

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

Penelitian untuk mengetahui kualitas beton pada saat ini sudah banyak dilakukan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan, seperti pada penelitian Mawardi (2003) yaitu pengujian struktur beton menggunakan metode *hammer test* dan *load test*. Dalam penelitian Mawardi, metode yang digunakan menghasilkan data visual yang berupa retakan dan cacat pada permukaan beton setelah pengujian. Penelitian yang sama juga pernah dilakukan Andriawan (2014) menggunakan metode *hammer test* dan *test* ultrasonik untuk menguji kuat tekan beton. Andriawan menggunakan sampel beton berbentuk kubus dengan luas 225 cm^2 sebanyak 21 dengan perlakuan faktor air semen yang berbeda. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada sampel usia 14, 21 dan 28 hari. Fokus penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui nilai tekan sampel beton pada setiap metode. Berdasarkan hasil penelitiannya, diperoleh nilai tekan beton rata-rata 255 kg/cm^2 untuk metode *hammer test* dan $356,89 \text{ kg/cm}^2$ menggunakan metode tes ultrasonik.

Hammer test merupakan salah satu metode pengujian beton yang tidak merusak fisik dari beton karena dalam pelaksanaannya, beton yang akan diuji hanya diberikan sebuah tumbukan oleh benda lain yang kemudian dari tumbukan tersebut akan diperoleh sebuah data langsung mengenai seberapa baik kualitas

fisik dari sebuah beton. Sedangkan pada metode pembebanan (*load test*) pengujian kuat beton dilakukan secara langsung dengan cara memberikan beban kepada beton. Metode pengujian *load test* merupakan metode pengujian yang akan mengakibatkan kerusakan sebagian pada komponen-komponen dari sampel yang diuji. Tujuan pengujian dengan metode *load test* adalah untuk membuktikan bahwa tingkat keamanan suatu struktur atau bagian suatu struktur sudah memenuhi persyaratan peraturan bangunan yang ada dengan tujuan memberikan jaminan keselamatan umum.

B. Perbedaan Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kualitas beton menggunakan transformasi fourier berdasarkan spektrum akustiknya. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah jika pada penelitian sebelumnya menggunakan metode *hammer test* dan *load test* (Mawardi, 2004), kemudian menggunakan menggunakan *test ultrasonik* (Andriawan, 2014) untuk mengetahui kualitas beton, maka pada penelitian ini menggunakan perekaman suara dentuman beton yang kemudian dianalisis menggunakan transformasi fourier untuk mengetahui frekuensi bunyi yang merambat pada medium beton.

C. Teori Dasar

1. Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan

(*admixture additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan-bahan penyusun beton) perlu adanya pengetahuan mengenai karakteristik untuk masing-masing komponen penyusun beton. Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah kualitas semen, proporsi semen terhadap campuran, kekuatan dan kebersihan agregat, interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, perawatan beton dan kandungan klorida tidak lebih 0,15% (Mulyono, 2004).

Pada umumnya beton terdiri atas $\pm 15\%$ semen, $\pm 8\%$ air, $\pm 3\%$ udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya, perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi kualitas fisik beton (Sumekto dkk, 2001).

Nilai kuat tekan beton berbanding lurus dengan kuat tariknya. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Menurut perkiraan kasar, nilai kuat tarik berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya. Nilai pastinya sulit diukur. Pendekatan hitungan biasanya dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, yaitu gaya tarik beton yang muncul pada saat pengujian tekan beton normal (*normal concrete*). Kecilnya kuat tarik beton ini merupakan salah satu kelemahan dari beton yang muncul pada saat pengujian beton normal (*normal concrete*) (SKBI.I.4.53 1989:4).

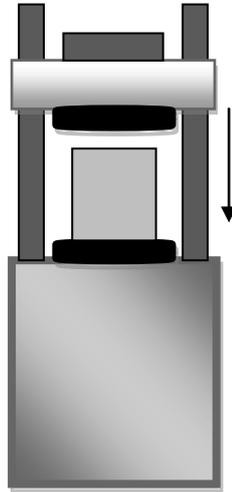
Beton memiliki berbagai keunggulan, selain bahan baku yang mudah didapatkan, beton memiliki volume dan daya tekan yang stabil sehingga dalam pembangunan gedung beton berfungsi sebagai pelindung struktur baja pada saat terjadinya kebakaran (Hidayat, 2009).

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan beragregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya yang ditambahkan bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran yang merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pengecoran, pelaksanaan finising, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya. Nilai kuat beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya (Dipohusodo dan Istamawan 1994).

a. Kekuatan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk dapat menerima gaya persatuan luas (Mulyono, 2004). Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder ataupun kubus pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan hingga mencapai beban maksimum. Beban maksimum didapat dari

pengujian dengan menggunakan alat *compression testing machine*. Gambar 2.1 merupakan gambaran pengujian tekan beton.



Gambar 2.1 Ilustrasi uji tekan beton

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, yaitu :

1) Faktor air semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran beton. Fungsi FAS yaitu:

- a) untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- b) memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*) Semakin tinggi nilai FAS, mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Namun nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. rentang Fas kualitas beton yang baik minimum 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2004).

2) Sifat agregat

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperhatikan seperti, serapan air, kadar agregat, berat jenis, gradasi agregat, modulus halus butir, kestabilan agregat, kekasaran dan kekerasan agregat.

3) Proporsi semen dan jenis semen

Perbandingan jumlah semen yang digunakan saat pembuatan *mix design* dan jenis semen yang digunakan berdasarkan peruntukkan beton yang akan dibuat. Penentuan jenis semen yang digunakan mengacu pada tempat dimana struktur bangunan yang menggunakan material beton tersebut dibuat, serta pada kebutuhan perencanaan apakah pada saat proses pengecoran membutuhkan kekuatan awal yang tinggi atau normal.

4) Bahan tambah

Bahan tambah (*additive*) ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah (*additive*) lebih banyak digunakan untuk penyemenan (*cementitious*), jadi digunakan untuk perbaikan kinerja. Menurut standar *ASTM C 494/C494M – 05a*, jenis bahan tambah kimia dibedakan menjadi tujuh tipe, yaitu:

- a) *water reducing admixtures*;
- b) *retarding admixtures*;
- c) *accelerating admixtures*;
- d) *water reducing and retarding admixtures*;
- e) *water reducing and accelerating admixtures*;
- f) *water reducing and high range admixtures*;

g) *water reducing, high range and retarding admixtures*;

b. Adukan Beton

Menurut Dipohusodo dan Istamawan (1994), Beton yang berasal dari pengadukan bahan-bahan penyusun agregat kasar dan agregat halus kemudian diikat dengan semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat dicapai mutu beton yang baik. Pada umumnya pengadukan bahan beton dilakukan menggunakan mesin pengaduk kecuali jika hanya untuk mendapatkan beton mutu rendah pengadukan dapat dilakukan tanpa menggunakan mesin pengaduk. Kekentalan adukan beton harus diawasi dan dikendalikan dengan cara memeriksa kemerosotan (*slump*) pada setiap adukan beton baru.

Nilai *slump* digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air dalam hubungannya dengan faktor air semen yang ingin dicapai. Lamanya pengadukan tergantung pada kapasitas isi mesin pengaduk, jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan penyusun, dan slump beton, pada umumnya tidak kurang dari 1,50 menit dimulai semenjak pengadukan, dan hasil menunjukkan susunan dan warna merata. Sesuai dengan tingkat mutu beton akan dihasilkan:

- a) keenceran dan kekentalan adukan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, perataan, pemadatan) dengan mudah kedalam adukan tanpa menimbulkan kemungkinan terjadinya segregation atau pemisahan agregat;
- b) ketahanan terhadap kondisi lingkungan khusus (kedap air, korosi, dan lain-lain);

- c) Memenuhi uji kuat yang hendak dipakai.

c. Kelas dan Mutu Beton

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton yang dibuat, Sehingga dalam penggunaannya dapat disesuaikan dengan konstruksi yang akan dibangun untuk mendapatkan hasil yang memuaskan sesuai kebutuhan. Menurut PBI' 71 beton dibagi dalam kelas dan mutu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kelas dan Mutu Beton

Kelas beton	Mutu Beton	Kekuatan tekan Minimum (MPa)	Tujuan Pemakaian Beton
I	B0	50-100	Non-Struktural
II	B1	100	Rumah Tangga
	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Perumahan dan Bendungan
III	K>225	>225	Jembatan, Bangunan Tinggi

Sumber: (Gunawan, 2000).

Untuk kepentingan pengendalian mutu disamping pertimbangan ekonomis, beton dengan mutu *Bo* (beton dengan kuat tekan 50-80 MPa), perbandingan jumlah agregat (pasir, kerikil atau batu pecah) terhadap jumlah semen tidak boleh melampaui 8:1. Untuk beton dengan mutu *B1* (beton dengan kuat tekan 100 MPa), dan *K125* (beton dengan kuat tekan minimum 125 MPa), dapat memakai perbandingan campuran unsur bahan beton dalam takaran volume 1 pc : 2 Ps : 3 kr atau 3/2 ps : 5/2 kr (*pc* = semen portland, *ps* = pasir, *kr* = kerikil). Apabila

hendak menentukan perbandingan antar-fraksi bahan beton mutu *K175* dan mutu lainnya yang lebih tinggi harus dilakukan percobaan campuran guna dapat menjamin tercapainya kekuatan karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan bahan-bahan susunan yang ditentukan.

Peraturan tentang standar beton selalu berubah, setelah PBI tahun 1991 kemudian peraturan tentang standart beton untuk bangunan gedung diperbarui dengan keluarnya SNI.03.2847.2002 dan kembali diperbarui dengan peraturan SNI.7394.2008. Dalam SNI.7394.2008 peraturan perencanaan pembuatan beton sudah ditetapkan untuk beberapa mutu beton seperti mutu beton 7,4 MPa ($w/c = 0,87$), 9,8 Mpa ($w/c = 0,78$), 12,2 MPa ($w/c = 0,72$), 14,5 Mpa ($w/c = 0,66$), 24 Mpa ($w/c = 0,53$) dan lain-lain. Dalam pekerjaan kontruksi, penggunaan standar perencanaan pembuatan beton didasarkan pada bangunan yang akan dibangun. Berikut ini adalah beberapa komposisi dalam perencanaan pembuatan beton berdasarkan SNI.7394.2008.

Tabel 2.2 Komposisi beton mutu 7,4 Mpa ($w/c = 0,87$)

	Kebutuhan	Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	247
	PB	Kg	869
	KR	Kg	999
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

Tabel 2.3 Komposisi beton mutu 9,8 Mpa ($w/c = 0,78$)

Kebutuhan		Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	276
	PB	Kg	828
	KR	Kg	1012
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

Tabel 2.4 Komposisi beton mutu 12,2 MPa ($w/c = 0,72$)

Kebutuhan		Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	299
	PB	Kg	799
	KR	Kg	1017
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

Tabel 2.5 Komposisi beton mutu 14,4 MPa ($w/c = 0,66$)

Kebutuhan		Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	326
	PB	Kg	760
	KR	Kg	1029
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

Tabel 2.6 Komposisi beton mutu 14,4 MPa (w/c = 0,66)

Kebutuhan		Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	326
	PB	Kg	760
	KR	Kg	1029
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

Tabel 2.7 Komposisi beton mutu 24 MPa (w/c = 0,53)

Kebutuhan		Satuan	Indeks
Bahan	PC	Kg	406
	PB	Kg	684
	KR	Kg	1026
	Air	Liter	215
Tenaga Kerja	Pekerja	OH	1,65
	Tukang Batu	OH	0,275
	Kepala Tukang	OH	0,028
	Mandor	OH	0,083

2. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat mesin kompresor (*Compressor Mechine*). Untuk menghitung kuat tekan beton digunakan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dengan:

- $f'c$ = Kuat tekan beton (Mpa) ;
- P = Beban Tekan (N) ;
- A = Luas bidang permukaan (cm²).

(Antono, 1995).

Gambar 2.2 merupakan alat kompresing untuk uji kualitas beton.



Gambar 2.2 Alat kompresing untuk menguji kekuatan beton.

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang disyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari kuat tekan seperti yang telah disyaratkan. Kriteria penerima beton tersebut harus pula sesuai dengan standar yang berlaku. Menurut standar nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi 0,82 Mpa untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi +0,82 Mpa untuk rata empat buah benda uji yang berpasangan. Jika tidak memenuhi, maka diuji mengikuti ketentuan selanjutnya

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton diantaranya adalah:

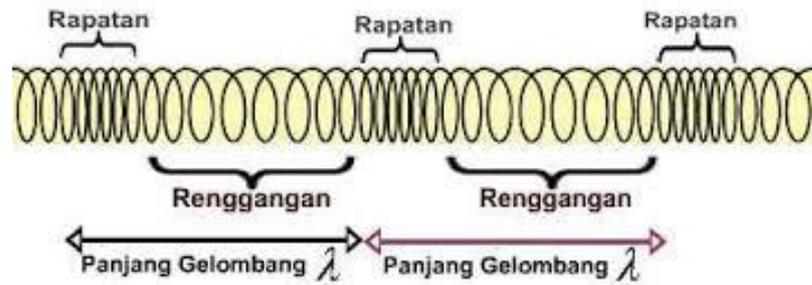
- a) proporsi bahan-bahan penyusunnya;
- b) metode perancangan;
- c) perawatan;
- d) keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Kekuatan tekan M_p ditentukan dengan silinder standar (berukuran 6 inci x 12 inci) yang dirawat dibawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan tertentu, pada umur 28 hari. Spesifikasi standar yang dipakai di Amerika Serikat biasanya diambil dari ASTM C-39. Perlu dipahami bahwa kekuatan beton struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

D. Gelombang Akustik

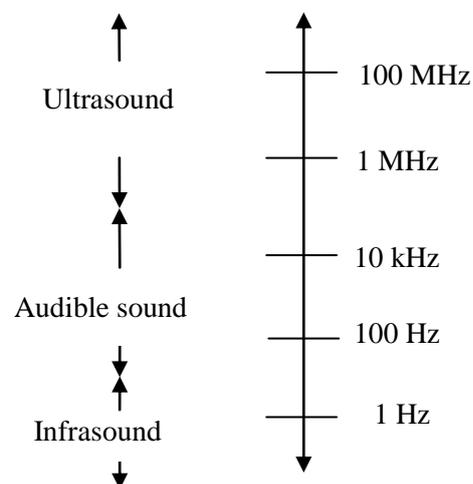
1. Pengertian Gelombang Akustik

Gelombang akustik adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal sehingga dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang akustik adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik (Sutrisno, 1988). Gelombang akustik merupakan getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday , 1992). Sedangkan menurut Gabriel (1998), Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang terjadi karena perapatan dan perenggangan dalam medium gas, cair dan padat. Gambar 2.3 merupakan gambar gelombang longitudinal.



Gambar 2.3 Gelombang longitudinal

Dalam sebuah medium, gelombang dihasilkan ketika sebuah benda bergetar dan menyebabkan gangguan kerapatan medium. Gangguan dijalarakan dalam medium melalui interaksi molekul-molekulnya. Gelombang ditimbulkan oleh sumber titik yang bergerak secara harmonik, apabila gelombang suara mencapai batas permukaan maka akan terjadi transmisi dan refleksi. Gelombang akustik dapat merambat dalam medium cair, padat dan medium gas hal ini karena gelombang akustik merupakan rambatan energi dari medium yang dilaluinya (Bueche, 1986). Gambar 2.4 menjelaskan pembagian frekuensi gelombang akustik.



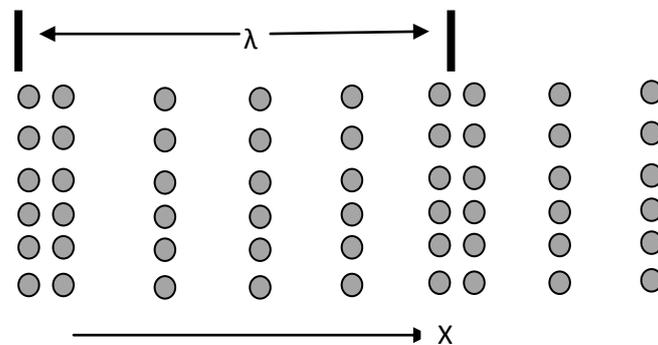
Gambar 2.4 Pembagian rentang frekuensi gelombang akustik

Berdasarkan Gambar 2.4 dapat diketahui bahwa gelombang akustik terbagi atas tiga macam yaitu infrasonik yang memiliki frekuensi di bawah 100 Hz, *audiblesound* yang memiliki frekuensi diatas infrasonik dengan frekuensi

maksimal sekitar 1 MHz dan gelombang ultrasound yang memiliki frekuensi di atas 100 MHz. Dari ketiga jenis gelombang ini, gelombang ultrasonik banyak dimanfaatkan untuk menguji kualitas produksi dalam industri.

Dalam sebuah medium, gelombang akustik merambat melalui partikel-partikel penyusun dari suatu zat. Semakin rapat partikel penyusun zat maka akan semakin cepat gelombang suara merambat. Di dalam medium padat, cepat rambat dari suatu gelombang dipengaruhi oleh sifat elastis dan masa jenis dari zat padat tersebut (Resnick dan Halliday , 1992).

Pada suatu medium, perambatan gelombang terjadi karena gerakan bolak-baik partikel yang melewati titik keseimbangan yang searah dengan arah rambat gelombang. Oleh karena itu gelombang suara lebih dikenal dengan gelombang longitudinal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.

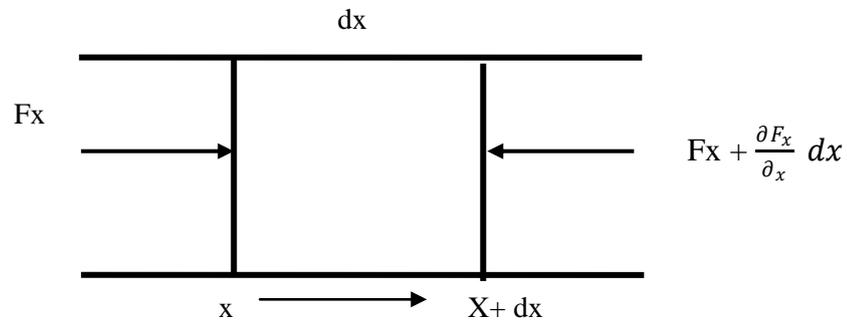


Gambar 2.5 Gelombang longitudinal

Gelombang akustik banyak dimanfaatkan untuk pengujian hasil produksi diantaranya adalah untuk mengetahui kualitas beton (Rosyidi, 2004). Karakteristik gelombang yang melewati suatu medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambatannya secara longitudinal sehingga

menyebabkan partikel medium membentuk regangan (*strain*) dan rapatan (*stress*). Proses kontinu yang menyebabkan rapatan dan renggangan dalam medium disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya (Halliday dan Resnick, 1992).

Dalam proses perambatan gelombang akustik, masing-masing partikel dengan panjang dx mengalami gaya yang bekerja pada permukaan seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gaya ketika gelombang suara merambat

Gaya pada gelombang suara yang merambat melalui suatu medium mematuhi hukum Newton II.

$$\sum F = ma \quad (2.2)$$

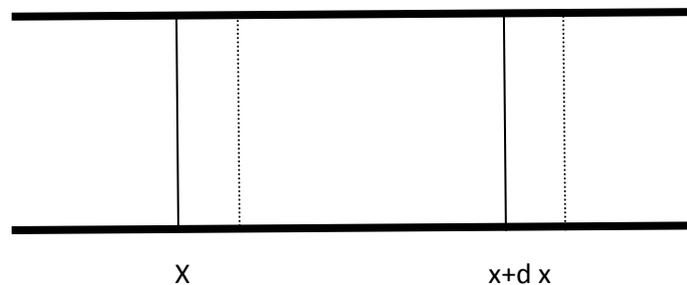
dengan m = massa dan a = percepatan.

jika sebuah palu dipukulkan ke permukaan suatu medium dengan gaya (F), maka di dalam medium akan menghasilkan gelombang yang merambat searah sumbu x dengan gaya sebesar F_x (Gambar 2.6). Gelombang yang merambat kemudian akan mengalami refleksi yang memiliki gaya sebesar $F_x + \frac{\partial F_x}{\partial x} dx$.

Sehingga besarnya gaya yang dihasilkan oleh perambatan gelombang pada sebuah medium dapat dicari dengan persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$dF_x = \left(F_x + \frac{\partial F_x}{\partial x} dx \right) - F_x = \frac{\partial F_x}{\partial x} dx \quad (2.3)$$

Selama gelombang suara merambat elemen gelombang akan berpindah searah sumbu x dengan nilai perpindahan sebesar $x+dx$. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses perpindahan elemen selama gelombang suara merambat

(Yatarif ,2008).

2. Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Frekuensi Benda Padat

Cepat rambat gelombang pada setiap benda memiliki nilai tidak sama, hal ini disebabkan karena partikel penyusun zat dari benda tersebut memiliki komposisi yang berbeda. Cepat rambat gelombang adalah kecepatan dimana puncak gelombang mengalami gerak. Kecepatan gelombang dibedakan dari kecepatan partikel pada medium benda. Cepat rambat gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$v = \lambda/T \quad (2.6)$$

Karena $T = \frac{1}{f}$, maka persamaan menjadi

$$v = \lambda f \quad (2.7)$$

Untuk benda padat, cepat rambat gelombang dapat dihitung menggunakan modulus Young sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2.8)$$

Dengan v = cepat rambat gelombang, Y = modulus Young dan ρ = massa jenis benda padat (Giancoli, 1998).

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.8 pada persamaan 2.7 dihasilkan persamaan 2.9 sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2.9)$$

E. Modulus Elastis Bahan

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada suatu bahan. Tegangan terjadi akibat adanya gaya yang bekerja pada suatu luasan bahan. Besarnya tegangan dituliskan pada persamaan 2.10.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

dengan F adalah gaya (N) yang diberikan dan A adalah luas permukaan bahan yang dikenai gaya (m^2). Sedangkan regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal bahan. Besarnya regangan pada bahan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.11)$$

dengan ΔL penambahan panjang bahan (m) dan L_0 panjang awal bahan (m). Berdasarkan persamaan 2.10 dan 2.11 maka nilai Modulus elastisitas bahan adalah.

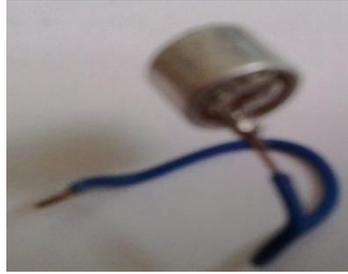
$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.12)$$

dimana σ adalah tegangan aksial searah sumbu benda uji, ε adalah regangan aksial dan Y adalah modulus elastisitas bahan atau biasa disebut modulus Young. Modulus elastisitas menentukan ukuran kekakuan suatu bahan. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi, sehingga nilai regangan pada bahan semakin kecil atau semakin kaku.

(Zemansky, 1994).

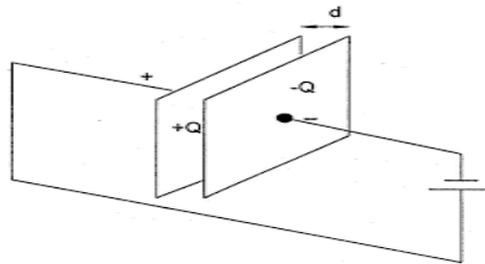
F. Transduser Mikrofone

Mikrofone merupakan suatu jenis transduser yang berfungsi mengubah energi-energi akustik (gelombang suara) menjadi sinyal listrik. Salah satu jenis mikrofone yang sering digunakan untuk merekam suara adalah mikrofone jenis kondensor. Mikrofone kondensor memiliki sensitivitas yang baik terhadap gelombang suara. Mikrofone jenis kondensor merupakan transduser elektromekanis yang mengubah perubahan-perubahan dalam tekanan udara menjadi perubahan-perubahan yang sesuai dalam sinyal listrik. Gambar 2.8 merupakan gambar dari mikrofone jenis kondensor.



Gambar 2.8 Kondensor

Pada mikrofon jenis kondensor terdapat kapasitor yang terdiri dari dua keping plat yang memiliki tegangan. Kondensor bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi kapasitor plat sejajar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kapasitor plat sejajar

Dari Gambar 2.9 kita ketahui terdapat dua buah plat kapasitor yang memiliki muatan yang berbeda-beda yaitu muatan positif (+) dan muatan negatif (-) yang terpisah sejauh d . Perbedaan muatan pada suatu titik tertentu menyebabkan terjadinya perubahan medan listrik sebanding dengan perubahan jarak yang memisahkan kedua plat. Secara matematis terjadinya medan listrik dituliskan pada persamaan 2.13.

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.13)$$

Selain terjadinya perubahan medan listrik, perubahan jarak pada kedua plat akan menghasilkan perubahan beda potensial dan perubahan nilai kapasitansi kapasitor

yang sebanding dengan perubahan jarak kedua plat. Perubahan kapasitansi pada kapasitor dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.14.

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.14)$$

Dari persamaan 2.14 perubahan kapasitansi dari kapasitor di pengaruhi oleh luas plat, jenis dielektrik dan jarak antara kedua plat. Ketika sebuah kapasitor mendapatkan sebuah inputan yang berupa sinyal suara, maka nilai kapasitansinya berubah seiring perubahan jarak antara plat sehingga akan mempengaruhi nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh kapasitor. Hubungan perubahan nilai kapasitansi dengan tegangan keluaran dituliskan pada persamaan 2.15.

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.15)$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.14 ke persamaan 2.15 diperoleh persamaan tegangan mikrofon seperti pada persamaan 2.16.

$$V = \frac{Q}{A\epsilon_0} d \quad (2.16)$$

dengan:

C = kapitanasi kapasitor; d = jarak antara kedua pelat;

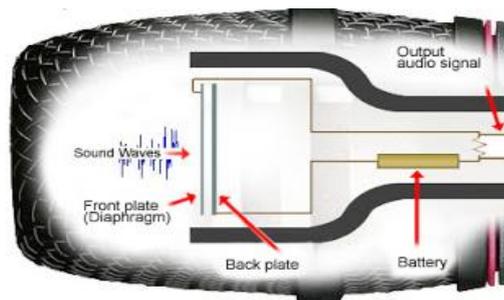
ϵ_0 = permitifitas ruang hampa; Q = jumlah muatan;

A = luas penampang; V = beda potensial.

(Cahyono dkk, 2008).

Pada mikrofone kapasitor, terjadi peristiwa pengisian dan pelucutan kapasitor. Salah satu plat pada kapasitor terbuat dari bahan mengkilap yang merupakan

diafragma mikrofon. Salah satu plat mikrofon difungsikan sebagai membran dan plat yang satunya dibuat tetap. Diafragma akan bergetar jika ada gelombang suara yang mengenainya, suara yang masuk akan merubah jarak antara dua plat yang akan mengakibatkan terjadinya perubahan kapasitansi, jadi disaat plat bergetar maka hal yang terjadi adalah mula-mula plat akan berdekatan yang mengakibatkan kapasitas akan meningkat dan tegangan berkurang seiring peningkatan kapasitas pada plat, kemudian sebaliknya plat akan menjauh yang mengakibatkan kapasitasnya menurun yang mengakibatkan peningkatan nilai tegangan . Gambar 2.10 merupakan gambaran cara kerja mikrofon.

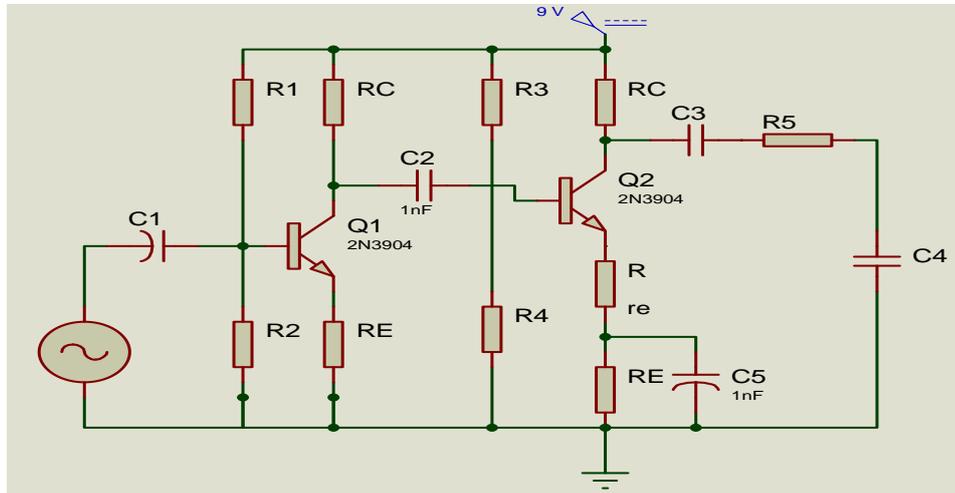


Gambar 2.10 Prinsip kerja Mikrofone (Ronald, 2014)

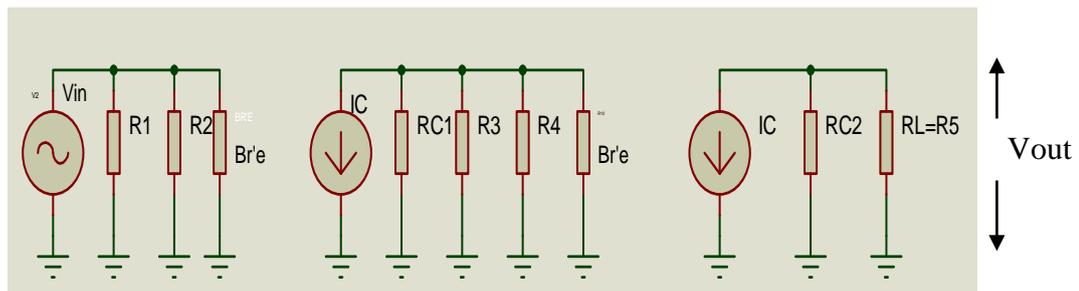
G. Penguat Transistor Dua Tingkat

Rangkaian penguat digunakan untuk menghasilkan bati tegangan yang lebih besar. Untuk menghasilkan bati tegangan yang lebih besar, rangkaian penguat dibuat bertingkat (*cascade*) dua atau lebih penguat. Pada penguatan bertingkat keluaran pertama digunakan sebagai masukan ke tingkat kedua. Selanjutnya keluaran kedua dapat digunakan sebagai masukan ke tingkat selanjutnya

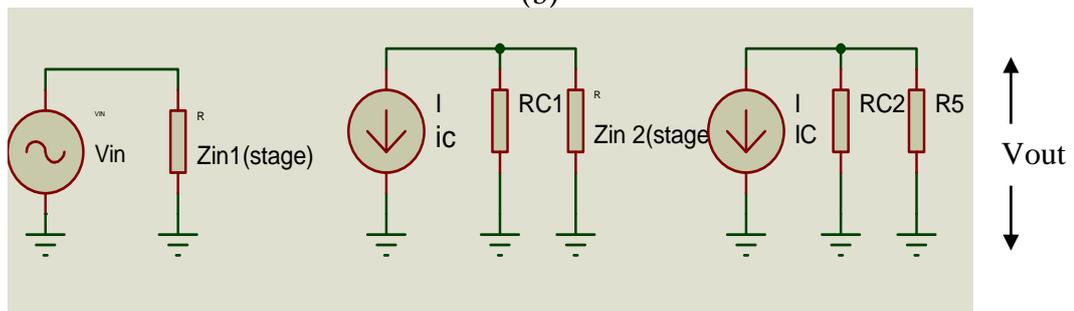
(Malvino, 2003). Gambar 2.11 merupakan rangkaian penguat transistor bias pembagi tegangan dua tingkat (a) dan rangkaian ekivalen AC.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.11 Rangkaian penguat transistor bias pembagi tegangan dua tingkat (a), rangkaian ekivalen AC (b dan c)

Pada Gambar 2.11 (c) tegangan masukan basis pada rangkaian penguat tingkat pertama dapat dihitung dengan persamaan 2.17.

$$V_b = i_b \cdot Z_{in1} stage \quad (2.17)$$

V_{in} adalah tegangan masukan pada mikrofon dengan R_G sebagai hambatan mikrofon. Besarnya impedansi masukan ($Z_{in} (stage)$) pada tingkat pertama dihitung dengan persamaan berikut.

$$Z_{in1} (stage) = R_1 // R_2 // \beta r'_e \quad (2.18)$$

r'_e adalah hambatan emitor pada mode AC untuk penguat pertama besarnya dapat dihitung dengan persamaan 2.19

$$r'_e = \frac{V_{be}}{i_e} \quad (2.19)$$

V_{be} merupakan tegangan basis emitor dengan nilai pendekatan sebesar 25 mV sedangkan i_e adalah arus emitor pada mode AC. Besar penguatan tegangan pada transistor tingkat pertama dapat dihitung menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut.

$$Av_1 = \frac{r_{c1}}{r'_e} \quad (2.20)$$

Dengan $r_{c1} = R_c // Z_{in1} stage$

Tegangan yang keluar dari rangkaian penguat tingkat pertama menjadi masukan tegangan pada penguat tingkat kedua. Tegangan AC yang masuk ke kaki basis 2 (V_{b2}) dapat dihitung dengan persamaan 2.21 sebagai berikut.

$$V_{b2} = i_{b2} \cdot R_c // Z_{in2} stage \quad (2.21)$$

Besarnya impedansi masukan ($Z_{in} (stage)$) pada tingkat kedua dihitung dengan persamaan berikut.

$$Z_{in2} (stage) = R_{c1} // R_3 // R_{42} // \beta r_{e2} \quad (2.22)$$

Besar penguatan tegangan pada transistor tingkat kedua (A_2) dapat dihitung dengan persamaan 2.23.

$$Av_2 = \frac{r_{c2}}{r'_e} \quad (2.23)$$

dengan $r_{c2} = Rc // R_L$

setelah diperoleh Av_1 dan Av_2 , total penguatan tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Malvino, 2003).

$$Av_{out} = Av_1 \cdot Av_2 \quad (2.24)$$

Dari persamaan 2.23 diatas kita dapat memperoleh V_{out} menggunakan persamaan 2.24.

$$V_{out} = Av \cdot V_{in} \quad (2.25)$$

H. Akuisisi Data dengan *Sound Card*

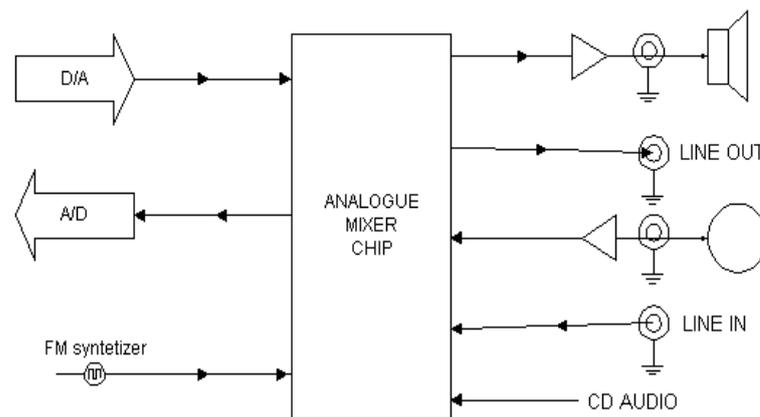
Akuisisi data merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang diinginkan. Jenis serta metode yang dipilih pada umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses. Suatu sistem akuisisi data pada umumnya dibentuk sedemikian rupa sehingga sistem tersebut berfungsi dengan baik dalam proses mengambil, mengumpulkan dan menyimpan suatu data ke dalam bentuk yang siap untuk dilakukan proses selanjutnya (Ariyus dan Andri, 2008).

Dalam akuisisi data terdapat dua *mode* yaitu *mode sinkron* dan *mode asinkron*. Akuisisi sinkron merupakan akuisisi data yang dalam pengiriman dan penerimaan

data terjadi dalam waktu yang serentak sehingga dalam akuisisi *sinkron* sebelum adanya pengiriman data dilakukan sinkronisasi antara pengirim dan penerima. Akuisisi *asinkron* merupakan akuisisi data yang dalam pengiriman dan penerimaan datanya tidak harus terjadi pada waktu yang serentak.

Untuk membangun sebuah sistem akuisisi data digunakan beberapa alat yang salah satunya adalah *sound card*. *Sound card* merupakan perangkat keras komputer yang berfungsi untuk mengolah data berupa audio atau suara. *Sound Card* memiliki empat fungsi utama, yaitu sebagai *synthesizer*, sebagai MIDI *interface*, pengonversi data analog ke digital (misalnya merekam suara dari mikrofon) dan pengkonversi data digital menjadi analog (misalnya saat memproduksi suara dari speaker). *Sound card* biasanya terdapat pada komputer-komputer yang bercirikan multimedia. Penelitian yang menggunakan *sound card* sebagai akuisisi data telah banyak dilakukan diantaranya penghitung denyut jantung manusia (Somawirata dan Subagio, 2011), getaran jembatan (Khotimah, 2004), dan *Electrokardiogram* (EKG) yang dilengkapi jaringan saraf tiruan (Setiawan., dkk 2011).

Komponen utama dari sebuah *sound card* adalah *Analog Digital Converter* (ADC) dan *Digital Anaog Converter* (DAC) yang berfungsi sebagai pengonversi sinyal analog menjadi digital dan sinyal digital menjadi sinyal analog. Gambar 2.12 menjelaskan fungsi kerja dari *sound card*.



Gambar 2.12 Blok diagram *sound card* (Engdahl, 2009)

Gambar 2.12 memberikan informasi bahwa masukan dari *sound card* berupa sinyal suara yang dihasilkan mikrofone melalui jalur masukan (input). Sinyal suara yang dihasilkan oleh mikrofone akan memasuki mixer chip yang memiliki fungsi untuk mengatur sinyal masukan analog yang kemudian diubah menjadi sinyal digital. Selanjutnya sinyal akan diolah lebih lanjut melalui proses *Digital Signal Processing* (DSP) di dalam Personal Computer (PC).

I. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu model transformasi yang mengubah domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk mengubah domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Di dalam pengolahan citra digital, transformasi fourier digunakan untuk mengubah domain spasial pada citra menjadi domain frekuensi. Analisa-analisa dalam domain frekuensi banyak digunakan seperti *filtering*. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal atau citra dapat dilihat sebagai suatu objek dalam domain frekuensi.

Transformasi Fourier didefinisikan dengan persamaan 2.26 sebagai berikut

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(2\pi ft) dt \end{aligned} \quad (2.26)$$

dengan:

$x(t)$ = fungsi atau sinyal dalam domain waktu;

$e^{-i2\pi ft}$ = fungsi kernel;

$X(f)$ = fungsi dalam domain frekuensi dan;

f = frekuensi.

fungsi dari persamaan (2.26) digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Dengan keterbatasan eksekusi komputer, maka persamaan (2.26), khususnya pada bagian real, didekati dengan

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt &\rightarrow \sum_n x(n\Delta t) \cos(2\pi f n \Delta t) \Delta t \\ &= \sum_n x(n\Delta t) \cos(2\pi n m \Delta t \Delta f) \Delta t \\ &= \sum_n x(n\Delta t) \cos\left(2\pi \frac{nm}{N}\right) \Delta t \end{aligned} \quad (2.27)$$

dimana m dan n adalah bilangan bulat.

Domain waktu periode suatu sinyal dinyatakan sebagai $T = N\Delta t$, sedangkan pada domain frekuensi $\Delta f = \frac{f_s}{N}$ dengan Δf menyatakan interval antar frekuensi dan $f_s = \frac{1}{\Delta t} = N\Delta f$. Dengan demikian, dalam persamaan (2.27) $\Delta t \Delta f = \frac{1}{N}$, yang merupakan penghubung antara domain waktu dengan domain frekuensi. Bila jumlah data lebih kecil dari f_s maka frekuensi yang dihasilkan tidak presisi. Disisi

lain f_s haruslah $\geq f_{maksimum}$ untuk menghindari *aliasing* frekuensi di dekat frekuensi yang dicari. Aliasing merupakan fenomena munculnya frekuensi yang sama dari hasil transformasi yang mana kita tidak bisa membedakan antara frekuensi yang asli dengan frekuensi bayangan.

Pada umumnya, transformasi Fourier menggunakan alat yang disebut *real-time spectrum analyzer* yang telah terintegrasi dalam bentuk chip untuk menghitung sinyal diskret dalam domain waktu yang berasal dari *microphone*. Untuk dapat menganalisis spektrum frekuensi, di dalam prosessor DSP disusun program *Discrete Fourier Transform* (DFT) (Schuler, 2003: 477).

1. Transformasi Fourier Diskrit (DFT)

Discrete Fourier Transform (DFT) adalah deretan yang terdefinisi pada kawasan frekuensi–diskrit yang merepresentasikan *Transformasi Fourier* terhadap suatu deretan terhingga (*Finite Duration Sequence*). DFT berperan penting untuk implementasi algoritma suatu varitas pengolahan sinyal, karena efisien untuk komputasi berbagai aplikasi (Pratiwi dkk, 2012). DFT merupakan cara mengubah suatu fungsi atau sinyal dari kawasan (*domain*) waktu ke kawasan frekuensi. Dalam pemrosesannya, sinyal diskrit dapat direpresentasikan ke dalam bentuk fungsi, grafik, tabel, *delay unit sample* dan transformasi Z. Selain itu, sinyal diskrit dapat digunakan dengan menggunakan metode lain yaitu *diskrit fourier transform* (DFT). Dalam pengolahan sinyal digital, *discrete fourier transform* (DFT) digunakan untuk mengubah data diskrit dari daerah waktu (*time domain*) menjadi daerah frekuensi (*frekuensi domain*). Sinyal diskrit dihasilkan dari sinyal analog yang didefinisikan seperti pada persamaan (2.28).

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.28)$$

dengan:

$X(f)$ = sinyal kawasan frekuensi;

$x(t)$ = sinyal kawasan waktu.

Kemudian fungsi waktu kontinyu $x(t)$ diubah menjadi fungsi diskrit $x(n)$ (TF menjadi DFT), maka persamaan 2.28 fungsi kawasan frekuensi dimana t (waktu) diubah menjadi n (diskrit) dan $x(t)$ dirubah ke $x(n)$,

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\omega n} \quad (2.29)$$

Untuk $x(n)$ berhingga N ($n=0 \dots\dots N-1$), maka:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi fn} \quad (2.30)$$

2. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu algoritma transformasi Fourier yang dikembangkan dari algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT). Dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT), kecepatan komputasi dari perhitungan transformasi Fourier dapat ditingkatkan. Pada *Discrete Fourier Transform* (DFT) proses komputasi memerlukan *looping* sehingga banyak memerlukan memori. Dengan menerapkan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) perhitungan *Discrete Fourier Transform* (DFT) dapat dipersingkat dengan cara mereduksi proses *looping*. Ada dua macam metode *Fast Fourier Transform* (FFT) yaitu *Decimation In time* (DIT) dan metode *Decimation In Frekuensi* (DIF) yang memiliki fungsi yang sama yaitu untuk mentransformasi sinyal menjadi frekuensi dasarnya.

a. FFT Decimation In Time

Fast Fourier Transform (FFT) diperoleh dengan modifikasi *Discrete Fourier Transform* (DFT), perubahan yang dilakukan adalah dengan cara mengelompokkan batas n ganjil dan n genap sehingga N point DFT menjadi $(N/2)$ point. Persamaan 2.31 merupakan *FFT Decimation In Time*.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.31)$$

Kemudian membagi persamaan 2.31 menjadi dua bagian sehingga diperoleh persamaan seperti pada persamaan 2.32.

$$X(k) = \sum_{\substack{n=2r \\ n \text{ genap}}}^{N-2} x(n) W_N^{kn} + \sum_{\substack{n=2r+1 \\ n \text{ ganjil}}}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad (2.32)$$

dengan memasukan nilai n genap dengan $2r$ dan untuk n ganjil $2r+1$ diperoleh persamaan seperti pada persamaan 2.33

$$X(k) = \sum_{r=0}^{N/2-1} x(2r) W_N^{2rk} + \sum_{r=0}^{N/2-1} x(2r+1) W_N^{(2r+1)k} \quad (2.33)$$

dengan

$$W_N^{2rk} = \left(W_N^2\right)^{rk} = \left(e^{\frac{-i2\pi}{N}}\right)^{2rk} = \left(e^{\frac{-i2\pi}{N/2}}\right)^{rk} = W_{N/2}^{rk}$$

$$W_{N/2}^{m+N/2} = W_{N/2}^m W_{N/2}^{N/2} = W_{N/2}^m$$

dengan $W^m = e^{-2\pi i} = \cos(-2\pi) + i \sin(-2\pi) = 1$

Sehingga

$$X(k) = \sum_{r=0}^{N/2-1} x(2r) W_{N/2}^{rk} + W_N^k \sum_{r=0}^{N/2-1} x(2r+1) W_{N/2}^{rk} \quad (2.34)$$

(Tanudjaja, 2007).

dengan:

$G(k)$ = DFT $N/2$ titik data dengan indek genap;

$H(k)$ = DFT $N/2$ titik data dengan indek ganjil.

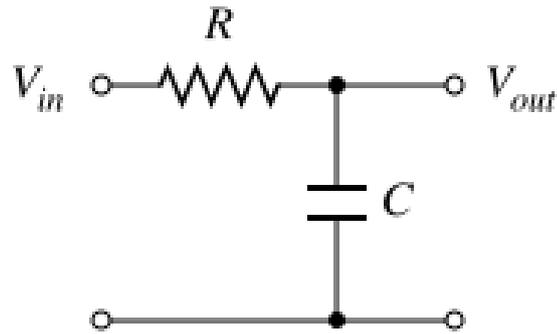
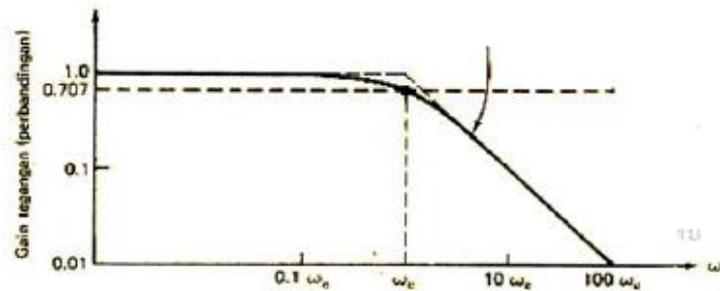
Persamaan 2.35 dapat dituliskan

$$X(k) = G(k) + W_N^k H(k) \quad (2.35)$$

J. Low Pass Filter

Filter adalah suatu rangkaian yang dirancang untuk melewatkan suara pita frekuensi tertentu seraya memperlemah semua isyarat di luar pita ini. Jaringan-jaringan pada *filter* bisa bersifat aktif maupun pasif. Jaringan-jaringan yang pasif hanya berisi tahanan, induktor dan kapasitor saja, sedangkan jaringan-jaringan pada *filter* yang aktif, menggunakan transistor atau penguat operasional ditambah dengan tahanan, induktor dan kapasitor. Induktor jarang sekali digunakan dalam filter-filter aktif, sebab ukurannya sangat besar dan harganya relatif mahal dan bisa memiliki komponen-komponen bertahanan dalam besar (Coughlin, 1983).

Lowpass filter merupakan jenis filter yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cutt-off* (f_c) dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi lebih tinggi dari *cutt-off* (f_c). *Lowpass filter* RC merupakan jenis filter analog dengan respon frekuensi yang ditentukan oleh konfigurasi resistor (R) dan kapasitor (C). Rangkaian dan grafik respon keluaran *lowpass filter* dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan 2.14.

Gambar 2.13 Rangkaian *low pass filter*Gambar 2.14 Grafik respon keluaran *low pass filter* (Coughlin, 1983).

Besarnya frekuensi *cut-off* dari rangkaian *lowpass filter* dapat ditentukan dengan persamaan 2.36.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.36)$$

Rangkaian filter pasif LPF RC pada Gambar 2.13 terlihat seperti pembagi tegangan menggunakan R. Dimana pada filter LPF RC ini tegangan *output* diambil pada titik pertemuan RC. Tegangan output (V_{out}) filter pasif LPF seperti terlihat pada rangkaian di atas dapat diekspresikan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1+J\omega RC}. \quad (2.37)$$

Besarnya penguatan tegangan (G) pada filter pasif yang ideal maksimum adalah 1 = 0 dB yang hanya terjadi pada frekuensi sinyal input dibawah frekuensi cut-off

(fc). Penguatan tegangan (G) *filter* LPF RC pasif dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut (Wijaya, 2014)

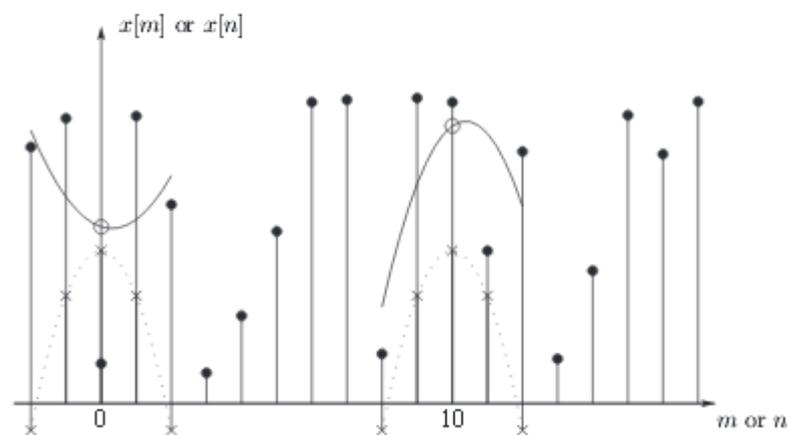
$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2.38)$$

Dalam satuan desible, penguatan tegangan dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.39)

$$G = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2.39)$$

K. Filter Savitzky Golay

Savitzky-Golay (S-G) filter merupakan metode *smoothing* data berdasarkan kuadrat pendekatan polinomial. Filter ini menunjukkan polinomial untuk satu set sampel input dan kemudian mengevaluasi polinomial yang dihasilkan pada satu titik dalam interval pendekatan setara dengan konvolusi diskrit dengan respon impuls tetap. Ide dasar kuadrat *smoothing* digambarkan dalam Gambar 2.15, yang menunjukkan urutan sampel $x(n)$ dari sinyal diskrit sebagai titik padat.



Gambar 2.15 Proses *smoothing* data Savitzky-Golay (S-G) filter

Gambar 2.15 mengilustrasikan kuadrat-smoothing dengan menggunakan garis polinom tingkat kedua (garis tebal) untuk lima sampel masukan, (*dot*) menunjukkan sampel masukan, (o) menunjukkan kuadrat sampel output, dan x

menunjukkan respon impulse yang efektif sampel (bobot konstanta). (Garis putus-putus menunjukkan pendekatan polinomial unit impuls berpusat.)

Kelompok $2M+1$ sampel berpusat di $n = 0$, nilai koefisien polinomial dari sampel dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$p(n) = \sum_{k=0}^N a_k n^k \quad (2.40)$$

Untuk mengurangi kesalahan digunakan pendekatan

$$\varepsilon_N = \sum_{n=-M}^M (\sum_{k=0}^N a_k n^k - x[n])^2 \quad (2.41)$$

Dalam Gambar 2.15 diketahui $N = 2$ dan $M = 2$, kurva padat di sebelah kiri pada Gambar 2.15 adalah $p(n)$ polinomial dievaluasi pada grid terbaik antara -2 dan 2 , dan nilai output dihasilkan dengan mengevaluasi $p(n)$ pada titik pusat $n = 0$. Artinya, $y[0]$, output pada $n = 0$, adalah $y[0] = p(0) = a_0$. Nilai output pada sampel berikutnya diperoleh dengan menggeser interval analisis ke kanan dengan satu sampel dan mengulangi pas polinomial dan evaluasi di lokasi pusat.

Proses ini diulang pada setiap sampel dari input setiap kali memproduksi nilai output urutan $y[n]$. Contoh lain ditampilkan di sebelah kanan dimana pusat interval digeser untuk sampel $n = 10$ dan polinomial baru untuk sampel $8 \leq n \leq 12$ ditunjukkan kembali oleh kurva solid dan output di $n = 10$ adalah nilai polinomial baru dievaluasi pada pusat lokasi.

Pada proses pemfilteran, filter ini mengamati setiap posisi nilai penghalusan output dari sampling diperoleh menggunakan polinomial identik dengan kombinasi linear dari nilai sampel masukan, yaitu set $2M + 1$ sampel masukan

dalam interval pendekatan yang efektif dikombinasikan dengan satu set tetap koefisien pembobotan yang dapat dihitung sekali untuk order polinomial diberikan N dan selang perkiraan panjang $2M + 1$. Artinya, sampel output dapat dihitung oleh konvolusi diskrit menggunakan.

$$y[n] = \sum_{m=-M}^M h[m]x[n-m] = \sum_{m=n-M}^{n+M} h[n-m]x[m] \quad (2.42)$$

Nilai-nilai yang ditandai dengan x pada Gambar 2.15 adalah perubahan impuls tanggapan $h[0 - m]$ dan $h[10 - m]$ yang dapat digunakan untuk menghitung sampel keluaran dengan label 0, sehingga menggantikan proses fitting polinomial pada setiap sampel dengan evaluasi tunggal (Schafer, 2010).

L. Matrix Laboratory (MATLAB)

MATLAB adalah salah satu bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi untuk proses komputasi. MATLAB menggabungkan proses komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam satu kesatuan yang mudah digunakan di mana masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematik yang sudah dikenal.

Dalam aplikasinya, pemakain MATLAB meliputi:

- a) matematika dan komputasi;
- b) pengembangan algoritma;
- c) akuisisi data;
- d) pemodelan, simulasi dan protptype;
- e) grafik saintifik dan *engginering*;
- f) perluasan pemakaian seperti *Graphical User Interface* (GUI).

MATLAB adalah sistem interaktif yang mempunyai basis data *array* yang membutuhkan banyak dimensi. Hal ini dapat digunakan untuk menyelesaikan banyak masalah komputasi teknis, khususnya yang berkaitan dengan formulasi matrik dan vektor. Nama MATLAB merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*. MATLAB awalnya dibuat untuk memudahkan dalam megakses softwere matriks yang dikembangkan oleh LINPACK dan EISPACK. Dalam perkembangannya MATLAB mampu mengintegrasikan beberapa *software* untuk kompeutasi matriks. Tidak hanya itu, MATLAB juga mampu melakukan komputasi simbolik yang biasa digunakan oleh MAPLE.

MATLAB memiliki sistem yang terdiri atas lima bagian.

- a) *Development Envoriment* merupakan kumpulan semua alat-alat dan fasilitas untuk membantu kita dalam menggunakan file MATLAB. Bagian ini memuat *desktop, comman window, comman history, editor and debugger*, dan *browser* untuk melihat *help, workspace, files*.
- b) *The MATLAB Mathematical Fungtion Library* merupakan bagian yang berisi semua algoritma komutasi, mulai dai fungsi sederhana seperti *sum, sine, cosine* sapai fungsi lebih rumit seperti invers matriks, nilai eigen, fungsi *bessel* dan *fast fourier tranform*.
- c) *The MATLAB Leangue* merupakan bahasa matriks level tinggi dengan control flow, fungsi, struktur data, input/output dan objek programing lainnya.
- d) *Graphics* merupakan fasilitas yang dimiliki MATLAB untuk menampilkan vector dan matriks sebagai grafik. Faslitas ini mencangkup visualisasi data dua/tiga dimensi, pemrosesan citra (*image*), animasi dan grafik animasi.
- e) *The MATLAB Aplication Program Interface (API)*

Paket ini memungkinkan kita menulis bahasa C dan Port yang berinteraksi dengan MATLAB (dynamic Linking) yang disebut MATLAB sebagai mesin penghitung, dan untuk membaca dan menulis M AT-files.

(Bruce, 2000).