



# Teknik Pengolahan Sinyal

**FILTER DIGITAL**

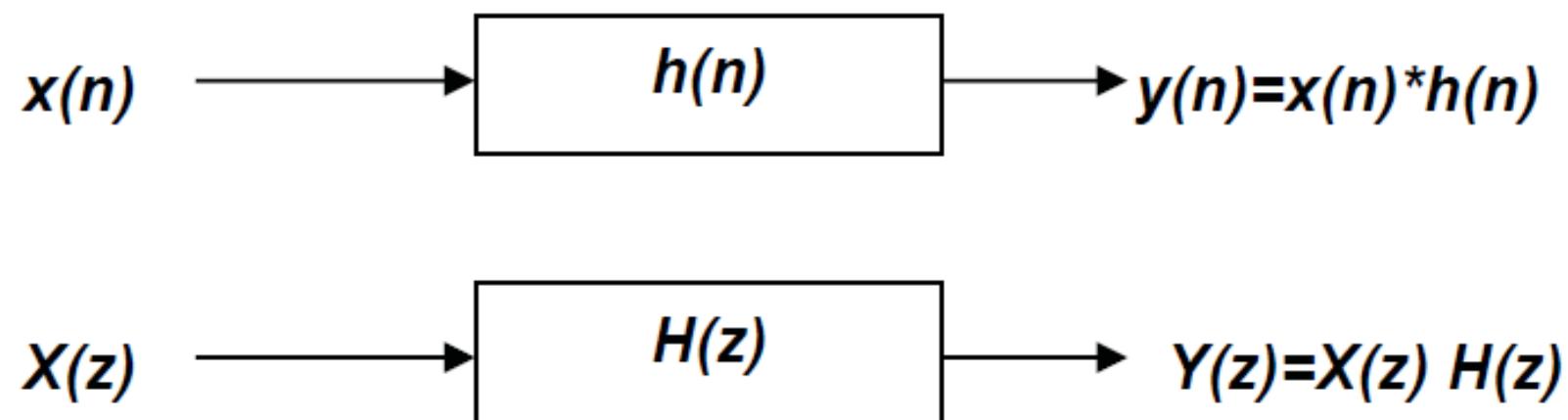
**Aqil Aqthobirrobbany, S.T., M.Eng.**



# 1. Filter Digital



Filter digital adalah sistem diskrit yang berfungsi sebagai filter digital. Karena merupakan sistem diskrit, maka filter dapat dinyatakan dalam bentuk impulse response,  $h(n)$ , atau transfer function,  $H(z)$ , seperti pada Gambar 11.1. Filter digital juga memiliki jenis yang sama dengan filter analog yaitu LPF, HPF, BPF dan BSF.



**Gambar 11.1**

**Filter digital dalam bentuk impulse respons dan transfer function**

## 1.1 Kelebihan Filter Digital



Filter analog berupa **persamaan yang diimplementasikan dalam bentuk rangkaian elektronika**. Filter digital berisi **angka-angka yang diproses secara aritmetika (penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian)**. Filter digital ini diimplementasikan dalam bentuk program komputer atau proses digital di komputer atau mikroprosesor. Karena perbedaan ini maka filter digital memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan filter analog antara lain:

- a) Karena hanya berupa angka dan proses aritmetika maka filter digital **mudah diimplementasikan** sekalipun dengan orde yang sangat tinggi. Penambahan satu orde pada filter analog berakibat pada penambahan beberapa komponen elektronika yang akan membuat fisik rangkaian menjadi lebih besar. Penambahan orde pada filter digital hanya akan menambah beberapa angka pada program komputer atau prosesor. Kita akan jarang menjumpai filter analog dengan orde lebih dari 6, sedangkan kita akan sering menjumpai filter digital ber-orde puluhan bahkan ratusan.
- b) Filter digital bisa **memiliki respon frekuensi yang sangat bervariasi**. Filter analog terbatas pada bentuk respon frekuensi seperti Butterworth, Chebyshev, dan Elliptic karena batasan ketersediaan jenis dan nilai komponen elektronika. Karena hanya berupa angka maka respon frekuensinya dapat divariasi tanpa batasan fisik komponen. Kita dapat mendesain filter digital dengan fase yang benar-benar linier. Hal ini tidak dimungkinkan

## 1.1 Kelebihan Filter Digital



- c) Filter digital ***tidak dipengaruhi oleh suhu*** atau gangguan luar lamnya. Nilai komponen dari filter analog dapat berubah jika suhu berubah. Hal ini tidak terjadi pada filter digital karena angka-angkanya ditentukan oleh program yang dituliskan pada prosesor.
- d) ***Parameter dari filter digital bisa diubah dengan gampang*** karena hanya berupa angka-angka pada program komputer atau mikroprosesor. Perubahan parameter pada filter analog harus dilakukan dengan mengganti komponen elektronikanya. Kelebihan ini juga memungkinkan implementasi dari adaptive filter.
- e) Filter digital ***dapat disimpan (save) dan diduplikasi*** dengan tidak ada perubahan performansi. Hal ini tidak dijamin oleh filter analog karena nilai dari komponen elektronika selalu bervariasi.
- f) Filter ***digital dapat digunakan pada frekuensi yang sangat rendah***. Hal ini sulit dilakukan oleh filter analog karena membutuhkan nilai kapasitor yang sangat besar.

## 1.2 Kelemahan Filter Digital



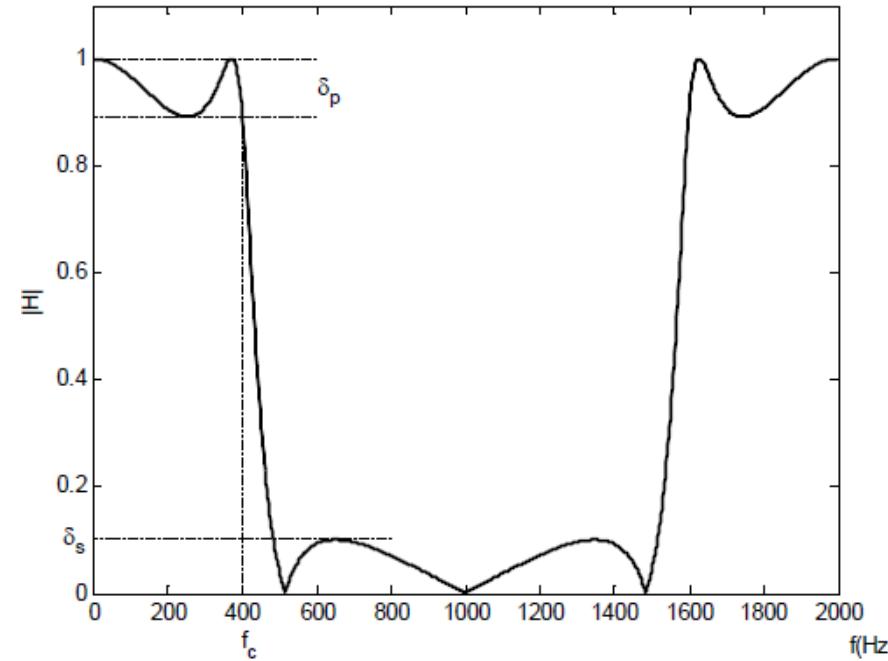
Disamping kelebihan-kelebihan di atas, filter digital juga memiliki beberapa kelemahan jika dibandingkan dengan filter analog, antara lain:

- a) Filter digital **memiliki range frekuensi yang terbatas** dan cenderung lebih rendah dari filter analog. Range frekuensi filter digital hanya dibatasi sampai setengah dari frekuensi samplingnya. Frekuensi sampling sangat ditentukan oleh kecepatan dari ADC dan mikroprosesor yang digunakan.
- b) Filter digital memiliki **noise yang disebabkan oleh pembulatan anga-angka** di dalam prosesnya. Semakin tinggi orde dari suatu filter digital maka semakin besar pula efek dari pembulatan khususnya bila ada proses recursive.
- c) Filter digital tidak dapat digunakan sebagai filter untuk anti aliasing karena filter ini harus diletakkan di daerah analog.
- d) Filter digital tidak bisa digunakan untuk memfilter sinyal dengan daya tinggi misalnya filter tegangan jala-jala.

## 1.3 Parameter Filter Digital



Filter digital memiliki parameter yang sama dengan filter analog tetapi mengalami pencerminan pada  $f_s/2$ . Gambar 11.2 adalah filter digital LPF dengan  $f_c = 400 \text{ Hz}$  dan frekuensi sampling,  $f_s$ , sebesar 2 kHz. Jika kita tidak menyadari **adanya pencerminan respon frekuensi** pada spektrum diskrit maka kita bisa keliru menganggap bahwa gambar ini adalah respon frekuensi dari BSF.

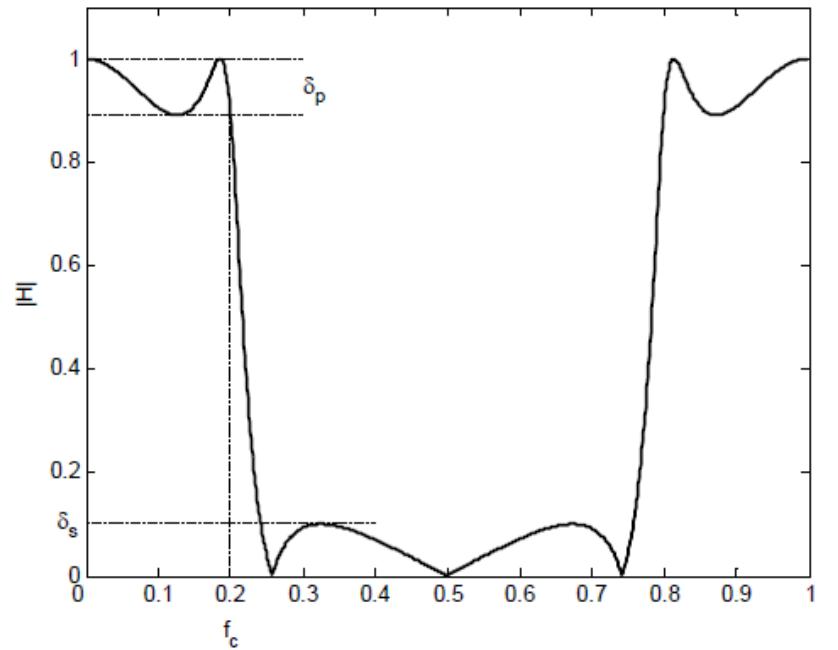


**Gambar 11.2**  
**Respon frekuensi filter digital LPF**

# 1.3 Parameter Filter Digital

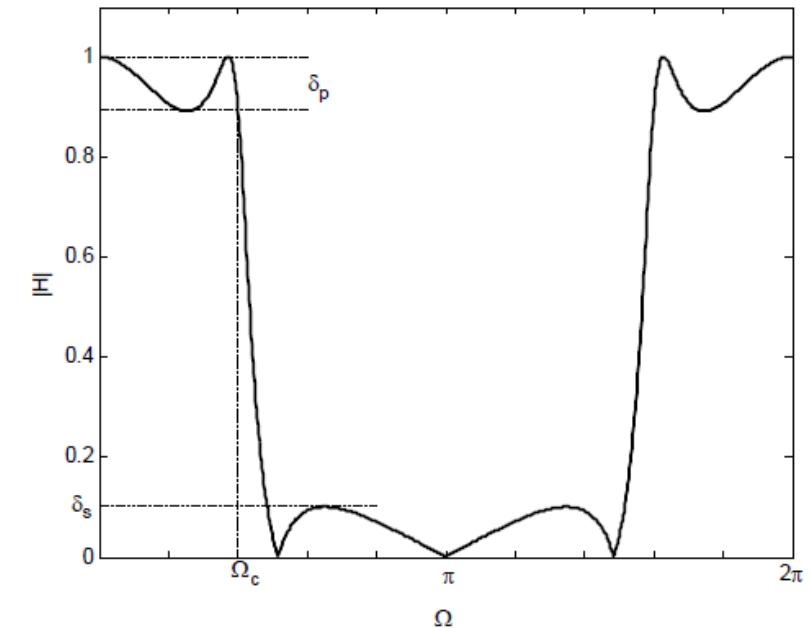


Respon frekuensi dari filter digital sering digambarkan dalam frekuensi yang sudah dinormalisasi dimana frekuensi sampling bernilai 1 seperti pada Gambar 11.3, atau dalam skala radian ternormalisasi dimana frekuensi sampling adalah  $2\pi$  dan setengah frekuensi sampling menjadi  $\pi$  seperti pada Gambar 11.4.



Gambar 11.3

Respon frekuensi filter digital LPF dengan frekuensi ternormalisasi



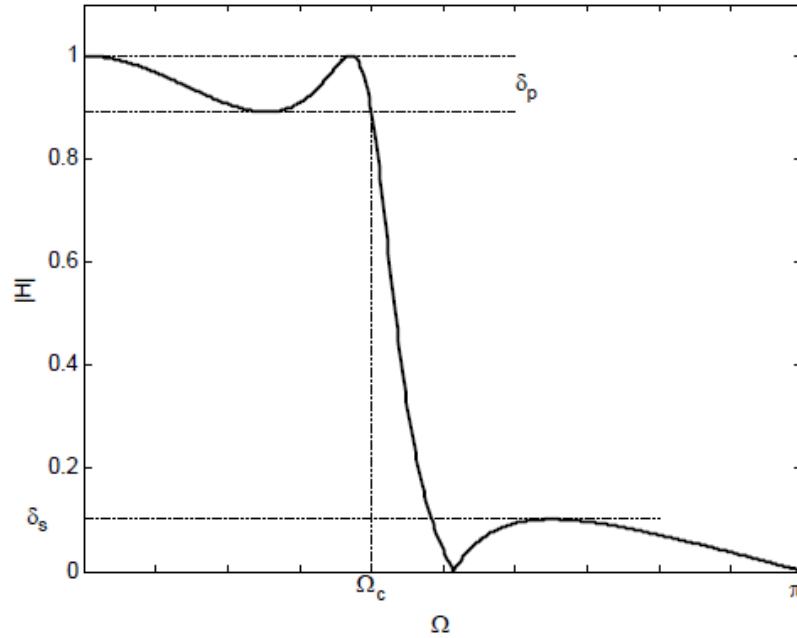
Gambar 11.4

Respon frekuensi filter digital LPF dengan frekuensi radian ternormalisasi

# 1.3 Parameter Filter Digital



Karena respon frekuensi pada Gambar 11.4 bersifat pencerminan pada  $\Omega = \pi$ , maka pada umumnya hanyadigambarkan sampai dengan  $\pi$  seperti pada Gambar 11.5.



**Gambar 11.5**

**Respon frekuensi filter digital LPF dengan  $\Omega_c = 0.4 \pi$  (sama dengan 0.2  $f_s$ )**

## Catatan penting untuk pengguna Matlab:

Desain filter digital pada Matlab menggunakan input berupa frekuensi yang sudah dinormalisasi (seperti Gambar 11.3), tetapi frekuensi 1 bukan mewakili  $f_s$  melainkan mewakili  $\frac{1}{2} f_s$ .

Jika kita menggunakan Matlab untuk mendesain LPF dengan  $f_c = 400 \text{ Hz}$  pada  $f_s = 2000 \text{ Hz}$ , maka  $f_c$  ternormalisasi adalah 0.4 (bukan 0.2).

## 1.4 Menemukan Respon Frekuensi dari Filter



Gambar-gambar di atas adalah kurva respon frekuensi dari filter digital. Bagaimanakah kita bisa menemukan kurva respon frekuensi dari suatu filter? Jika kita mengetahui *impulse response*nya,  $h(n)$ , maka respon frekuensinya,  $H(k)$  dapat dihitung dengan menggunakan DFT. Jika kita mengetahui transfer functionnya,  $H(z)$ , maka terlebih dahulu kita harus menemukan  $h(n)$  dari filter tersebut kemudian baru menghitung respon frekuensinya,  $H(k)$ , dengan menggunakan DFT seperti pada Bab 4. Cara menemukan  $h(n)$  sudah dijelaskan di Bab 9. Sebagai contoh kita akan menemukan kurva respon frekuensi dari filter dengan  $h(n)$  seperti pada Tabel 11.1

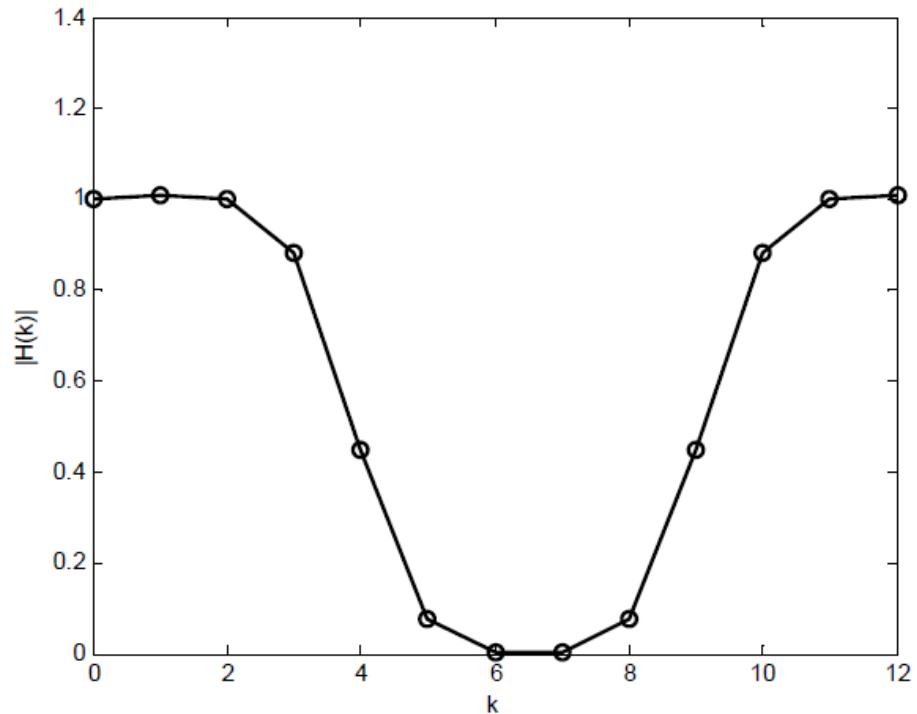
**Tabel 11.1**  
**Impulse response dari sebuah filter**

| $n$ | $h(n)$  |
|-----|---------|
| 0   | -0.0041 |
| 1   | 0.0000  |
| 2   | 0.0236  |
| 3   | -0.0338 |
| 4   | -0.0724 |
| 5   | 0.2853  |
| 6   | 0.6027  |
| 7   | 0.2853  |
| 8   | -0.0724 |
| 9   | -0.0338 |
| 10  | 0.0236  |
| 11  | 0.0000  |
| 12  | -0.0041 |

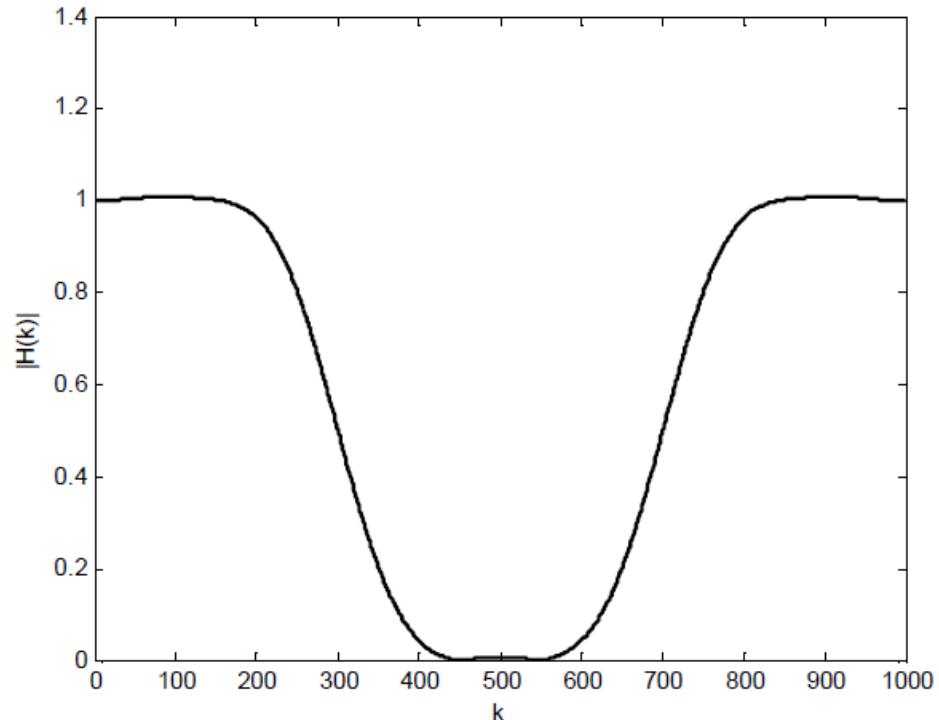
## 1.4 Menemukan Respon Frekuensi dari Filter



Perhitungan DFT menghasilkan  $|H(k)|$  sebanyak 12 titik seperti digambarkan pada Gambar 11.6a. Gambar respon frekuensi ini dapat dibuat lebih baik dengan *zero padding*. Gambar 11.6b menunjukkan respon frekuensi yang dihitung menggunakan DFT dengan *zero padding*.



a)



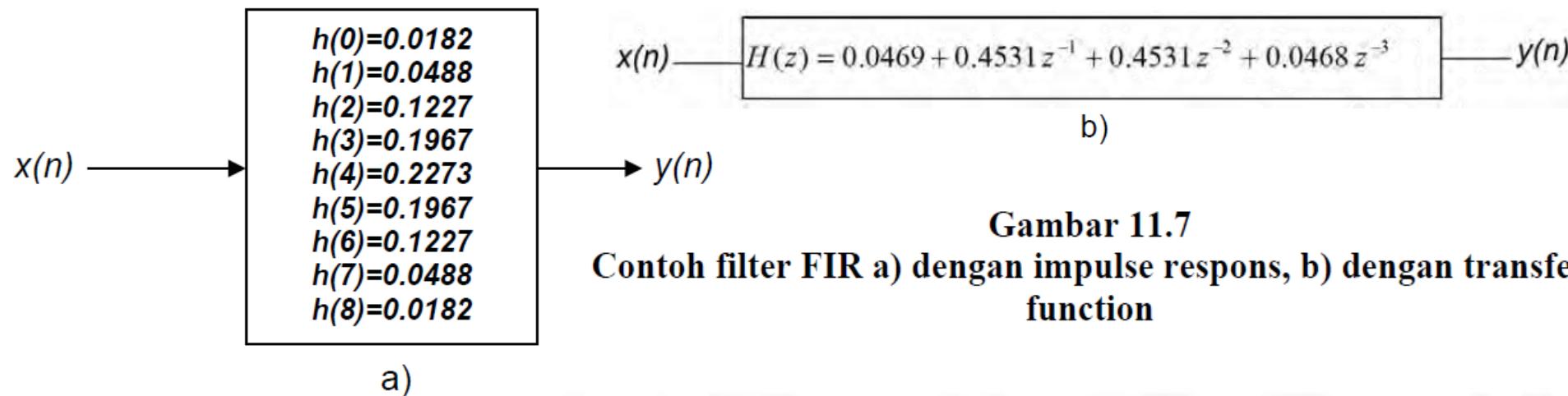
b)

**Gambar 11.6**  
Respon frekuensi filter pada Tabel 11.1 a) dihitung dengan DFT; b)  
dihitung dengan DFT dan zero padding

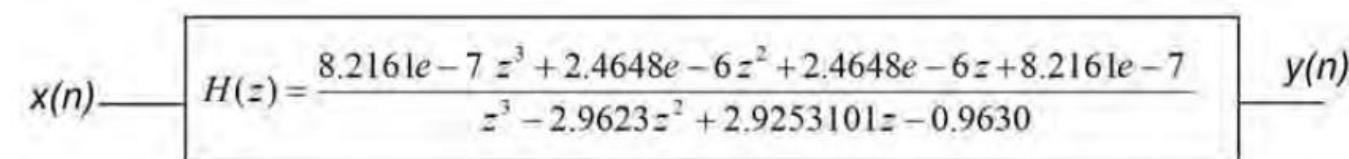
# 1.5 Tipe dari Filter Digital



Secara umum, filter digital dibedakan atas dua tipe yaitu **Finite Impulse Response (FIR)** dan **Infinite Impulse Response (IIR)**. Sesuai dengan namanya, filter FIR memiliki *impulse response*,  $h(n)$ , dalam jumlah yang tertentu dan terbatas, sedangkan filter IIR memiliki  $h(n)$  yang sangat banyak. Filter FIR bisa dinyatakan dalam bentuk *impulse response* atau dalam bentuk *transfer function*, sedangkan filter IIR hanya dinyatakan dalam bentuk *transfer function* karena memiliki  $h(n)$  yang sangat banyak. Gambar 11.7 menunjukkan contoh filter FIR sedangkan Gambar 11.8 menunjukkan contoh filter IIR.”



Gambar 11.7  
Contoh filter FIR a) dengan impulse respons, b) dengan transfer function

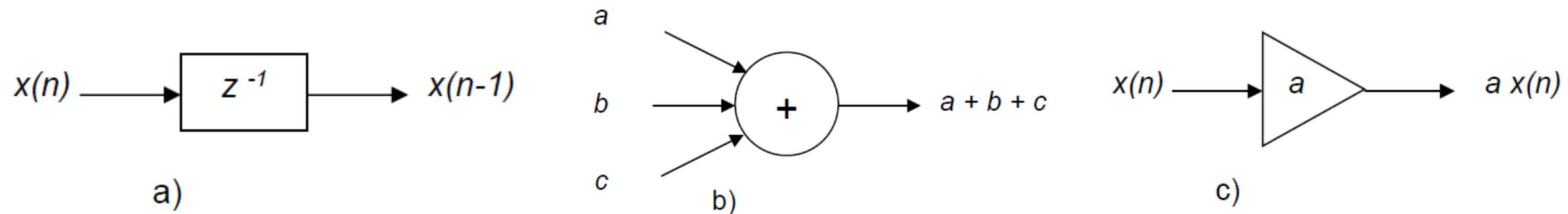


Gambar 11.8  
Contoh filter IIR

# 1.6 Implementasi Filter FIR



Baik filter FIR maupun filter IIR dapat diimplementasikan dalam bentuk program komputer atau perangkat keras digital. Implementasi dalam bentuk program komputer sama dengan implementasi sistem diskrit. Implementasi dalam bentuk perangkat keras menggunakan tiga komponen utama yaitu *delay*, penjumlah, dan pengali. Komponen *delay* menunda input sebesar 1 hitungan. Komponen penjumlah menjumlahkan semua input, sedangkan komponen pengali mengeluarkan output yang merupakan hasil perkalian antara input dengan faktor pengalinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.9.”



**Gambar 11.9**  
Komponen dasar filter digital

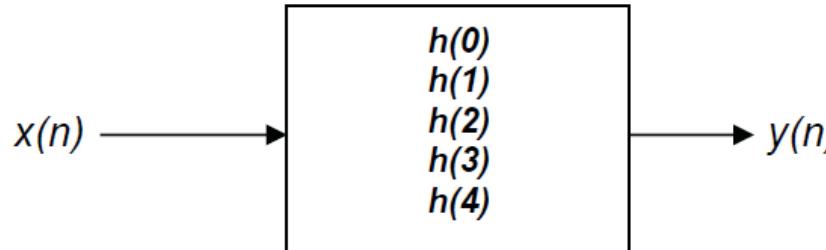
# 1.6 Implementasi Filter FIR



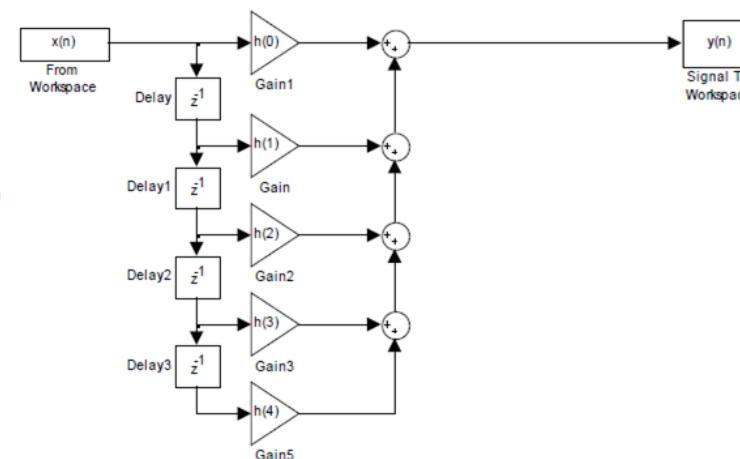
Sebagai contoh, sebuah filter FIR seperti pada Gambar 11.10, dapat dinyatakan dalam bentuk *impulse response* sehingga outputnya dihitung dengan konvolusi (lihat Bab 6) yaitu

$$y(n) = h(0) x(n) + h(1) x(n-1) + h(2) x(n-2) + h(3) x(n-3) + \dots + h(N) x(n-N)$$

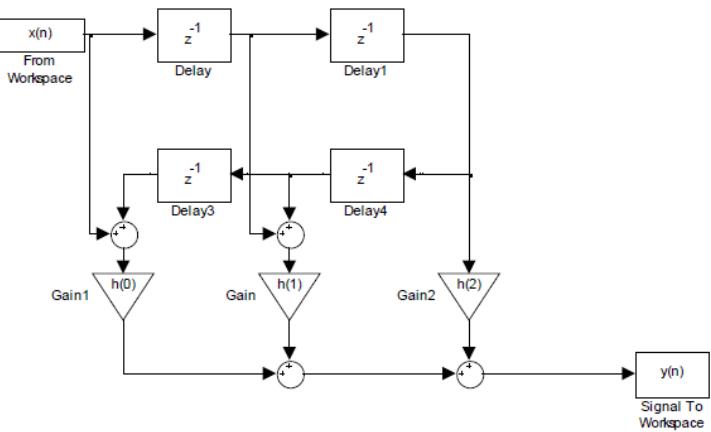
Filter tersebut dapat diimplementasikan dengan struktur transversal (Gambar 11.11) atau struktur fase linier (Gambar 11.12). Struktur fase linier lebih menghemat proses perhitungan karena filter FIR dengan fase linier memiliki  $h(0)$  yang selalu sama dengan  $h(N)$ ,  $h(1) = h(N-1)$  dan seterusnya seperti terlihat pada filter di Gambar 11.7a



**Gambar 11.10**  
Contoh Filter FIR orde 4



**Gambar 11.11**  
Implementasi FIR dengan struktur transversal

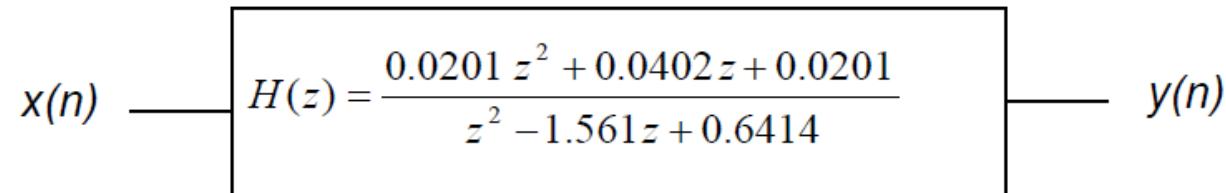


**Gambar 11.12**  
Implementasi FIR dengan struktur fase linier

## 1.7 Implementasi Filter IIR



Filter IIR juga diimplementasikan dengan menggunakan komponen yang sama seperti pada Gambar 11.9. Filter IIR dapat diimplementasikan dengan beberapa struktur. Struktur yang paling umum dipakai adalah Direct Form I dan Direct Form II.



**Gambar 11.13**  
**Contoh Filter IIR orde 2**

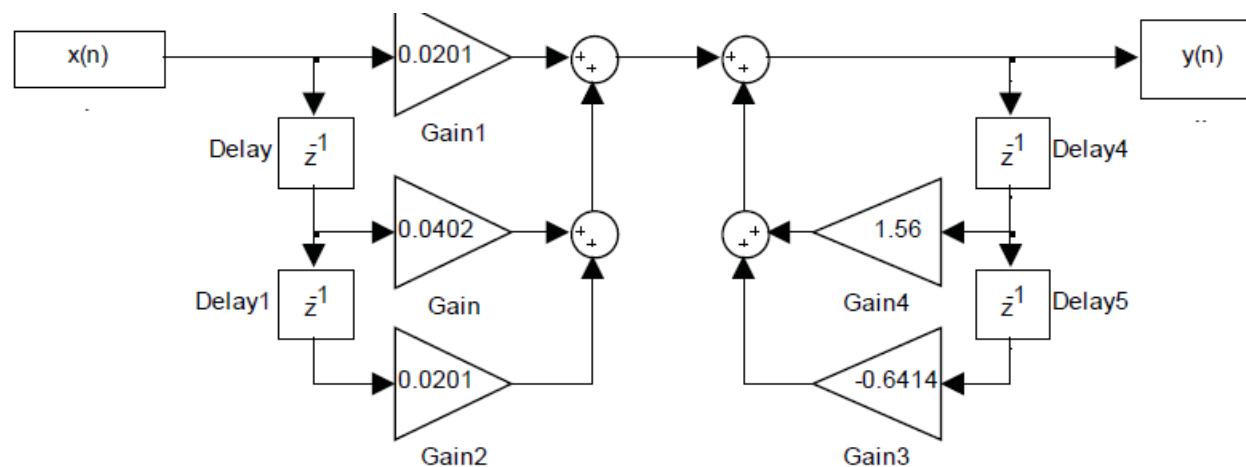
Output dari filter IIR seperti pada Gambar 11.13 dapat dihitung dengan persamaan diferensial:

$$y(n) = 0.0201x(n) + 0.0402x(n-1) + 0.0201x(n-2) + 1.56y(n-1) - 0.6414y(n-2)$$

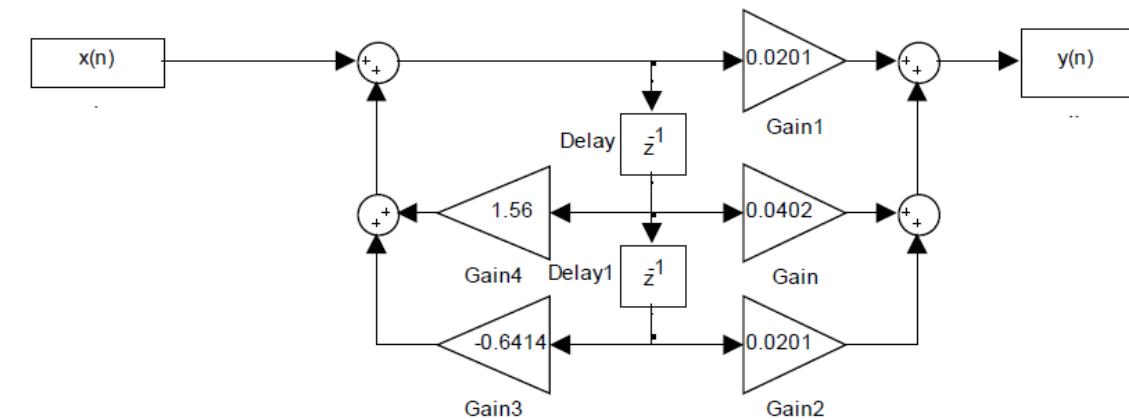
# 1.7 Implementasi Filter IIR



Implementasi filter tersebut dengan struktur Direct Form I ditunjukkan pada Gambar 11.14, sedangkan implementasi dengan struktur Direct Form II ditunjukkan pada Gambar 11.15. Direct Form II lebih menghemat penggunaan proses *delay*.



**Gambar 11.14**  
**Implementasi IIR dengan struktur Direct Form I**



**Gambar 11.15**  
**Implementasi IIR dengan struktur Direct Form II**

# 1.8 Perbandingan antara FIR dan IIR



Ketika kita merancang filter digital, kita harus memilih tipe apa yang akan digunakan, FIR atau IIR. Kedua tipe ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini adalah perbandingan antara kedua filter tersebut.

- **Filter FIR** dapat memiliki respon fase yang benar-benar linier sehingga tidak merusak bentuk sinyal seperti dijelaskan pada Bab 10. Filter IIR tidak memiliki respon fase yang linier. Filter FIR digunakan untuk aplikasi yang sangat mementingkan bentuk sinyal misalnya pada transmisi data digital, biosignal (ECG, EEG, dsb), audio digital, dan pemrosesan citra digital. Jika kita mentransmisi data digital (gelombang kotak) melewati sebuah filter IIR maka outputnya tidak lagi berbentuk kotak. Distorsi ini tidak terjadi pada filter FIR karena memiliki respon fase yang linier.
- **Filter FIR** selalu stabil karena output hanya tergantung dari input, sedangkan output dari filter IIR tergantung dari input dan output sebelumnya sehingga bisa tidak stabil.
- **IIR** menggunakan proses umpan balik (*recursive*) sehingga rawan terhadap pembulatan angka pada proses perhitungan output. Filter FIR tidak terlalu terpengaruh oleh pembulatan angka.
- Untuk mendapat *transition band* yang curam diperlukan filter FIR dengan orde yang sangat tinggi. Filter IIR tidak memerlukan orde yang tinggi untuk mendapat *transition band* yang curam.
- **Filter IIR** bisa mempunyai respon frekuensi yang persis sama dengan filter analog. Jika kita ingin mengganti filter analog pada suatu sistem dengan filter digital tanpa merubah respon frekuensinya maka kita harus memiliki filter IIR.
- Proses desain filter FIR sangat memerlukan bantuan komputer karena biasanya filter FIR ber-orde sangat tinggi sehingga sangat banyak angka yang harus dihitung. Filter IIR dapat didesain secara manual tanpa bantuan komputer.
- Karena memiliki orde yang sangat tinggi maka filter FIR mengalami *delay* yang sangat panjang dibandingkan dengan filter IIR

Gunakan filter IIR jika filter kita hanya mementingkan kecuraman *transition band*. Gunakan FIR jika kita harus menghindari distorsi fase dan jika kita memiliki komputer atau prosesor yang dapat menghitung filter dengan orde sangat tinggi.