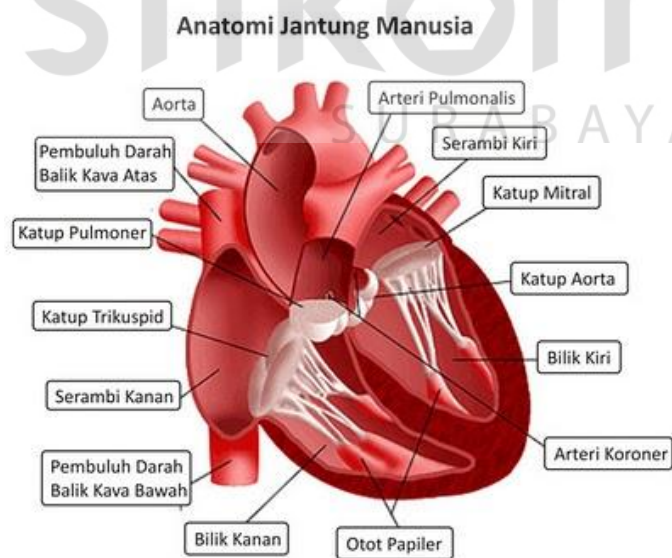
Sirkulasi paru adalah sistim yang memiliki tekanan dan resistensi rendah, sedangkan sirkulasi sistemik adalah sistim yang memiliki tekanan dan resistensi yang tinggi. Oleh karena itu, walaupun sisi kiri dan kanan jantung memompa darah dalam jumlah yang sama, sisi kiri melakukan kerja yang lebih besar karena ia memompa volume darah yang sama ke dalam sistim dengan resistensi tinggi. Dengan demikian otot jantung di sisi kiri jauh lebih tebal daripada otot di sisi kanan sehingga sisi kiri adalah pompa yang lebih kuat.

Darah mengalir melalui jantung dalam satu arah tetap yaitu dari vena ke atrium ke ventrikel ke arteri. Adanya empat katup jantung satu arah memastikan darah mengalir satu arah. Katup jantung terletak sedemikian rupa sehingga mereka membuka dan menutup secara pasif karena perbedaan gradien tekanan. Gradien tekanan ke arah depan mendorong katup terbuka sedangkan gradien tekanan ke arah belakang mendorong katup menutup.

Dua katup jantung yaitu katup atrioventrikel (AV) terletak di antara atrium dan ventrikel kanan dan kiri. Katup AV kanan disebut dengan katup trikuspid karena memiliki tiga daun katup sedangkan katup AV kiri sering disebut

dengan katup bikuspid atau katup mitral karena terdiri atas dua daun katup. Katup-katup ini mengijinkan darah mengalir dari atrium ke ventrikel selama pengisian ventrikel (ketika tekanan atrium lebih rendah dari tekanan ventrikel), namun secara alami mencegah aliran darah kembali dari ventrikel ke atrium ketika pengosongan ventrikel atau ventrikel sedang memompa.

Dua katup jantung lainnya yaitu katup aorta dan katup pulmonalis terletak pada sambungan dimana tempat arteri besar keluar dari ventrikel. Keduanya disebut dengan katup semilunaris karena terdiri dari tiga daun katup yang masing-masing mirip dengan kantung mirip bulan-separuh. Katup ini akan terbuka setiap kali tekanan di ventrikel kanan dan kiri melebihi tekanan di aorta dan arteri pulmonalis selama ventrikel berkontraksi dan mengosongkan isinya. Katup ini akan tertutup apabila ventrikel melemas dan tekanan ventrikel turun di bawah tekanan aorta dan arteri pulmonalis. Katup yang tertutup mencegah aliran balik dari arteri ke ventrikel.



Gambar 2.1. Anatomi Jantung Manusia (www.penyakitjantungkoroner.net)

Walaupun tidak terdapat katup antara atrium dan vena namun hal ini tidak menjadi masalah. Hal ini disebabkan oleh dua hal, yaitu karena tekanan atrium biasanya tidak jauh lebih besar dari tekanan vena serta tempat vena kava memasuki atrium biasanya tertekan selama atrium berkontraksi.

2.2. Bunyi Pada Jantung

Dua bunyi jantung utama dalam keadaan normal dapat didengar dengan stetoskop selama siklus jantung. Bunyi pada jantung umumnya memiliki frekuensi antara 20 – 200 Hz. Bunyi jantung I bernada rendah, lunak, dan relatif lama, sering dikatakan terdengar seperti “lub”. Bunyi jantung II memiliki nada yang lebih tinggi, lebih singkat, dan tajam, sering dikatakan terdengar seperti “dup”. Dengan demikian, dalam keadaan normal terdengar “lub, dup, lub, dup, lub, dup, ...” (Taylor, 2010).

Bunyi jantung I berkaitan dengan penutupan katup AV, sedangkan bunyi II berkaitan dengan penutupan katup semilunaris. Pembukaan katup tidak menimbulkan bunyi apapun. Bunyi timbul karena getaran yang terjadi di dinding ventrikel dan arteri-arteri besar ketika katup menutup, bukan oleh derik penutupan katup.

Karena penutupan katup AV terjadi pada awal kontraksi ventrikel ketika tekanan ventrikel pertama kali melebihi tekanan atrium, bunyi jantung I menandakan awitan sistol ventrikel. Penutupan katup semilunaris terjadi pada awal relaksasi ventrikel ketika tekanan ventrikel kiri dan kanan turun dibawah tekanan aorta dan arteri pulmonalis. Dengan demikian, bunyi jantung II menandakan permulaan diastol ventrikel. Selain bunyi jantung diatas terdapat bunyi jantung III dan IV.

Bunyi jantung III bernada rendah dan dalam keadaan normal terdengar \pm 0,015 sampai 0,017 detik setelah bunyi jantung II, terjadi akibat getaran cepat dari aliran darah saat pengisian cepat dari ventrikel. Dapat terdengar pada anak sampai dewasa muda. Bunyi jantung I, bunyi jantung II bersama-sama bunyi jantung III memberi suara derap kuda \rightarrow gallop rhythm.

Bila bunyi jantung III terdapat pada orang tua dengan intensitas yang keras (protodiastolic gallop) menandakan keadaan jantung memburuk. Protodiastolic gallop yang terdengar di apeks menunjukkan perubahan pada ventrikel kiri (gagal jantung kiri). Protodiastolic gallop yang terdengar di dekat ujung sternum menunjukkan perubahan ventrikel kanan (gagal jantung kanan).

Bunyi jantung IV disebabkan kontraksi atrium yang mengalirkan darah ke ventrikel yang kompliansnya menurun. Bunyi jantung IV (atrial gallop) kadang terdengar pada dewasa muda 0,08 detik sebelum bunyi jantung I dengan intensitas rendah. Bunyi jantung IV pada orang tua dapat terjadi pada blok AV, hipertensi sistemik atau infark miokard.

2.3 Bising Jantung (Cardiac Murmur)

Bunyi jantung abnormal, atau murmur (bising jantung) biasanya berkaitan dengan penyakit jantung. Murmur yang tidak berkaitan dengan patologi jantung, yang disebut murmur fungsional, lebih sering dijumpai pada orang berusia muda. Dalam keadaan normal darah mengalir secara laminar; yaitu cairan mengalir dengan mulus dalam lapisan-lapisan yang berdampingan satu sama lain. Namun, apabila aliran darah menjadi turbulen (bergolak), dapat terdengar bunyi. Bunyi abnormal tersebut disebabkan oleh getaran yang terbentuk di struktur-struktur di

sekitar aliran yang bergolak tersebut. Penyebab tersering turbulensi adalah malfungsi katup, baik katup stenotik atau insufisien.

Katup stenotik adalah katup yang kaku dan menyempit dan tidak membuka secara sempurna. Darah harus dipaksa melewati lubang yang menyempit dengan kecepatan yang sangat tinggi, sehingga terjadi turbulensi yang menimbulkan suara siulan abnormal serupa dengan bunyi yang dihasilkan sewaktu memaksa udara melewati bibir yang menyempit untuk bersiul.

Katup insufisien adalah katup yang tidak dapat menutup sempurna, biasanya karena tepi-tepi daun katup mengalami jaringan parut dan tidak pas satu sama lain. Turbulensi terjadi sewaktu darah mengalir berbalik arah melalui katup yang insufisien dan bertumbukan dengan darah yang mengalir dalam arah berlawanan, menimbulkan murmur yang berdesir atau berdeguk. Aliran balik darah demikian dikenal sebagai regurgitasi. Biasanya katup jantung yang insufisien disebut katup bocor, karena memungkinkan darah mengalir balik pada saat katup seharusnya tertutup.

Suatu murmur yang terjadi antara bunyi jantung I dan II (lub-murmur-dup, lub-murur-dup) mengisyaratkan murmur sistolik. Terdapat 2 macam murmur sistolik, yaitu :

Tipe ejsi (ejection systolic) : timbul akibat aliran darah yang dipompakan (ejected) melalui bagian yang menyempit dan mengisi sebagian fase sistolik, misal : pada stenosis aorta. Tipe pansistolik (pansystolic) : timbul akibat aliran balik yang melalui bagian jantung yang masih terbuka dan mengisi seluruh fase sistolik, misal : pada insufisiensi mitral. Jika terjadi antara bunyi jantung II

dan I (lub-dup-murmur, lub-dup-murmur) merupakan murmur diastolik. Macam-macam murmur diastolik, yaitu :

1. Mid-diastolic : terdengar pada pertengahan fase diastolic.
2. Early diastolic : terdengar segera sesudah bunyi jantung II, timbul akibat aliran balik pada katup aorta.
3. Pre-systolic : terdengar pada akhir fase distolik, tepat sebelum bunyi jantung I.

Bunyi murmur menandakan apakah murmur tersebut bersifat stenotik (bunyi siulan) atau insufisien (bunyi derik).

Derajat intensitas murmur (bising jantung) :

1. Derajat 1 : bising yang sangat lemah
2. Derajat 2 : bising yang lemah tetapi mudah terdengar
3. Derajat 3 : bising agak keras tetapi tidak disertai getaran bising
4. Derajat 4 : bising cukup keras dan disertai getaran bising
5. Derajat 5 : bising sangat keras yang tetap terdengar bila stetoskop ditempelkan sebagian saja pada dinding dada
6. Derajat 6 : bising paling keras dan tetap terdengar meskipun stetoskop diangkat dari dinding dada

2.4. Auskultasi (memeriksa dengar)

Menggunakan stetoskop untuk mendengarkan suara jantung pada lokasi tertentu, yaitu:

1. Suara Jantung Pertama (S1)

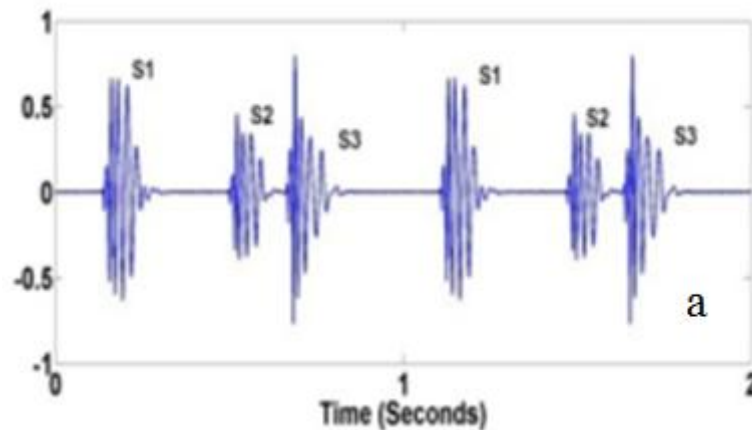
Mempergunakan stetoskop pada dada yaitu pada ruang inter kostal V sebelah kiri sternum di atas apeks jantung. Pada tempat ini S1 terdengar sangat jelas dengan intensitas yang maksimum (Coviello, 2010).

2. Suara Jantung Ke dua (S2)

Meletakkan stetoskop pada ruang interkostal II sebelah kanan sternum. Disini paling jelas terdengar S2. Pada daerah pulmonal (Pinggir kiri sternum bagian atas) normal dapat terdengar dua komponen S2 (suara kedua yang terpisah). Komponen I disebabkan oleh penutupan katup aorta sedangkan komponen II disebabkan oleh penutupan katup pulmonalis (Coviello,2010). Pemisahan (splitting) dari S2 ini menjadi lebih lebar (lebih jelas) pada inspirasi. Meletakkan stetoskop pada pinggir kiri sternum pada bagian atas dan mendengarkan apakah terjadi pemisahan S2 pada waktu inspirasi dalam.

3. Suara Jantung Ketiga (S3)

Suara ini umumnya terdengar pada orang muda, paling jelas pada apeks jantung. Sifatnya lemah dan terjadi kira-kira 0,08 detik sesudah S2. Suara ini disebabkan oleh osilasi pada dinding ventrikel akibat masuknya darah dari atrium dengan cepat (rapid filling). Meletakkan stetoskop pada apeks jantung (inter kostal V kiri) dan mendengarkan ada tidaknya S3 sesudah S2. Untuk memperjelas S3, dengan meninggikan tungkai orang coba atau meminta orang coba untuk melakukan kegiatan sebentar(Coviello,2010).

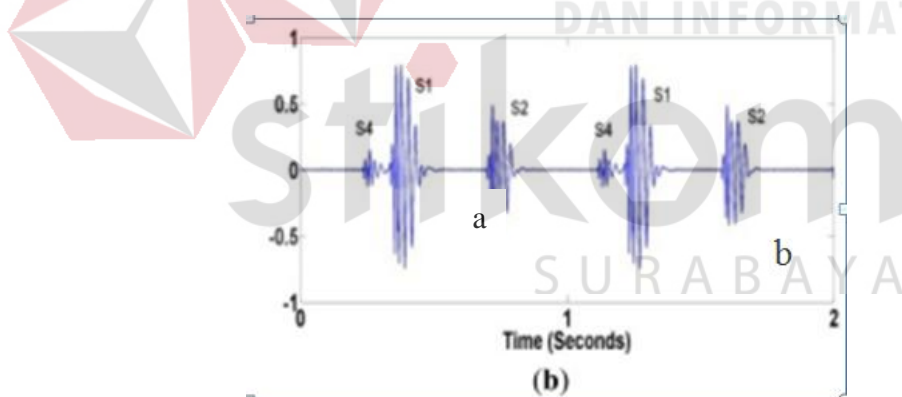


Gambar 2.2. Sinyal Suara Jantung S3 (Sa-ngasoongsong, 2012)

4. Suara Jantung Ke empat (S4)

Normalnya suara jantung s4 tidak terdengar dengan stetoskop kecuali pada keadaan patologis. Suara ini terjadi akibat kontraksi atrium yang menyebabkan darah masuk dengan cepat ke dalam ventrikel (Coviello, 2010).

Bila digambarkan dalam dalam sinyal akan menjadi seperti ini :



Gambar 2.3 Sinyal Suara Jantung S4 (Sa-ngasoongsong, 2012)

2.5 Kelainan pada Jantung

2.5.1. S1 Split

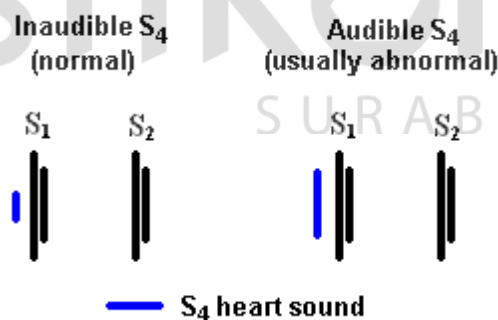
S1 disebabkan oleh penutupan katup *tricuspid* dan *mitral*. Pada umumnya proses menutupnya katup akan berjalan secara bersamaan sehingga hanya 1 suara S1 yang terdengar terutama di daerah *apex* atau daerah jantung bagian bawah. Dalam beberapa kasus S1 *Split* terdengar. S1 Split adalah kelainan jantung dimana

suara S1 terdengar 2 kali karena proses penutupan 2 katup mitral dan triscupid tidak terjadi secara bersamaan.

S1 *Split* pada umumnya bukan merupakan gangguan jantung. S1 *Split* dapat dikaitkan dengan kondisi patologi dari jantung yang disebut RBBB (*Right Bundle Branch Block*). RBBB menyebabkan impulse listrik dari otak menuju jantung tidak mencapai kedua katup jantung secara bersamaan, sehingga mengakibatkan perbedaan waktu membuka dan menutup kedua katup jantung. (Lome, 2010)

2.5.2. Suara S4

Suara S4 yang diketahui juga sebagai “*atrial gallop*”, terjadi sebelum S1 yaitu ketika kontraksi atrium yang memompa darah menuju ventrikel kiri. Bunyi S4 terjadi ketika ventrikel kiri tidak meregang dengan sempurna dan atrial berkontraksi memompa darah melalui katup kiri jantung dan menabrak dinding ventrikel kiri.

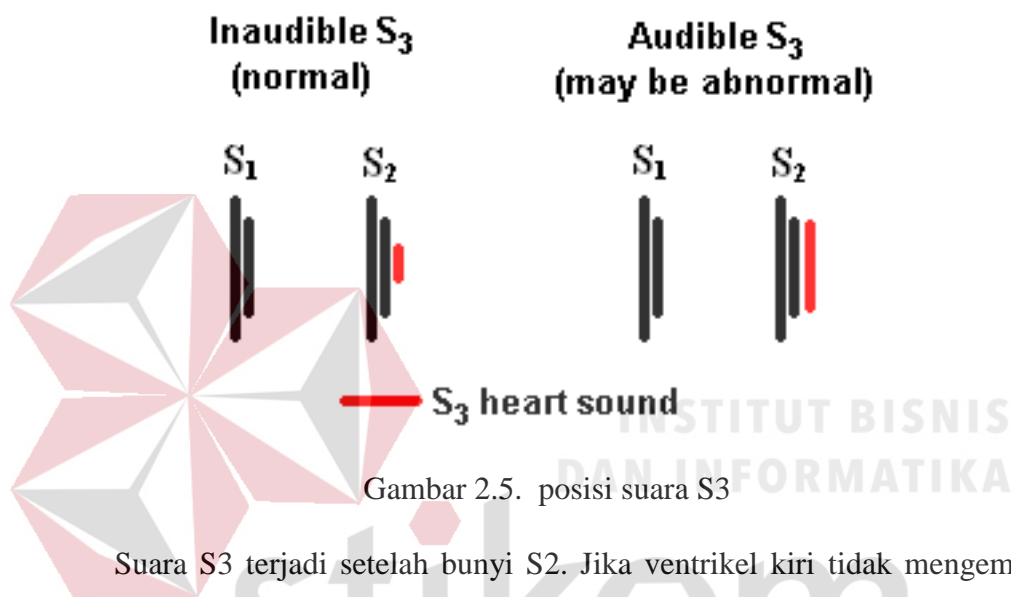


Gambar 2.4. posisi suara S4

Suara S4 jantung dapat menjadi tanda – tanda akan kegagalan diastolik pada jantung atau iskemia meskipun jarang ditemukan. Iskemia adalah penyakit dimana darah tidak tersalur dengan baik ke organ tubuh terutama otot jantung. (Lome, 2010)

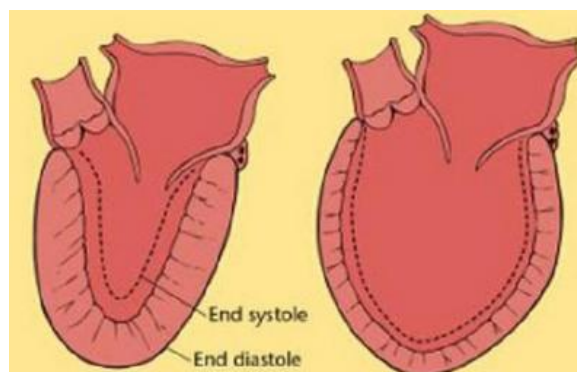
2.5.3. Suara S3

Suara S3 jantung yang diketahui juga sebagai “*ventricular gallop*”, terjadi setelah S2 ketika katup mitral terbuka agar darah mengalir ke ventrikel kiri. Suara S3 diproduksi oleh darah dengan jumlah banyak menabrak dinding ventrikel kiri yang meregang lebih besar dari biasanya.



Gambar 2.5. posisi suara S3

Suara S3 terjadi setelah bunyi S2. Jika ventrikel kiri tidak mengembang dengan besar (sebagian besar pada orang tua), S3 akan sulit terdeteksi. S3 normalnya ditemukan pada anak kecil, ibu hamil, dan atlet yang terlatih. S3 dapat menjadi tanda akan kelainan sistolik pada jantung, (Lome, 2010) contohnya dapat dilihat di gambar dibawah ini.

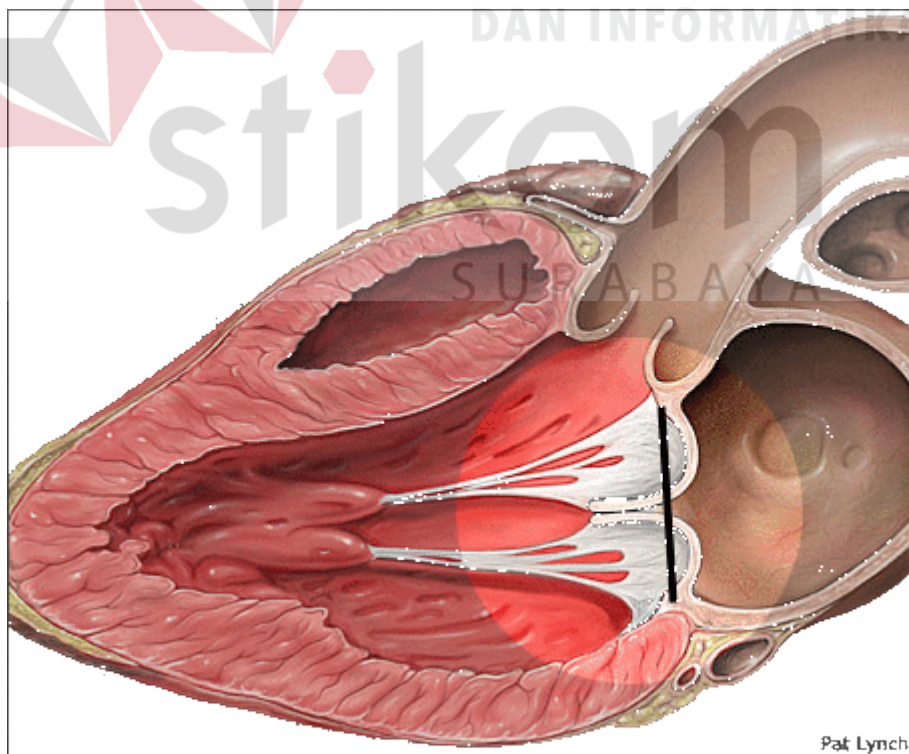


Gambar 2.6. Ventrikel jantung yang mengembang lebih besar dari normalnya

Gambar sebelah kiri adalah jantung dengan kondisi ventrikel normal, gambar sebelah kanan adalah jantung dengan kondisi ventrikel yang tidak normal. Garis putus – putus adalah batas minimal jantung berkontraksi atau menyempit.

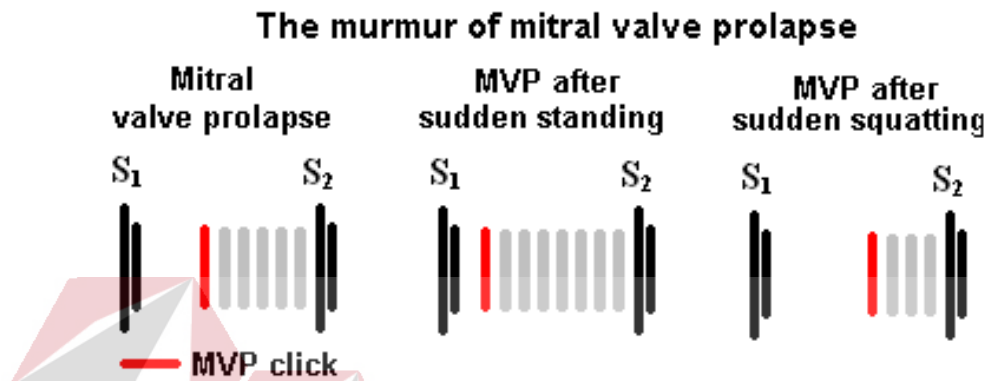
2.5.4. *Mitral Valve Prolapse*

MVP (Penyakit Barlow's) adalah kelainan pada jaringan tissue yang mengakibatkan memanjangnya lembar katup jantung yang dapat masuk ke atrium sehingga mengakibatkan bunyi tambahan. Bunyi pada kelainan MVP diawali dengan bunyi klik pada pertengahan proses sistol dan di ikuti bunyi murmur dengan nada yang tinggi. Bunyi murmur berasal dari *mitral regurtitation*. *mitral regurtitation* adalah kelainan jantung yang disebabkan adanya aliran darah yang terbalik yang berasal dari ventrikel kiri ke atrium kiri.



Gambar 2.7. Katup Jantung yang mengalami MVP (Lome, 2010)

Gambar 2.7 menunjukkan letak kelainan pada katup jantung. Pada area yang diberi lingkaran merah dapat dilihat katup jantung yang memiliki daun katup lebih panjang dari normalnya. Bunyi pada MVP dapat dilihat di gambar dibawah ini.

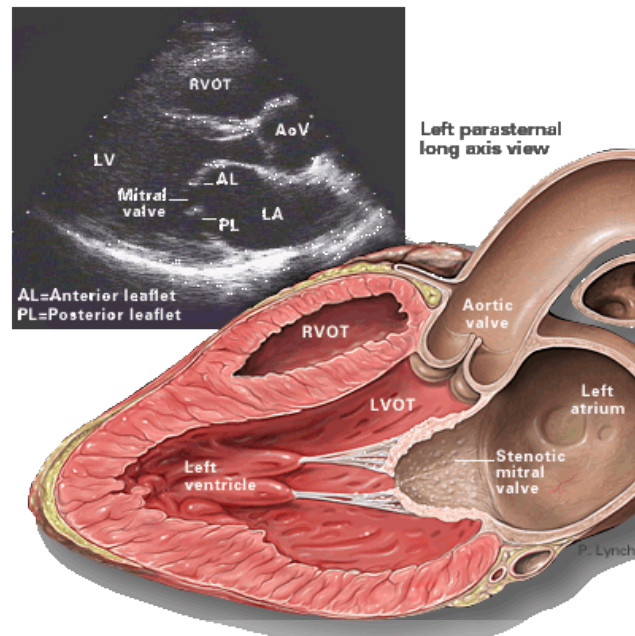


Gambar 2.8. Bunyi MVP (Lome, 2010)

Pada gambar 2.8 terlihat bunyi MVP terjadi setelah S1 dan sebelum S2. Bunyi MVP diawali dengan bunyi “klik” dan diikuti murmur yang ditandai dengan warna abu-abu pada gambar.

2.5.5. Mitral Stenosis

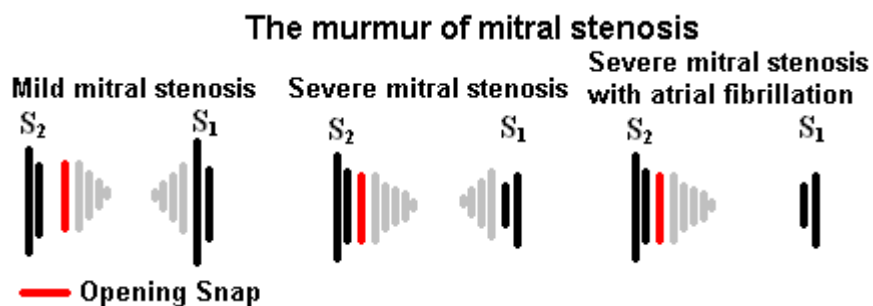
Mitral Stenosis adalah kelainan pada katup jantung. *Mitral Stenosis* diakibatkan oleh mengecilnya katup mitral sehingga tekanan di atrium kiri meningkat karena buka tutup katup yang kurang luas. Tekanan yang berlebih ini diteruskan ke pembuluh pulmonalis dan pembuluh vaskular.



Gambar 2.9. *Mitral Stenosis* (Lome, 2010)

Gambar 2.9. menunjukkan kelainan *Mitral Stenosis*. Kelainan berada katup antara atrium kiri dan ventrikel kiri. Tulisan “*stetonic mitral valve*” menunjukkan katup mitral yang membuka secara tidak normal.

Bunyi pada *Mitral Stenosis* dimulai setelah S2 yang diawali dengan bunyi “*snap*” yang kemudian mengecil dan berakhir di pertengahan proses diastol. Bunyi kedua dari *Mitral Stenosis* terjadi sebelum S1 dan membesar sampai bunyi S1 berbunyi. Bunyi Murmur terjadi karena aliran darah yang meningkat yang melewati katup mitral ketika kontraksi atrial.

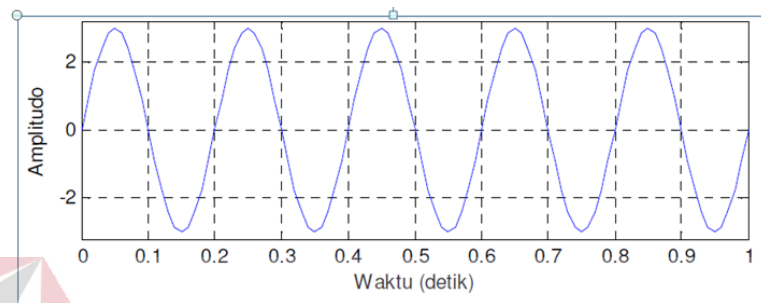


Gambar 2.10. Bunyi MVP (Lome, 2010)

2.6 Sinyal dalam domain waktu dan frekuensi

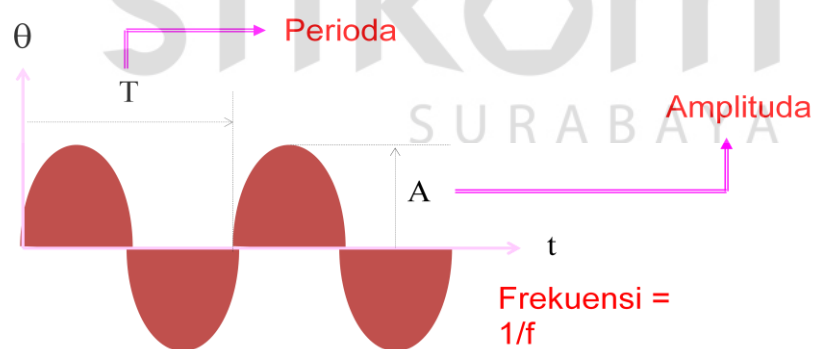
2.6.1 Sinyal dalam domain waktu

Sinyal dalam domain waktu adalah sinyal yang acuannya adalah waktu atau bila digambarkan di sebuah grafik maka sumbu X-nya adalah waktu. Contoh sinyal dalam domain waktu dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Sinyal Domain Waktu (Martadinata, 2012)

Pada gambar 2.11. terlihat sinyal dengan domain waktu yang ditandai dengan sumbu X yang menunjukkan waktu. Sinyal dengan domain waktu memiliki beberapa komponen yang dijelaskan digambar 2.12.



Gambar 2.12. Komponen Sinyal (Martadinata, 2012)

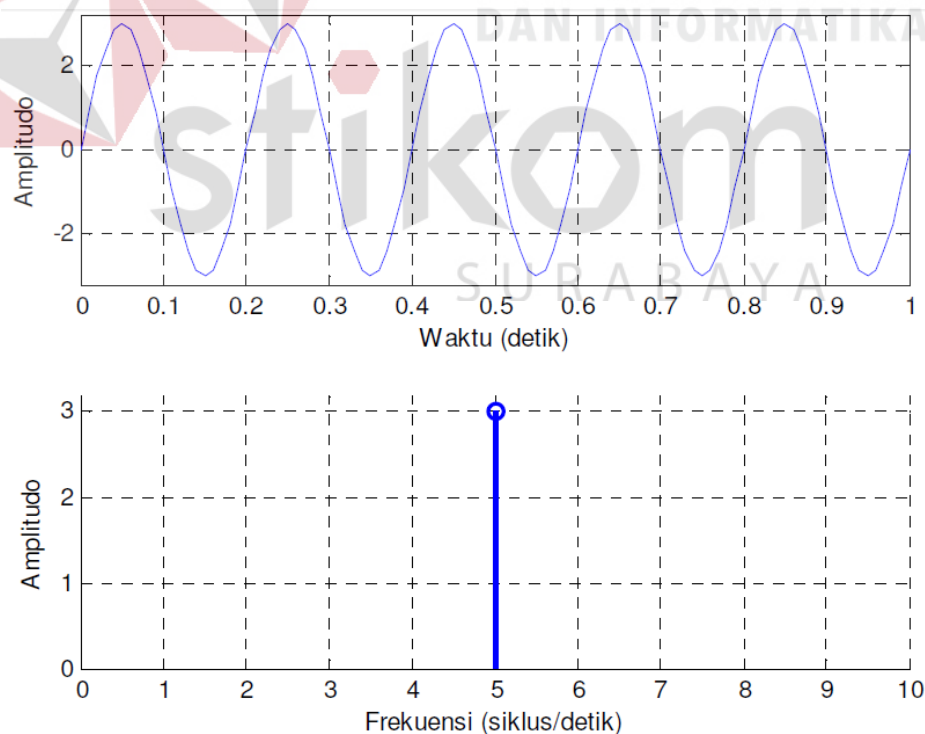
Pada domain waktu sinyal sinus memiliki beberapa komponen, antara lain :

1. Periode: Periode adalah waktu yang dibutuhkan sebuah sinyal untuk menyelesaikan 1 siklusnya.

2. Amplitudo: Amplitudo adalah simpangan gelombang. Dapat bernilai negatif dan positif
3. Frekuensi: Frekuensi adalah jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Contoh: Gelombang gambar 2.11. memiliki frekuensi sebesar 5 Hz karena dalam 1 detik terdapat 5 gelombang.

2.6.2 Sinyal dalam domain frekuensi

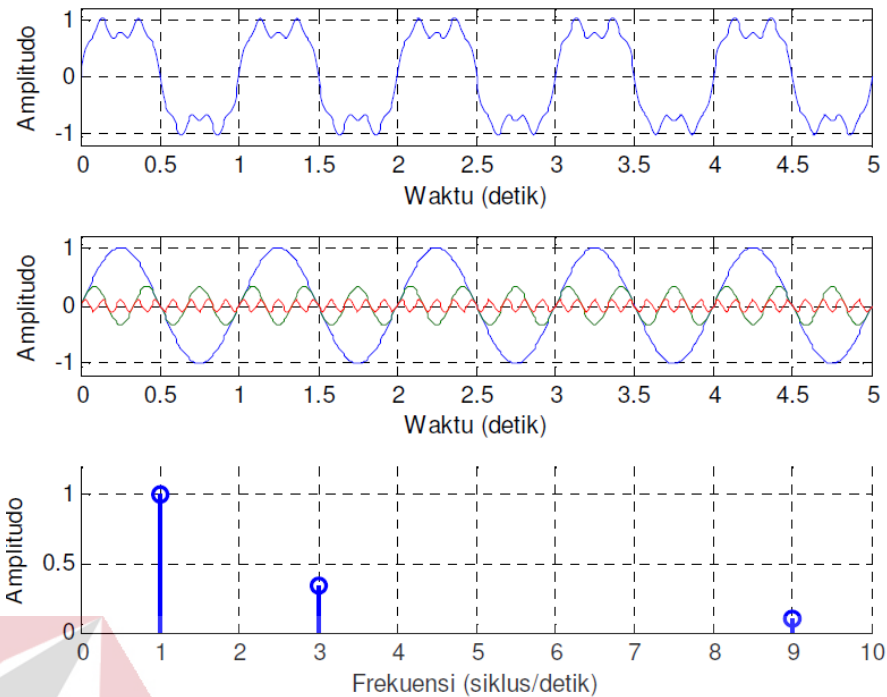
Sinyal dalam domain frekuensi adalah sinyal yang menggunakan acuan frekuensi. Sebagai contoh pada waktu kita berbicara tentang *bandwidth* dari suatu sinyal, *bandwidth* merupakan parameter yang diukur dengan menggunakan acuan frekuensi. Perlu diingat bahwa plot sinyal dalam domain frekuensi hanya memperhatikan amplitudo puncak dari suatu sinyal. Sebagai contoh sederhana perhatikan Gambar 2.13



Gambar 2.13. Representasi domain frekuensi dari gelombang sinus (Martadinata, 2012)

Gambar 2.13 bagian atas adalah representasi gelombang sinus dalam domain waktu. Gelombang tersebut memiliki frekuensi sebanyak 5 siklus per detik karena dalam waktu 1 detik terdapat 5 siklus gelombang sinus. Sedangkan amplitudo puncak dari gelombang tersebut adalah 3. Representasi dalam domain frekuensi ditunjukkan pada bagian bawah dari gambar. Terlihat bahwa sebuah tiang dengan amplitudo 3 berada pada frekuensi 5 siklus per detik. Itulah representasi domain frekuensi dari gelombang sinus tunggal.

Sekarang mari kita lihat sinyal analog komposit periodik seperti dalam Gambar 2.14. Representasi domain frekuensi dari sinyal tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.14 bagian bawah. Karena sinyal komposit terdiri atas 3 buah gelombang sinus dengan frekuensi masing-masing 1, 3 dan 9 siklus/detik, serta amplitudo masing-masing 1, $1/3$ dan $1/10$, maka representasi domain frekuensi dari sinyal-sinyal tersebut merupakan tiga buah tiang seperti dalam Gambar 2.14 bagian bawah. Dengan menggunakan domain frekuensi kita dapat melihat komponen-komponen yang menyusun sebuah sinyal dengan menggunakan acuan frekuensi.

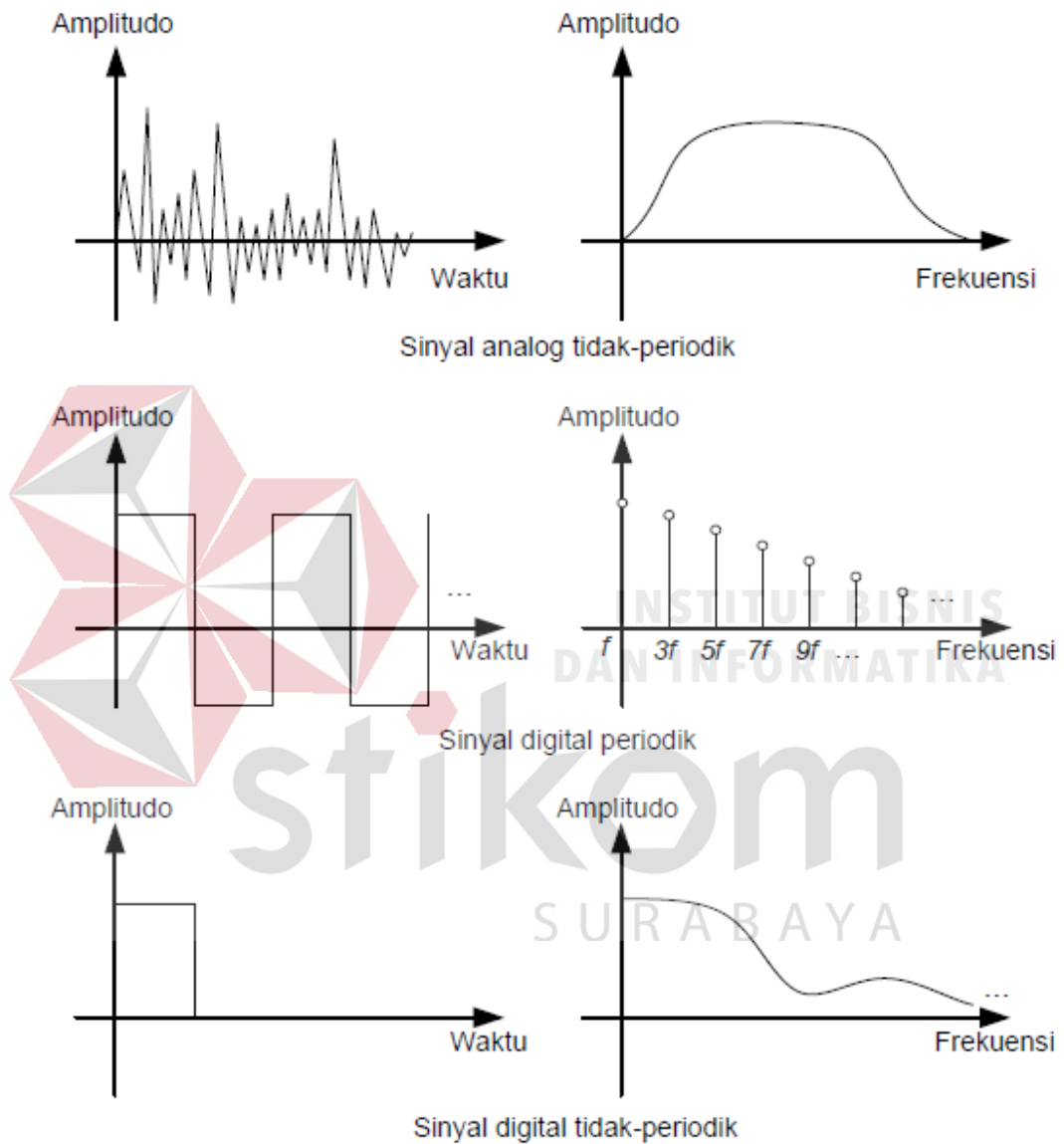


Gambar 2.14. Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit (Martadinata, 2012)

Sinyal pertama dengan frekuensi 1 siklus/detik disebut dengan harmonik pertama, sinyal kedua dengan frekuensi 3 siklus/detik disebut harmonik ketiga dan sinyal terakhir dengan frekuensi 9 siklus/detik disebut harmonik kesembilan. Secara umum dapat kita lihat beberapa prinsip penting sebagai berikut:

- Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit periodik adalah deretan sinyal dengan frekuensi diskrit. Seperti terlihat dalam Gambar 2.14.
- Representasi domain frekuensi dari sinyal analog komposit tidak-periodik adalah sinyal dengan frekuensi kontinyu. Seperti terlihat dalam Gambar 2.14.
- Representasi domain frekuensi dari sinyal digital periodik adalah deretan sinyal dengan frekuensi diskrit dan bandwidth tak terhingga. Seperti terlihat dalam Gambar 2.15.

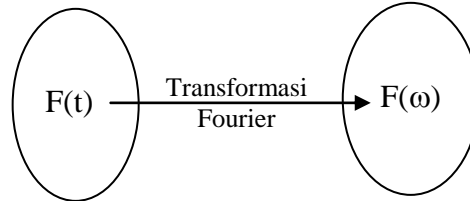
- Representasi domain frekuensi dari sinyal digital tidak-periodik adalah sinyal dengan frekuensi kontinu dan bandwidth tak terhingga. Seperti terlihat dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Representasi domain frekuensi dari sinyal (Martadinata, 2012)

2.7 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu model transformasi yang memindahkan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekwensi.



Gambar 2.16. Transformasi Fourier (Zulkaryanto, 2012)

Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekwensi (Nana, 2009). Di dalam pengolahan citra digital, transformasi fourier digunakan untuk mengubah domain spasial pada citra menjadi domain frekwensi. Analisa-analisa dalam domain frekwensi banyak digunakan seperti filtering. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal atau citra dapat dilihat sebagai suatu obyek dalam domain frekwensi.

2.7.1 Transformasi Fourier 1D

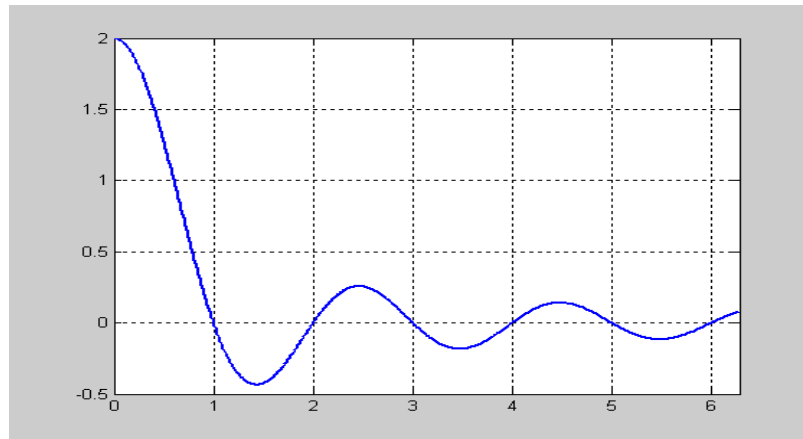
Transformasi Fourier kontinu 1D dari suatu fungsi waktu $f(t)$ (Nana, 2009) didefinisikan dengan persamaan 2.1.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

dimana $F(\omega)$ adalah fungsi dalam domain frekwensi (Hz)

ω adalah frekwensi radial $0 - 2\pi f$,

atau dapat dituliskan bahwa $\omega = 2\pi f$



Gambar 2.17. Contoh Hasil Transformasi Fourier 1D (Nana, 2009)

2.7.2 Transformasi Fourier 2D

Transformasi Fourier kontinu 2D dari suatu fungsi spasial $f(x,y)$ (Nana, 2009) didefinisikan dengan persamaan 2.2.

$$F(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy \quad (2.2)$$

dimana $F(\omega_1, \omega_2)$ adalah fungsi dalam domain frekwensi

$f(x,y)$ adalah fungsi spasial atau citra

ω_1 dan ω_2 adalah frekwensi radial $0 - 2\pi$.

Transformasi fourier yang digunakan dalam pengolahan citra digital adalah transformasi fourier 2D.

2.8 Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Sementara itu, IFFT adalah singkatan dari Inverse Fast Fourier Transform. Membahas mengenai FFT-IFFT tentunya tidak dapat dilepaskan dari DFT (*Discrete Fourier Transform*). DFT merupakan metode transformasi matematis

untuk sinyal waktu diskrit ke dalam domain frekuensi. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa DFT merupakan metode transformasi matematis sinyal waktu diskrit, sementara FFT adalah algoritma yang digunakan untuk melakukan transformasi tersebut (Zulkaryanto,2009).

Secara matematis, DFT dapat dirumuskan seperti ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n].W_N^{nk} \quad ; k = 0,1,2, \dots, N - 1 \quad (2.3)$$

dimana disebut sebagai *twiddle factor*, memiliki nilai , sehingga dapat ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n].e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad ; k = 0,1,2, \dots, N - 1 \quad (2.4)$$

Sementara itu, *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT) dapat dirumuskan sebagai berikut pada persamaan 2.5.

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k].W_N^{-nk} \quad ; n = 0,1,2, \dots, N - 1 \quad (2.5)$$

Sehingga persamaan IDFT dapat dituliskan juga sebagai berikut pada persamaan 2.6.

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k].e^{\frac{j2\pi nk}{N}} \quad ; n = 0,1,2, \dots, N - 1 \quad (2.6)$$

FFT dipergunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan dengan DFT. Sebagai perbandingan, bila menggunakan DFT, maka kompleksitas transformasi adalah sebesar $O(N^2)$, sementara dengan menggunakan FFT, selain waktu transformasi yang lebih cepat, kompleksitas transformasi pun

menurun, menjadi $O(N \log(N))$. Untuk jumlah sample yang sedikit mungkin perbedaan kompleksitas tidak begitu terlihat, namun bila jumlah sample yang sedikit lebih banyak maka akan terlihat kompleksitasnya. Misalnya hanya mengambil 2 sample, dengan menggunakan DFT, tingkat kompleksitas transformasi kita adalah 4, sementara dengan menggunakan FFT kompleksitasnya sebesar 0,602. Perbedaan yang semakin mencolok jika jumlah sample yang lebih banyak lagi, misalnya 64 titik sample, maka kompleksitas dengan menggunakan DFT adalah sebesar 4096, sementara dengan menggunakan FFT kompleksitasnya menjadi 115,6. Perbedaan yang sangat mencolok melihat perbandingan yang mencapai hampir 40 kali lipatnya. Kompleksitas transformasi ini terutama menjadi vital saat diimplementasikan pada perangkat riil.

