

Sistem Komunikasi II

(Digital Communication Systems)

Lecture #2: Modulasi Baseband *(Baseband Modulation)*

Topik:

2.1 Mapping (Formatting).

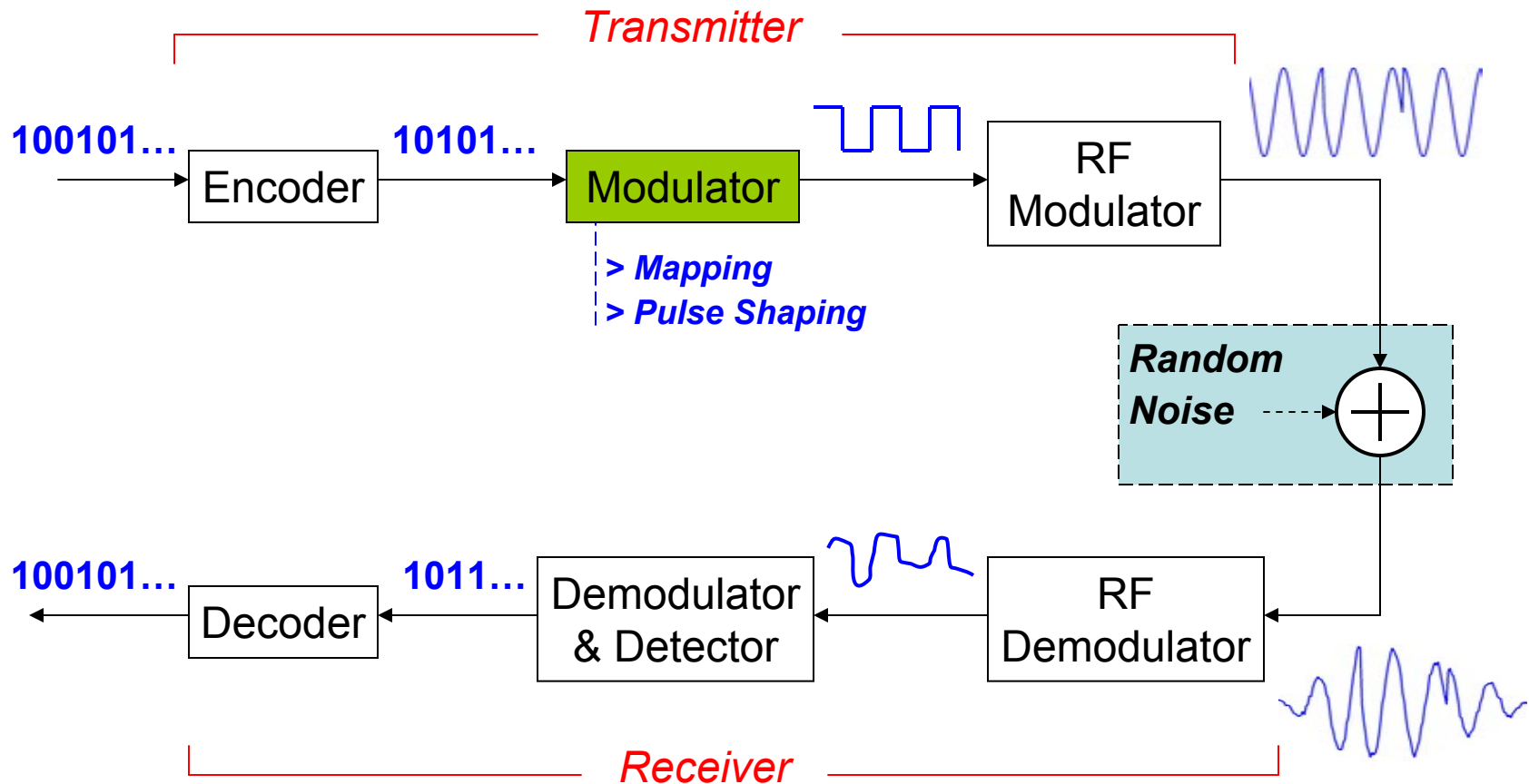
- Binary (2-Level) PAM / PCM.
- M-ary (Multi-Level) PAM / PCM.

2.2 Pulse Shaping (Pembentukan Pulsa).

- Transmisi baseband via Kanal dgn finite Bandwidth.
- Inter-Symbol Interference (ISI).
- Kriteria Nyquist: Pulsa Sinc / Nyquist.
- Filter Raised Cosine (RC) & Square-Root Raised Cosine (SRRC).

2.1. Mapping (Formatting)

Model Sistem Komunikasi Digital + Noise:



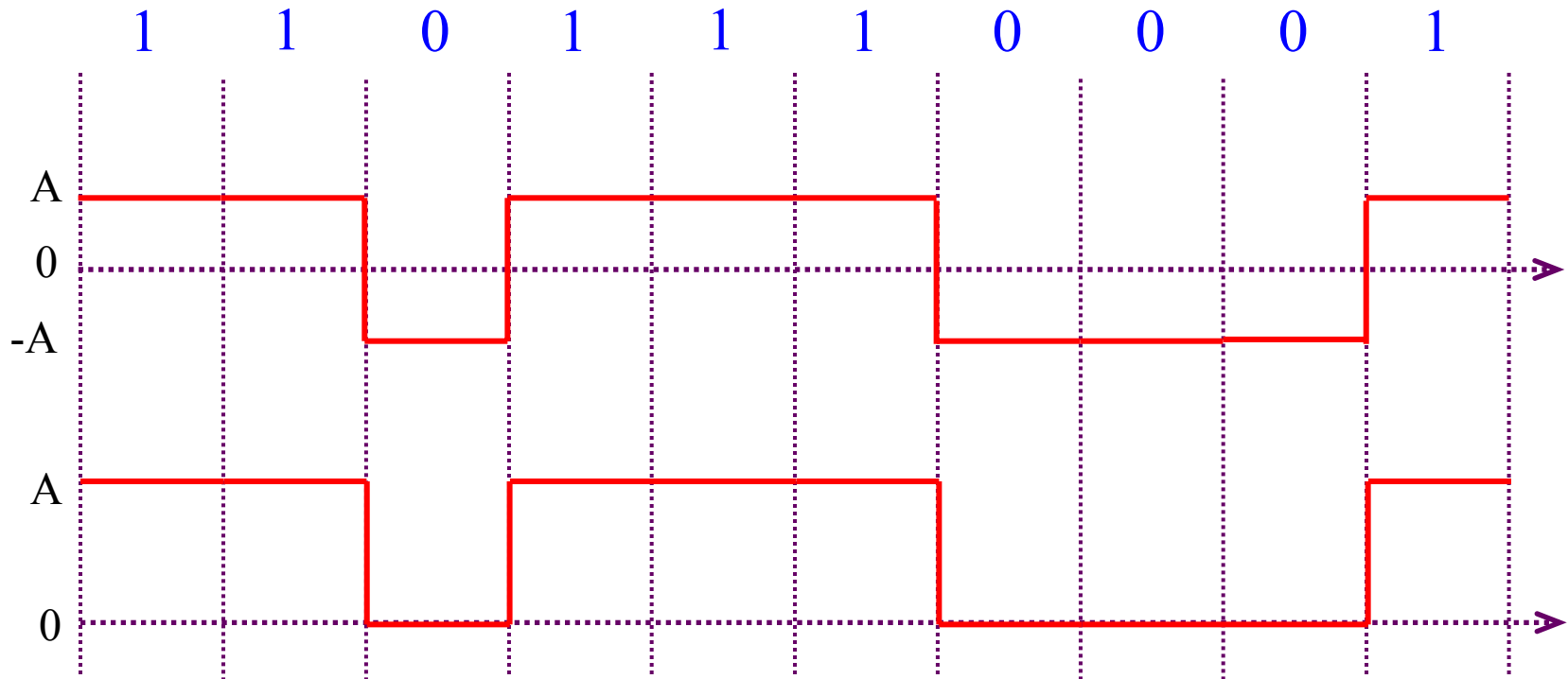
2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Digital Data Sinyal Waveform (Simbol)

0 \rightarrow $s_0(t)$

1 \rightarrow $s_1(t)$

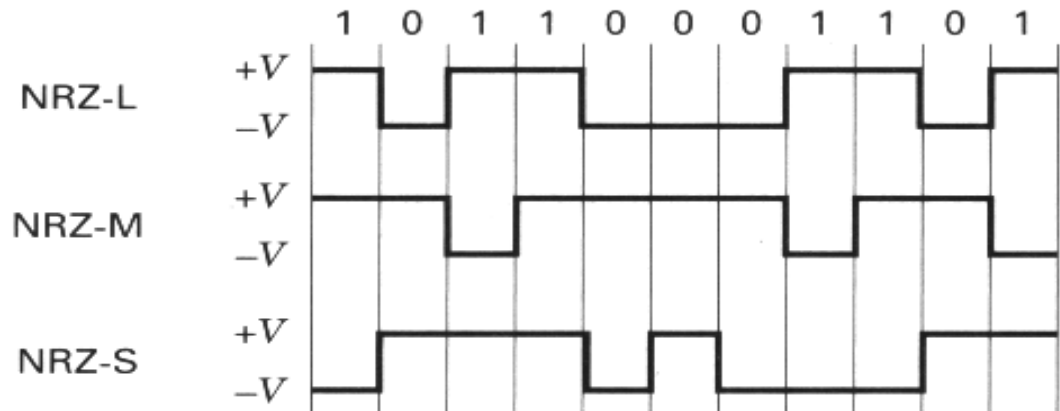
Binary (2-Level) PAM
(Pulse Amplitude Modulation)



2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM

NRZ – Non-Return to Zero



NRZ-L (Level)

- '1' di-representasikan sebagai pulsa (+).
- '0' di-representasikan sebagai pulse (-).

NRZ-M (Mark)

- '1' di-representasikan sebagai 'pergantian level (+ ke -, atau - ke +)'.
- '0' di-representasikan sebagai 'tidak ada pergantian level'.

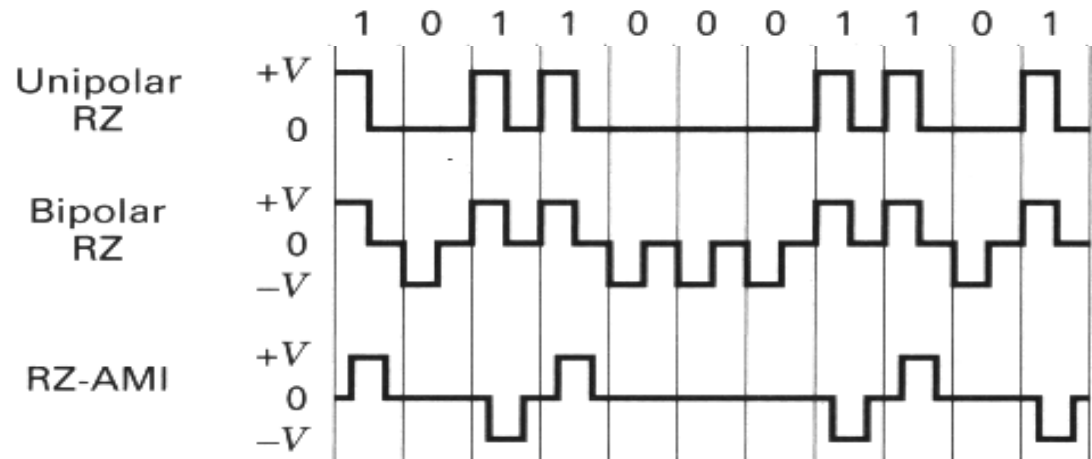
NRZ-S (Space)

- '1' di-representasikan sebagai 'tidak ada pergantian level'.
- '0' di-representasikan sebagai 'pergantian level (+ ke -, atau - ke +)'.

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM – cont.

RZ –Return to Zero



Unipolar RZ

- '1' di-representasikan sebagai pulsa (+) dgn lebar $\frac{1}{2}$ bit period.
- '0' di-representasikan sebagai 'tidak ada pulsa'.

Unipolar RZ

- '1' di-representasikan sebagai pulsa (+) dgn lebar $\frac{1}{2}$ bit period.
- '0' di-representasikan sebagai pulsa (-) dgn lebar $\frac{1}{2}$ bit period.

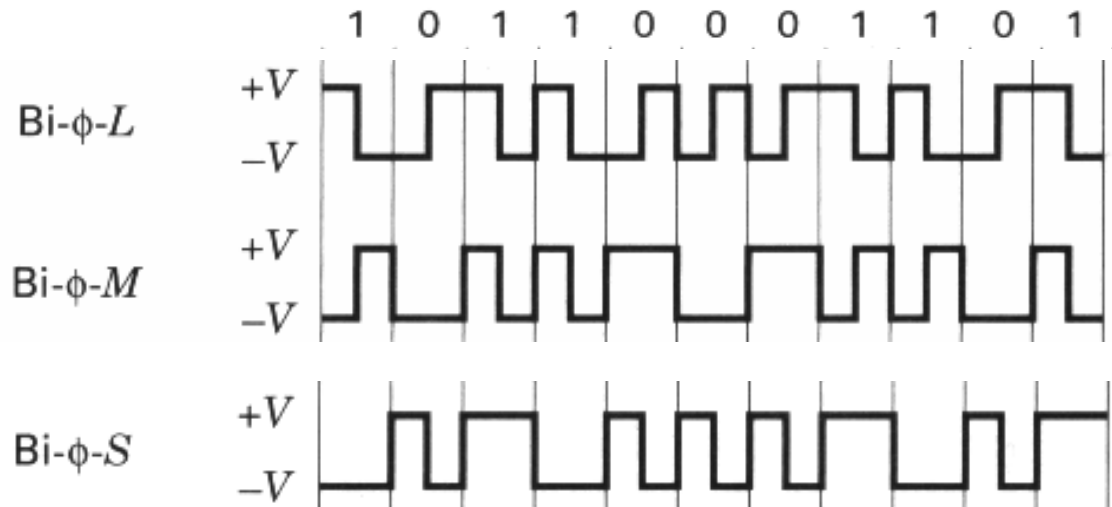
RZ-AMI (Alternate Mark Inversion)

- '1' di-representasikan sebagai pulsa yang polaritasnya selang-seling.
- '0' di-representasikan sebagai 'tidak ada pulsa'

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM – cont.

Bi-Phase



Bi-phase-L (Level)

- '1' di-representasikan sebagai pulsa dgn lebar $\frac{1}{2}$ bit period pada $\frac{1}{2}$ perioda pertama.
- '0' di-representasikan sebagai pulsa dgn lebar $\frac{1}{2}$ bit period pada $\frac{1}{2}$ perioda kedua.

Bi-phase-M (Mark)

- '1' di-representasikan sebagai pergantian level sebanyak 2 kali.
- '0' di-representasikan sebagai pergantian level sebanyak 1 kali.

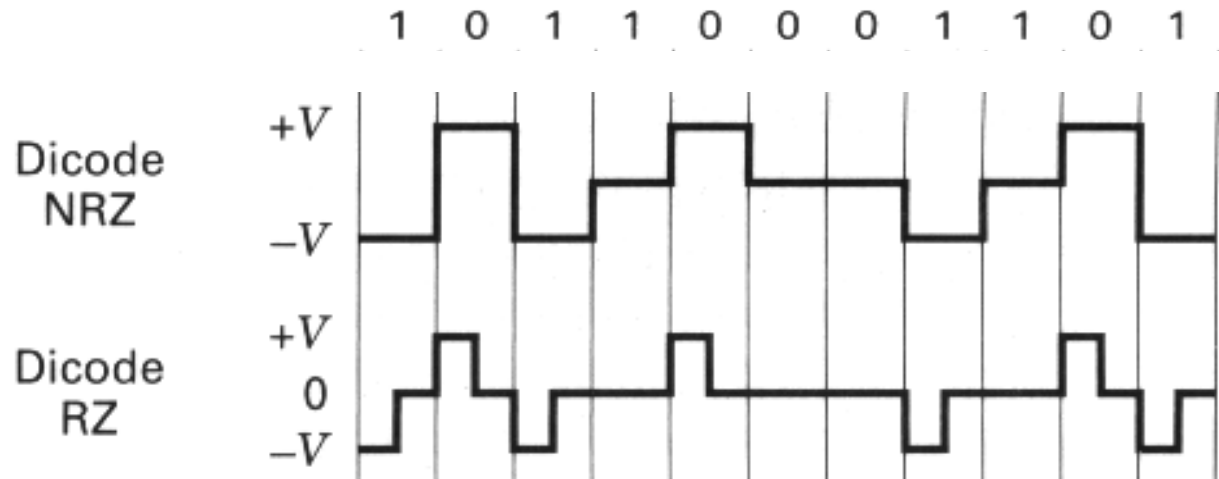
Bi-phase-S (Space)

- '1' di-representasikan sebagai pergantian level sebanyak 1 kali.
- '0' di-representasikan sebagai pergantian level sebanyak 2 kali.

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM – cont.

Dicode



Dicode NRZ

- Transisi $1 \rightarrow 0$ atau $0 \rightarrow 1$ di-representasikan sebagai pergantian polaritas.
- Jika tidak ada transisi, level 0 di kirim.

Dicode RZ

- Transisi $1 \rightarrow 0$ atau $0 \rightarrow 1$ di-representasikan sebagai pergantian polaritas dengan melewati level 0.
- Jika tidak ada transisi, level 0 di kirim.

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM – cont.

Kriteria untuk memilih Binary PAM Waveform untuk digunakan dalam suatu sistem komunikasi digital:

1. Karakter Spektra (*Spectral Characteristics*)

→ Beberapa format seperti *Bi-phase* dan *Dicode* memiliki *PSD* tanpa komponen *DC* (berguna untuk berbagai aplikasi).

→ Beberapa format memiliki *bandwidth* yang lebih efisien dari format lainnya.

2. Kemampuan untuk Clock Recovery.

→ *Bi-phase-L* memiliki *transisi level* pada setiap *bit period*-nya, memudahkan sistem penerima untuk mengambil '*timing information*'.

3. Ketahanan terhadap noise (*noise immunity*).

→ *NRZ-M* tahan terhadap *inversion error*.

→ *NRZ* memiliki *SNR* yang lebih baik dibandingkan dengan *RZ*.

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Jenis-jenis Waveform untuk Binary (2-Level) PAM – cont.

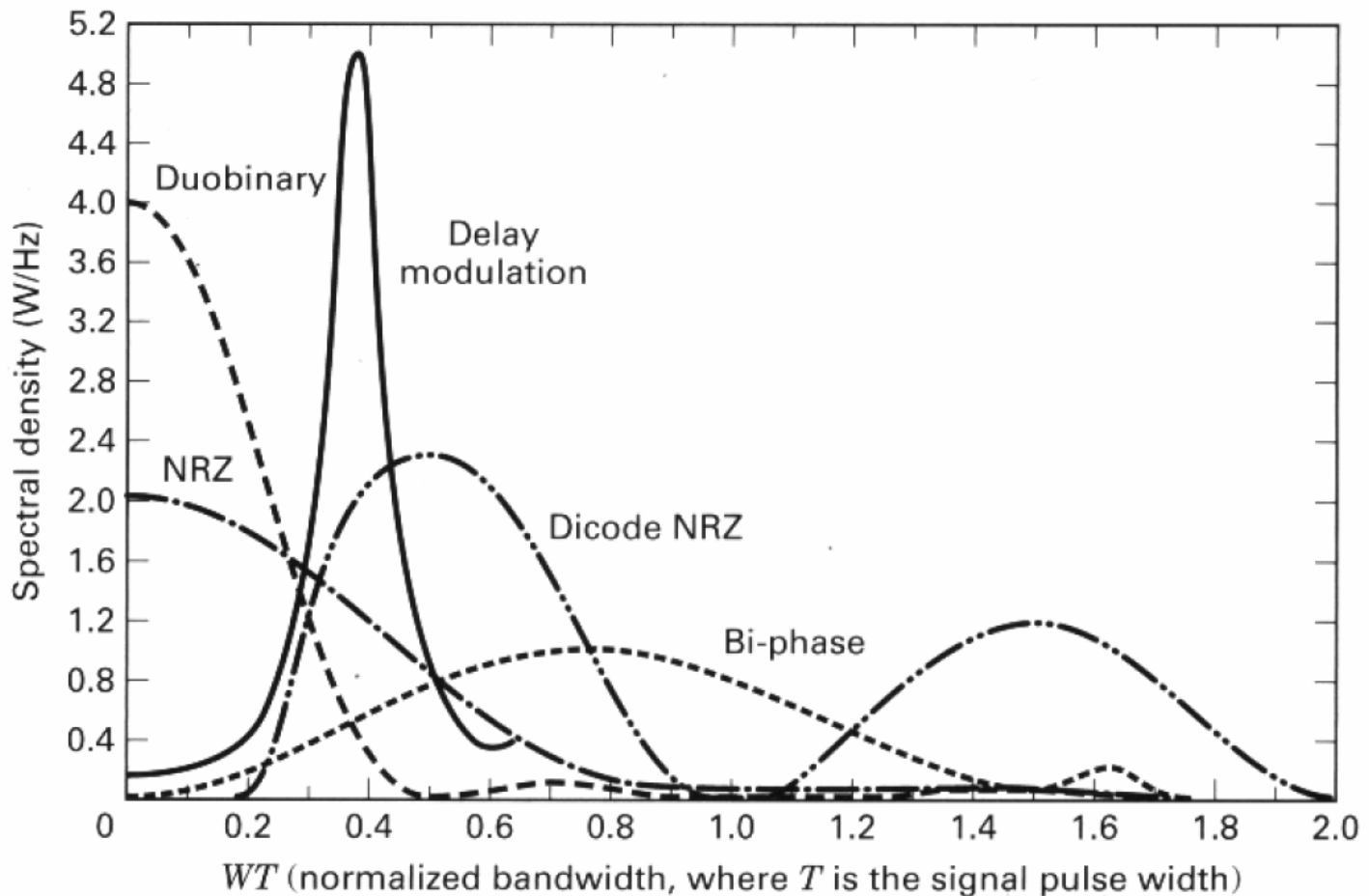


Figure 2.23 Spectral densities of various PCM waveforms.

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

M-ary (Multi-Level) PAM

Binary (2-level) PAM

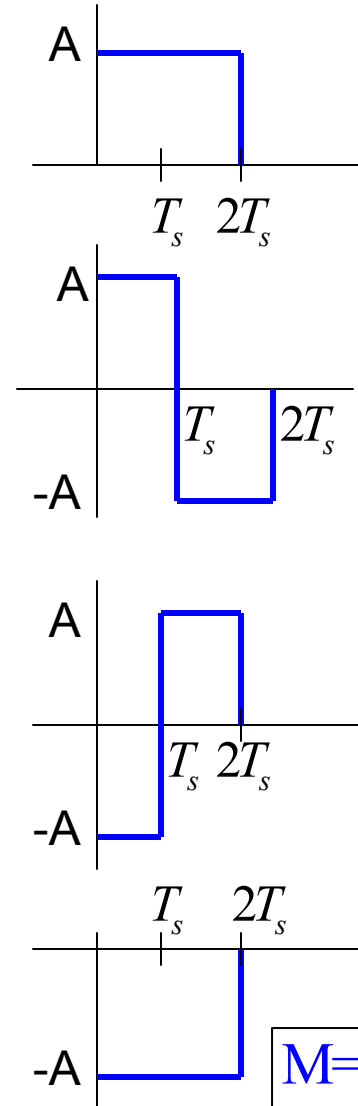
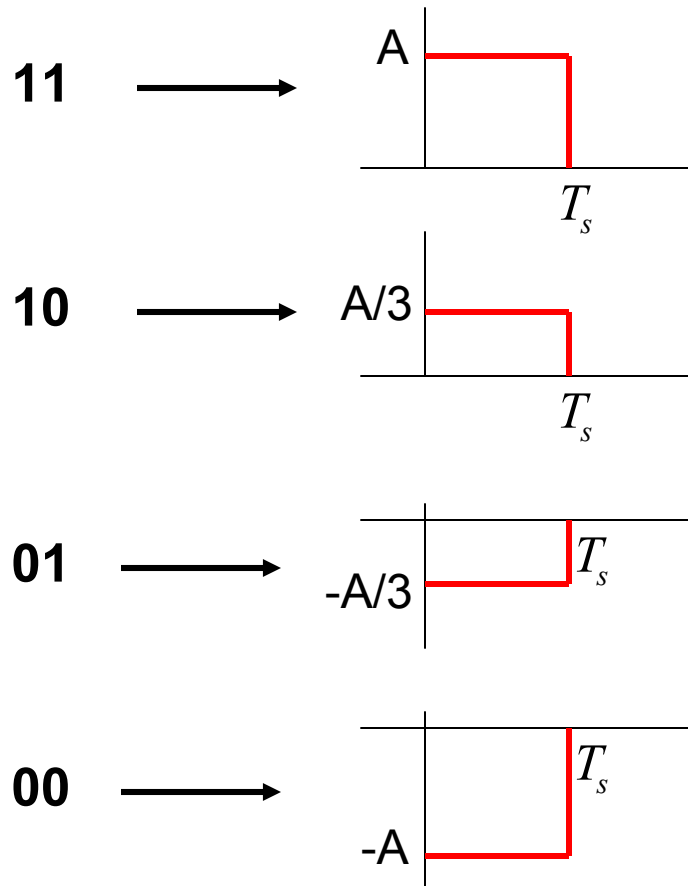
- ada 2 sinyal waveform dengan 2 level amplitudo yang berbeda.
- setiap sinyal waveform ‘membawa’ 1 bit data.
- Bit-rate = Symbol-rate.

M-ary (multi-level) PAM

- ada M sinyal waveform dengan M level amplitudo yang berbeda.
- setiap sinyal waveform ‘membawa’ $\log_2 M$ bit data.
- Bit-Rate = $\log_2 M \times$ Symbol Rate

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

M-ary (Multi-Level) PAM – cont.



$$R_b = \log_2 4 \cdot R_s = 2R_s$$

$$T_s = 2 \cdot T_b$$

$$M = 4$$

$$R_b = R_s$$

$$T_s = T_b$$

$$M = 2 \text{ (Binary)}$$

2.1. Mapping (Formatting) – cont.

Perancangan sistem komunikasi digital dengan M-ary PAM:

☐ Semakin besar M:

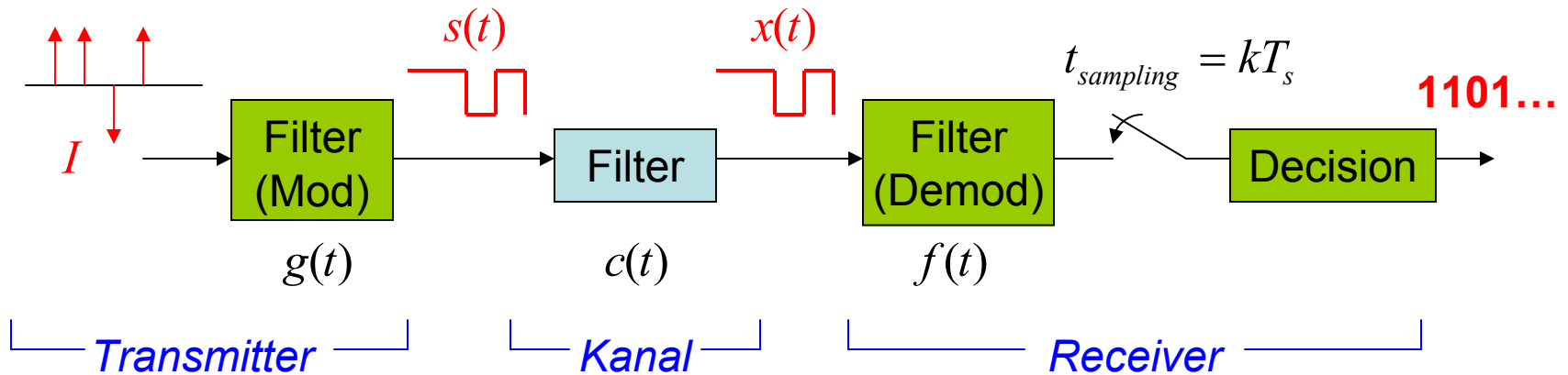
- ☺ semakin kecil bandwidth transmisinya (untuk suatu nilai Bit-rate yang diminta), atau
- ☺ semakin tinggi Bit-rate yang bisa ditunjang oleh bandwidth yg sama.
- ☹ semakin rentan terhadap noise → Symbol-Error Rate (SER) naik (untuk suatu nilai power yang dialokasikan), atau
- ☹ semakin besar power yang dibutuhkan untuk meraih suatu performansi SER yang sudah ditetapkan.

→ Dalam perancangan suatu sistem komunikasi, penetapan besarnya M harus disertai pertimbangan (kompromi) akan:

- Kecepatan transmisi (Bit-rate) yang diminta.
- Besarnya bandwidth yang dialokasikan.
- Performansi Simbol-Error-rate (SER) yang diminta.
- Besarnya power yang dialokasikan.

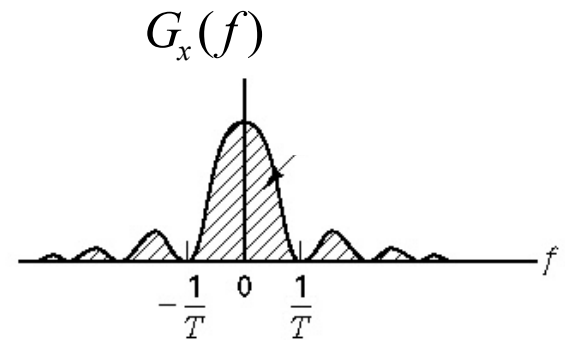
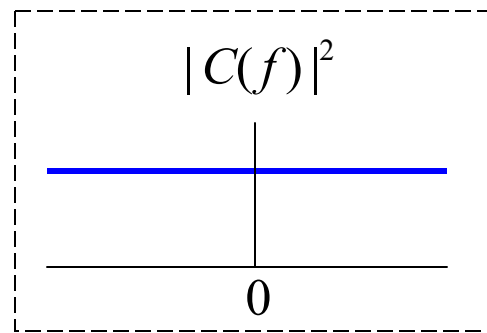
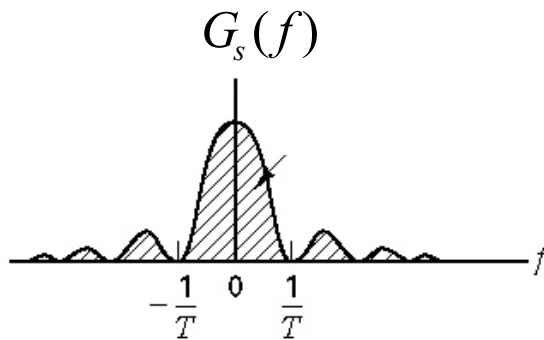
2.2. Pulse Shaping.

Transmisi Sinyal Baseband via Kanal dgn Infinite Bandwidth :



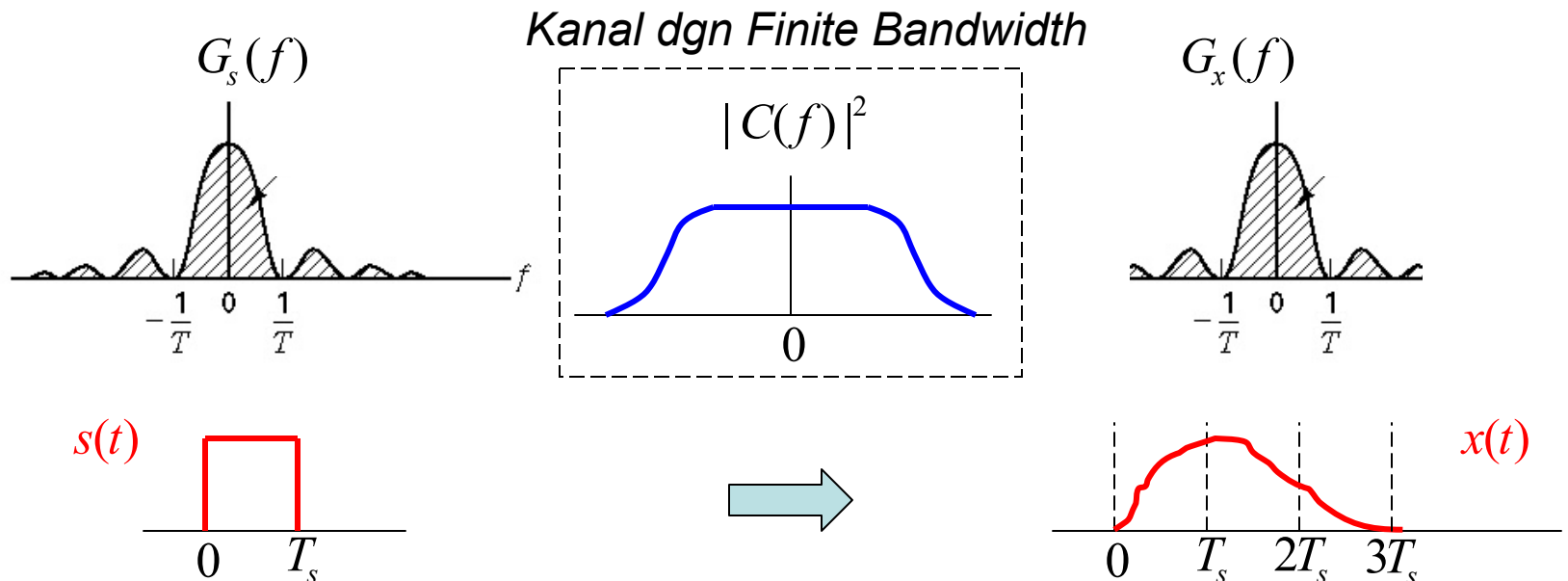
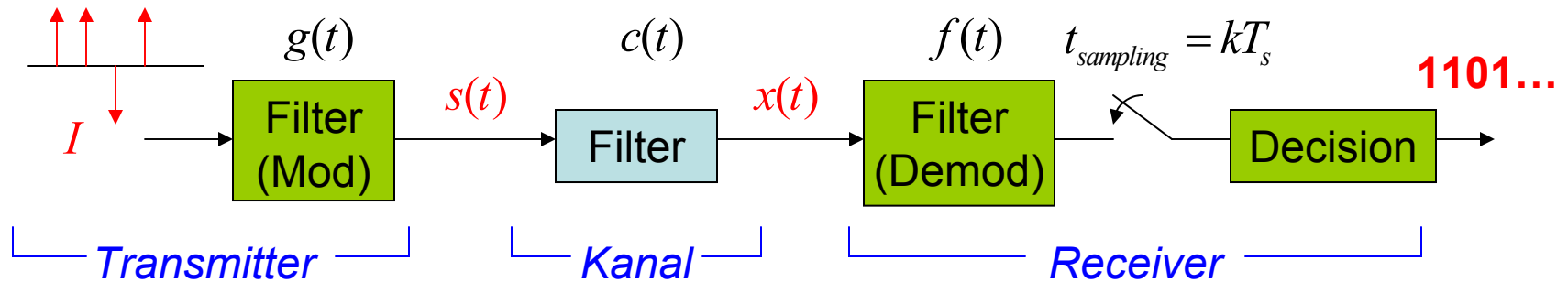
$T_s = \text{Durasi Simbol}$

Kanal dgn Infinite Bandwidth



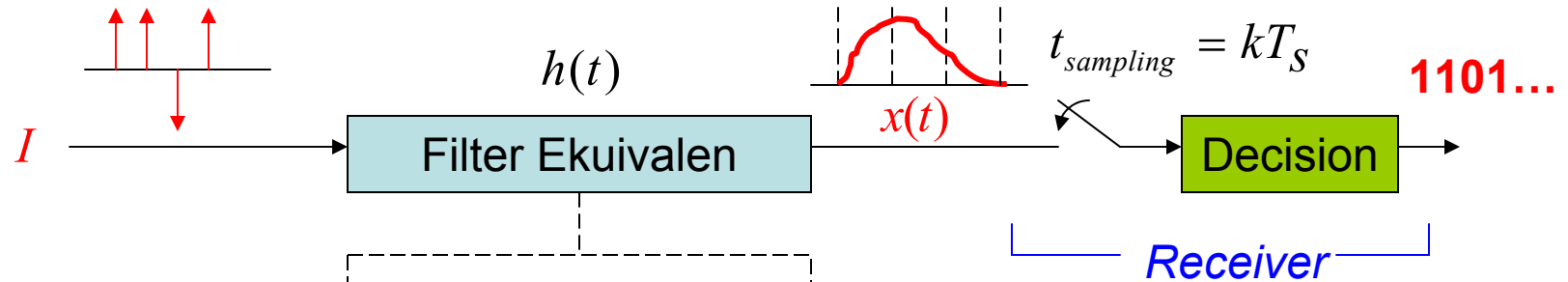
2.2. Pulse Shaping – cont.

Transmisi Sinyal Baseband via Kanal dgn Finite Bandwidth :



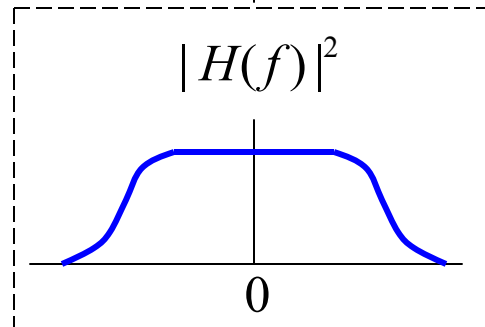
2.2. Pulse Shaping – cont.

Transfer Fungsi Keseluruhan dari Transmitter ke Receiver:

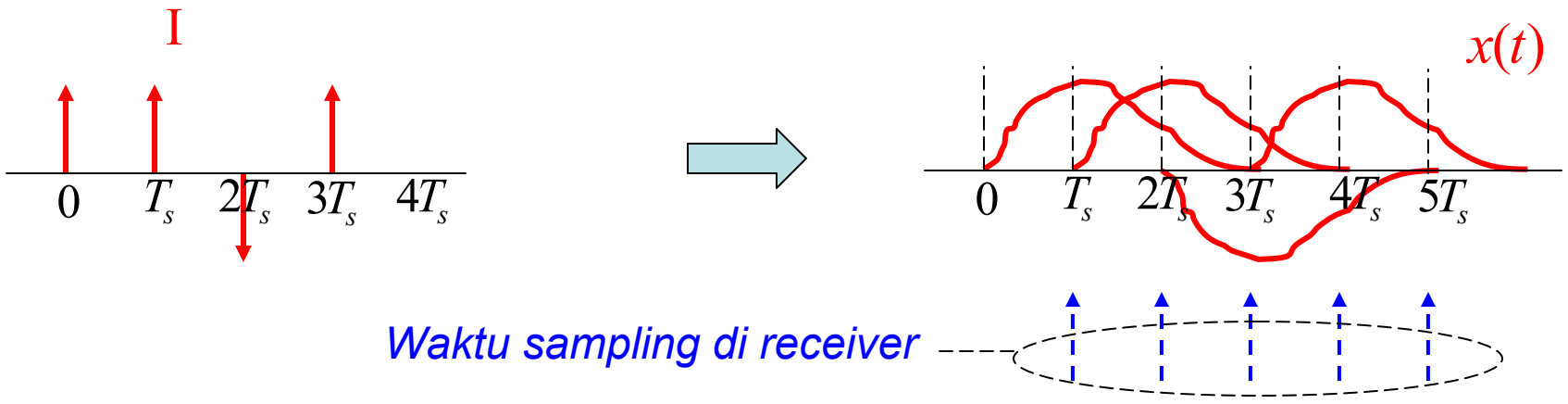


Filter Ekuivalen:

$$g(t) * c(t) * f(t)$$



Inter-Symbol Interference (ISI)



2.2. Pulse Shaping – cont.

- **PSD dari pulsa persegi (yg memiliki bandwidth tak terbatas) tidak dapat melalui kanal dengan bandwidth terbatas secara sempurna → pulsa yang diterima menjadi ‘lebar’.**
- **Rentetan pulsa yang melebar saling ber-interferensi (ISI).**
- **ISI dapat meningkatkan probabilitas receiver untuk membuat error.**
- **Bentuk pulsa persegi tidak kompatibel dengan kanal yang realistis → kanal dengan bandwidth terbatas (finite).**
- **Perlu bentuk pulsa lain untuk menghilangkan atau meminimalkan ISI.**

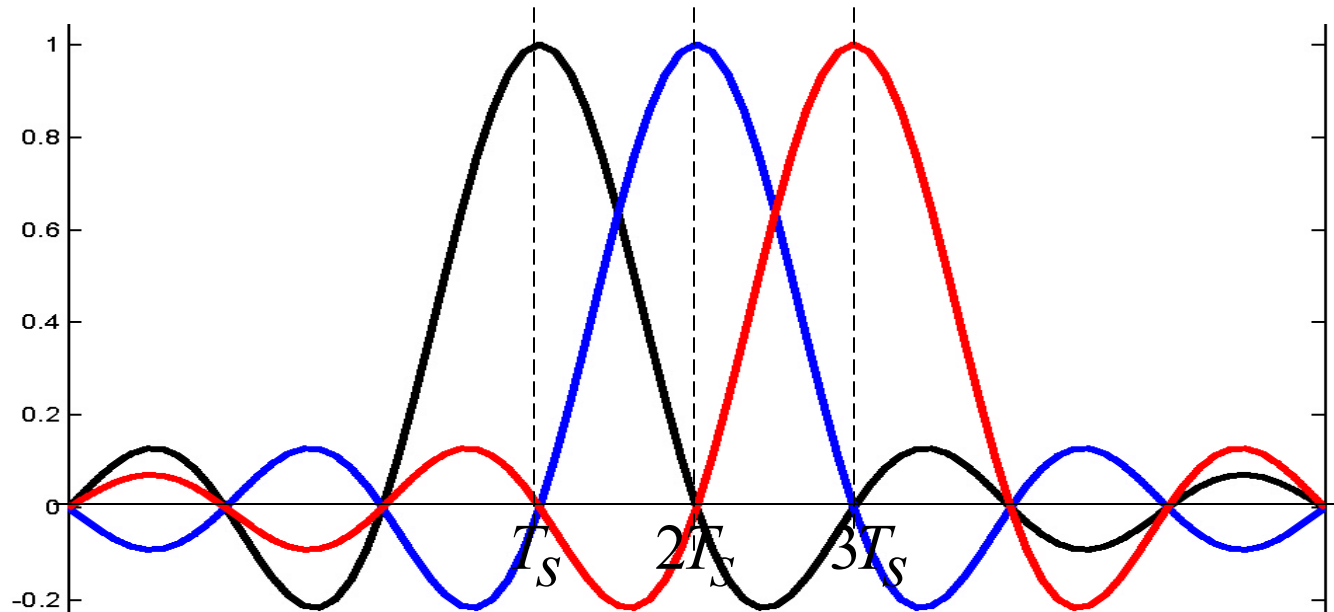
2.2. Pulse Shaping – cont.

Kriteria Nyquist : Untuk meng-eliminasi ISI, waveform pulsa yang diterima harus berbentuk pulsa *sinc* .

Bila sinkronisasi yg sempurna dapat dicapai, maka kontribusi dari pulsa-pulsa yang ber-sebelahan adalah NOL pada saat $t = kT_s$

Pulsa Sinc /
Pulsa Nyquist

$$\text{sinc}\left(\pi t \frac{1}{T_s}\right)$$

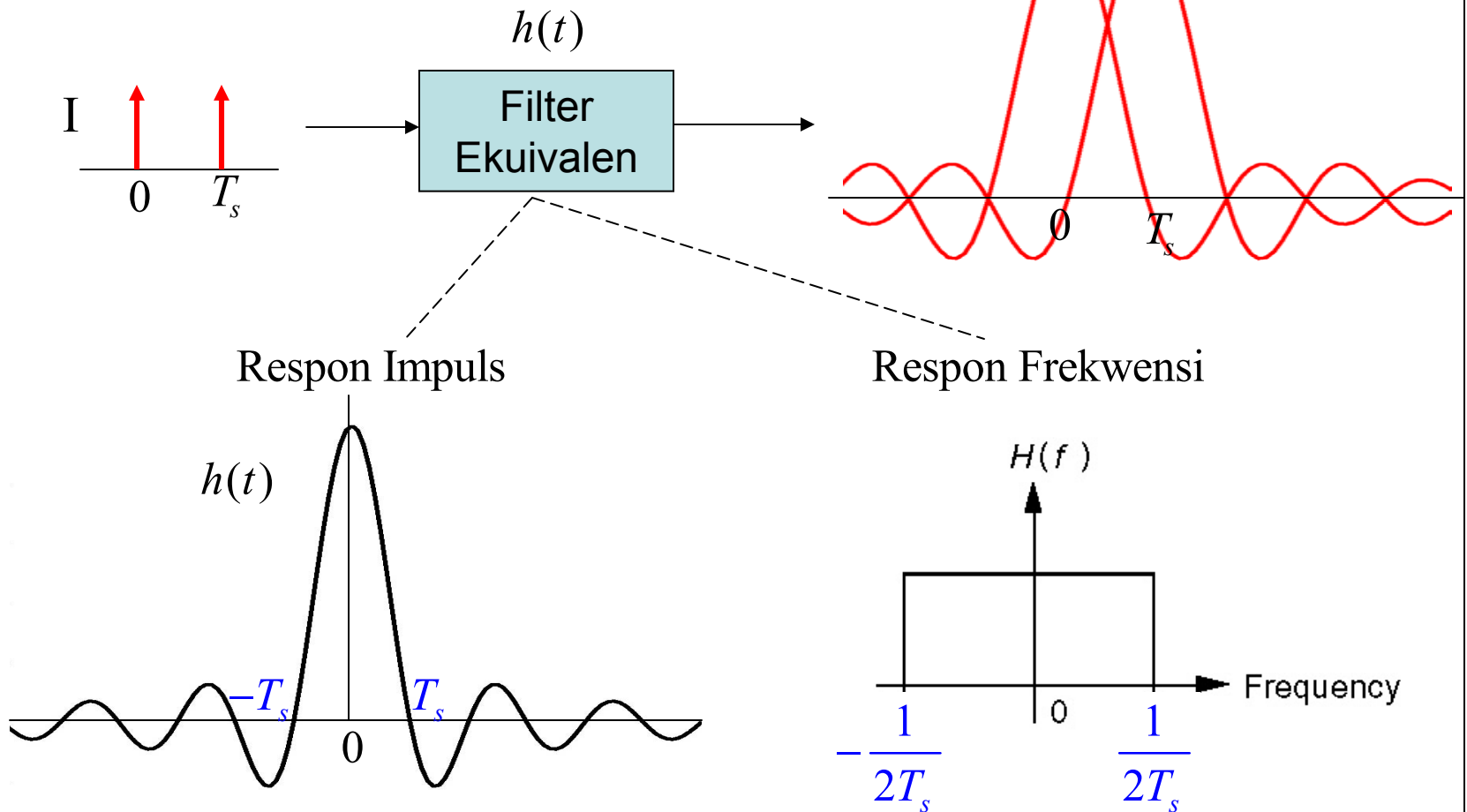


Waktu sampling di receiver $t_{\text{sampling}} = kT_s$

2.2. Pulse Shaping – cont.

Kanal Nyquist :

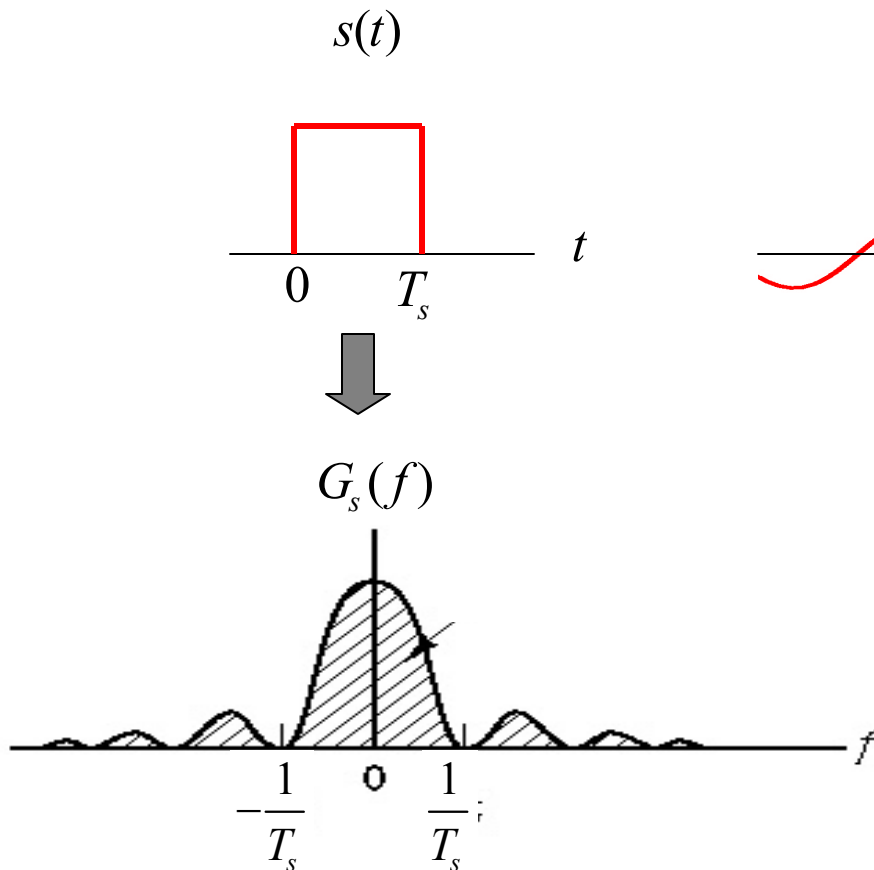
Pulsa yg diterima: Pulsa Sinc/Nyquist



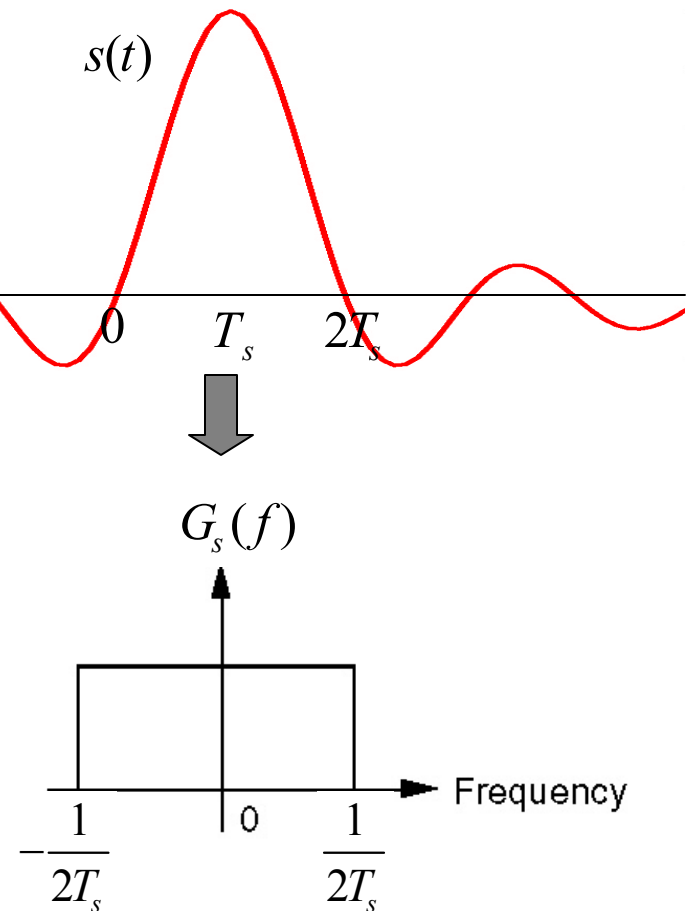
2.2. Pulse Shaping – cont.

Pulsa Persegi vs. Pulsa Sinc/Nyquist:

Pulsa Persegi

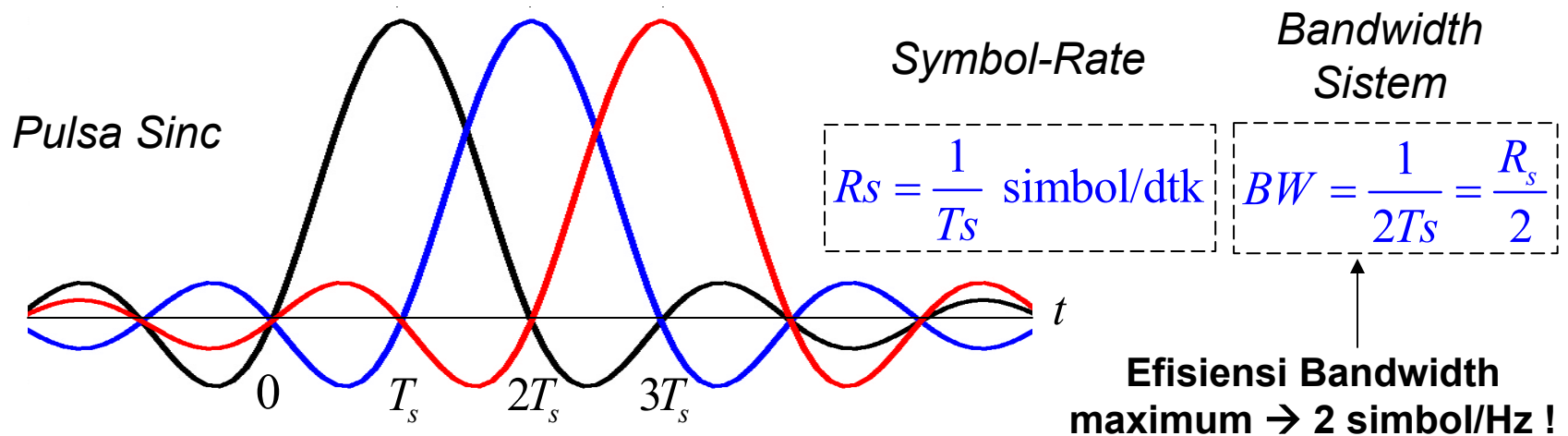


Pulsa Sinc / Nyquist



2.2. Pulse Shaping – cont.

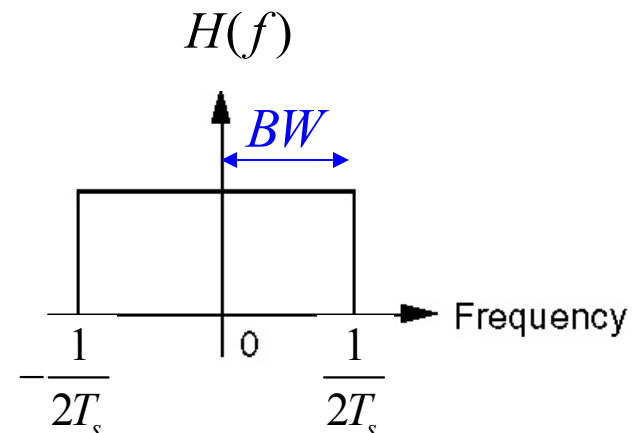
Pulsa Sinc/Nyquist: Pulsa yg Sempurna, tapi...



$$t_{\text{sampling}} = kT_s$$

Problem:

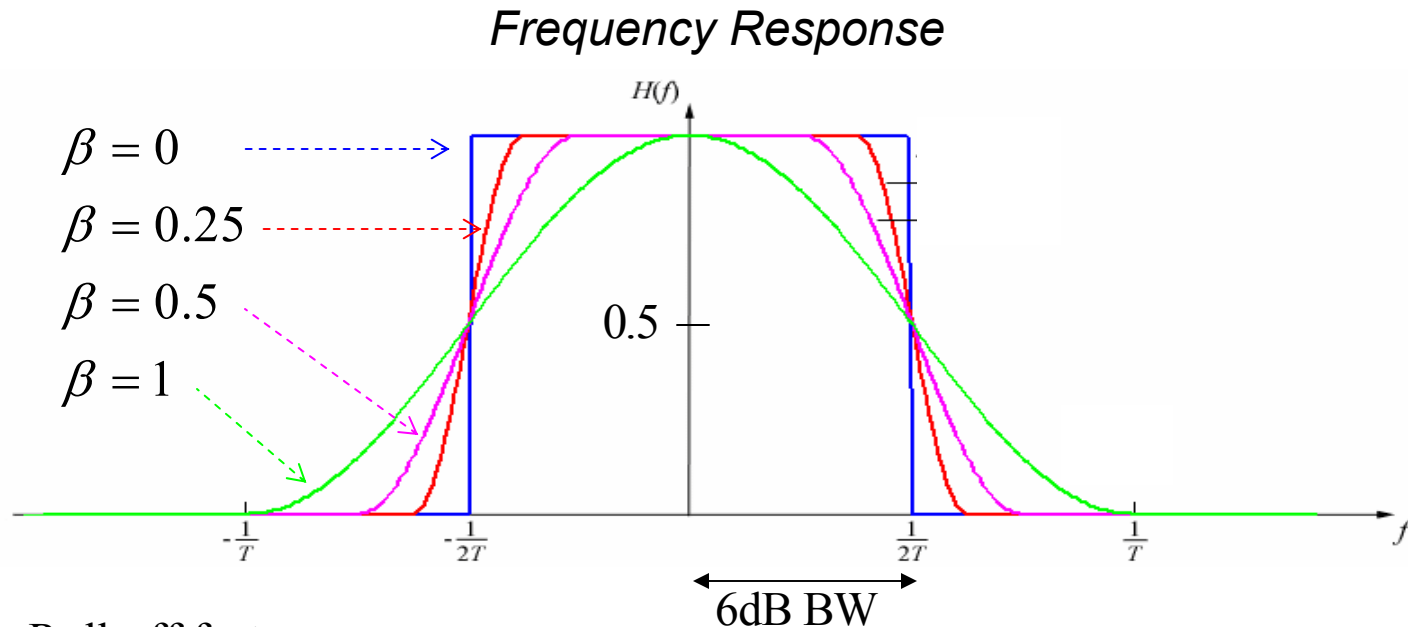
- ☹ **Pulsa Sinc memiliki sidelobe yg besar \rightarrow jika sinkronisasi tdk sempurna, ISI tetap eksis.**
- ☞ **Sinkronisasi pada prakteknya tidak bisa 100% akurat.**



2.2. Pulse Shaping – cont.

Solusi: Raised-Cosine Filter

$\beta = 0 \rightarrow$ filter nyquist



β = Roll-off factor

- > mengontrol besarnya bandwidth sistem
- > mengontrol besarnya sidelobe pulsa

6dB Bandwidth

$$6 \text{ dB } BW = \frac{R_s}{2}$$

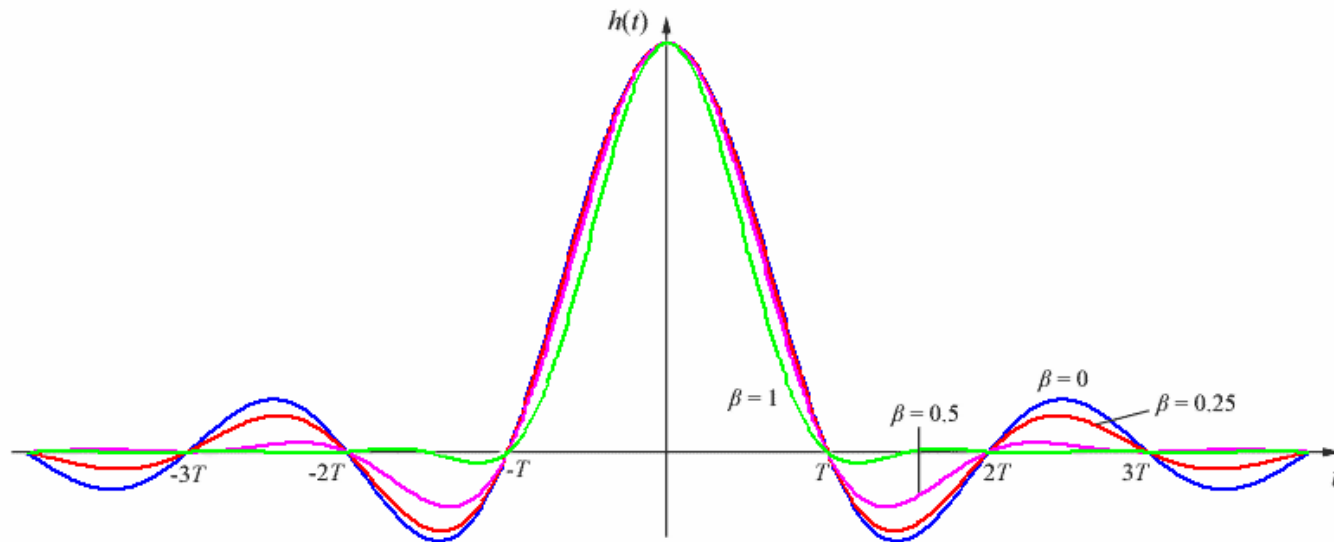
Bandwidth Sistem

$$BW = \frac{1}{2}(1 + \beta)R_s$$

2.2. Pulse Shaping – cont.

Solusi: Raised-Cosine Filter

Impulse Response



$$h(t) = 2W_0 \operatorname{sinc}(2W_0 t) \frac{\cos [2\pi (W - W_0) t]}{1 - [4 [W - W_0] t]^2}$$

Dengan sidelobe pulsa yang kecil sinkronisasi tdk perlu harus 100% akurat, sedikit 'timing error' hanya menimbulkan ISI yang insignifikan.

2.2. Pulse Shaping – cont.

Solusi: Raised-Cosine Filter

Persamaan untuk Respon Frekwensi dari RC Filter:

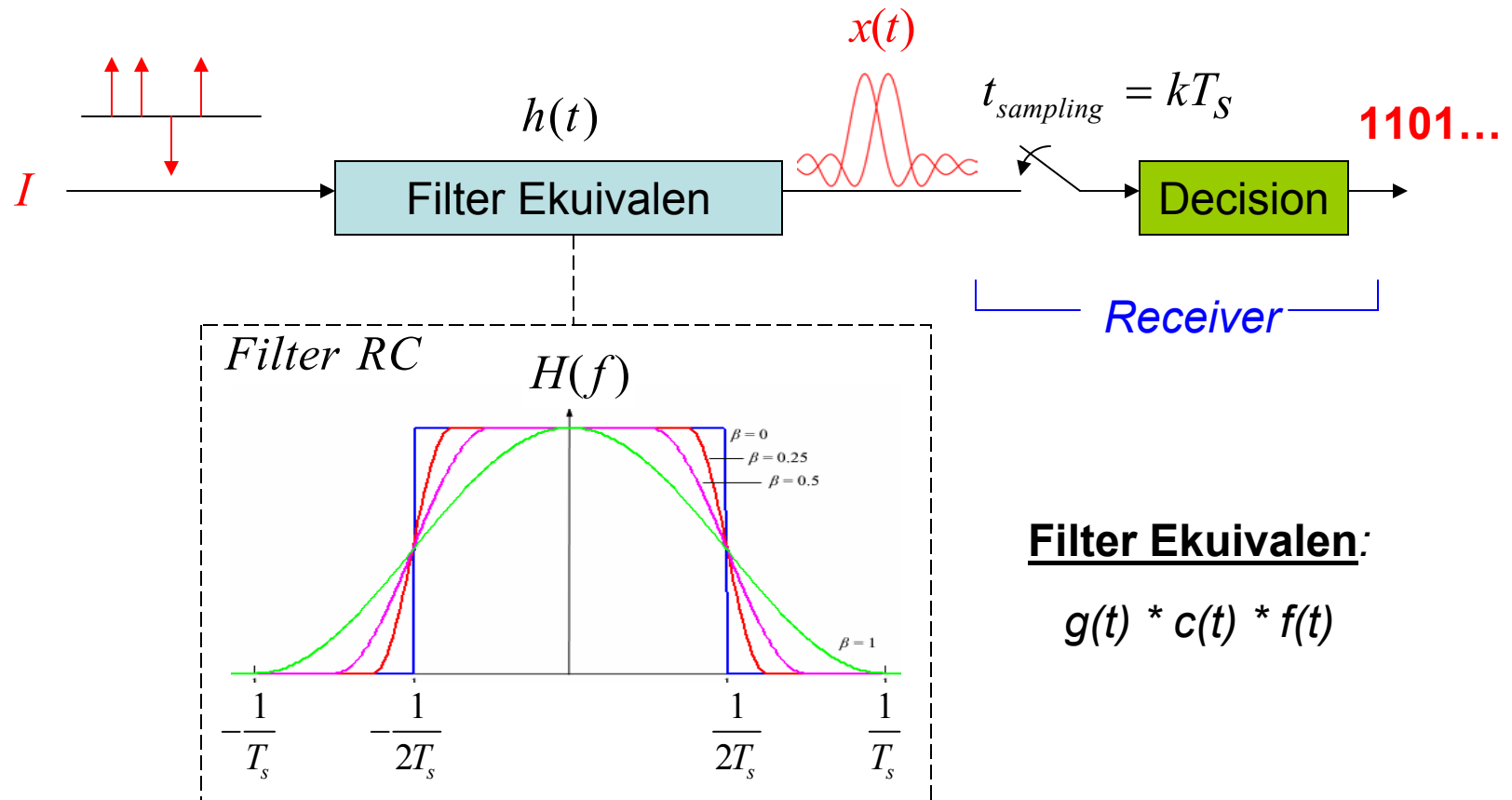
$$H(f) = \begin{cases} 1 & ; |f| < W_0 - BW \\ \cos^2 \left(\frac{\pi (|f| + BW - 2W_0)}{4 (BW - W_0)} \right) & ; (2W_0 - BW) < |f| < BW \\ 0 & ; |f| > BW \end{cases}$$

$$W_0 = \frac{1}{2T_s}$$

$$BW = \text{Bandwidth Sistem} = \frac{1}{2T_s} (1 + \beta) = \frac{R_s}{2} (1 + \beta)$$

2.2. Pulse Shaping – cont.

Filter Raised Cosine sebagai Transfer Fungsi Keseluruhan:



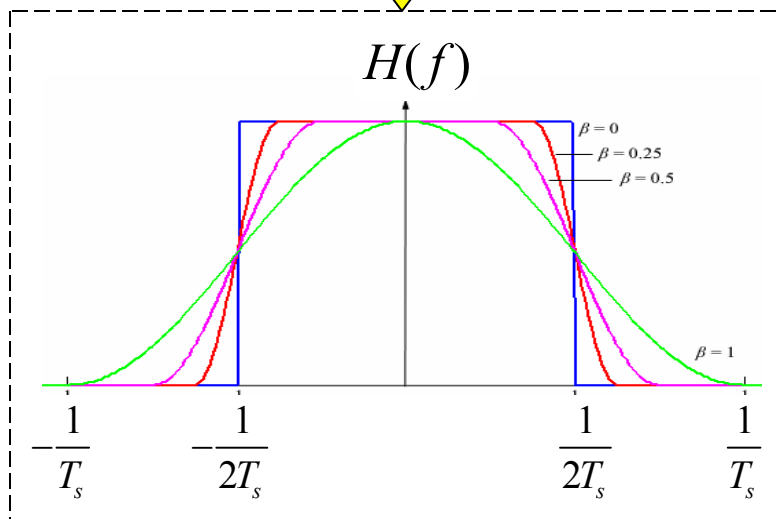
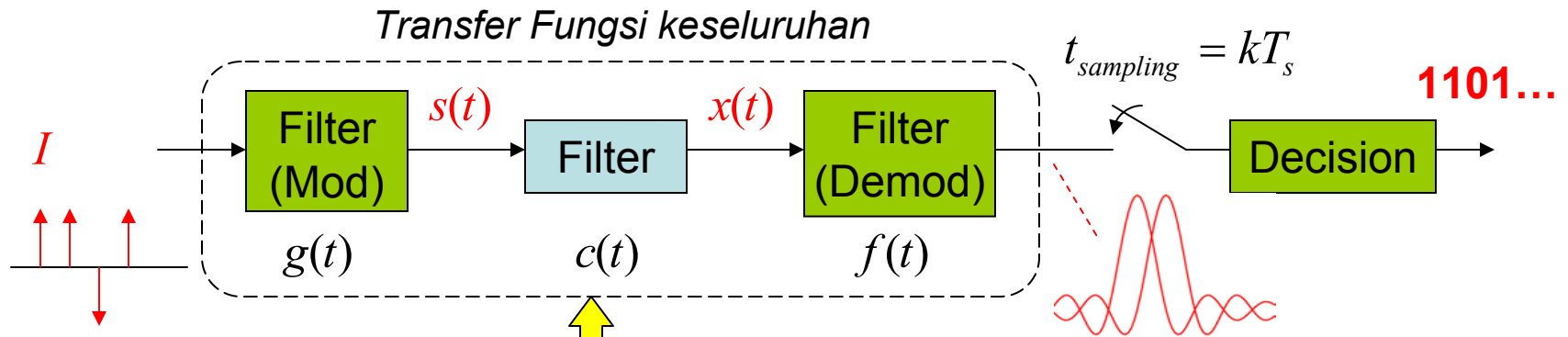
Filter Ekuivalen:

$$g(t) * c(t) * f(t)$$

Transmisi yang relatif bebas dari ISI diperoleh jika transfer fungsi keseluruhan sistem berupa filter Raised Cosine → **Filter Ekuivalen = Filter Raised Cosine.**

2.2. Pulse Shaping – cont.

Seperti apakah bentuk Transmit Filter & Receive Filter sehingga transfer fungsi keseluruhan = Raised Cosine (RC)?



Filter RC difaktorkan menjadi 2 filter:

Transmit Filter:

$$G(f) = \sqrt{H(f)} \sim \text{SRRC}$$

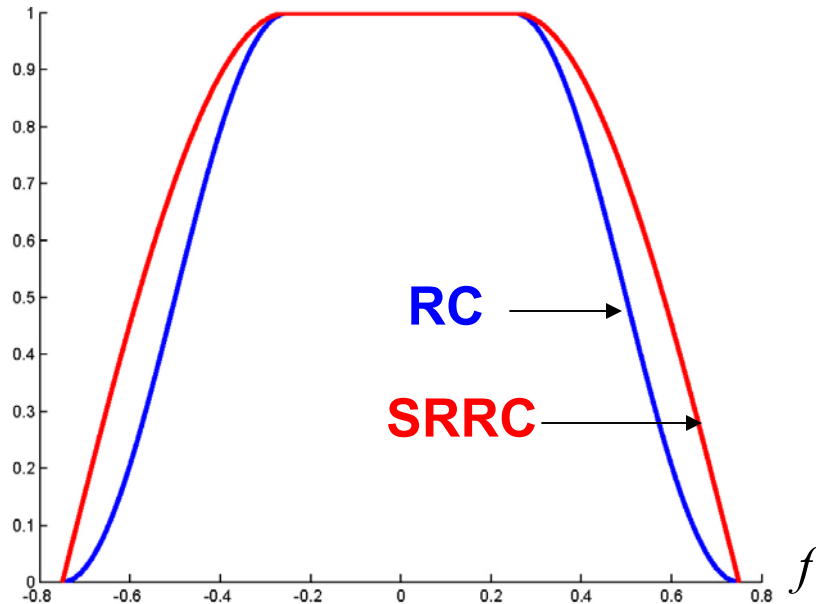
Receive Filter:

$$F(f) = \sqrt{H(f)} \sim \text{SRRC}$$

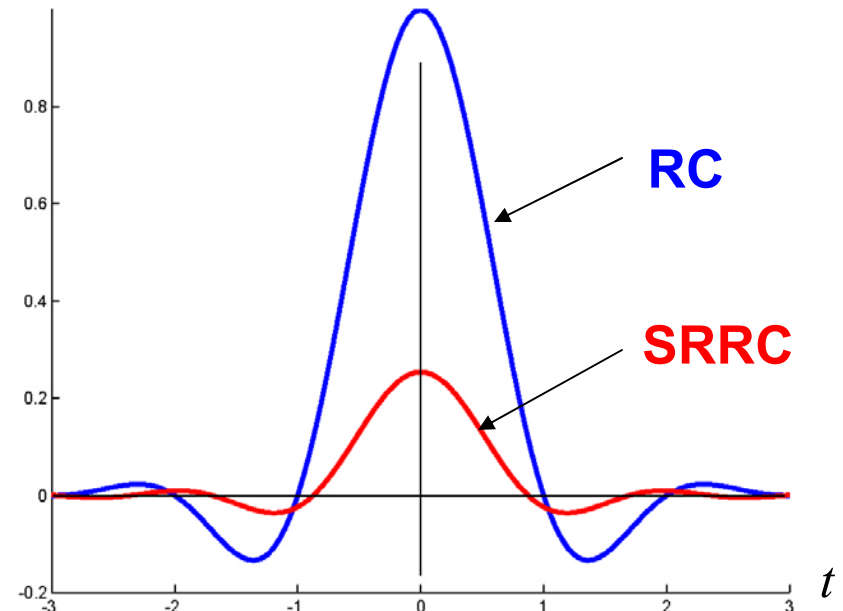
2.2. Pulse Shaping – cont.

Square-Root Raised Cosine Filter (SRRC) :

Frequency Response



Impulse Response

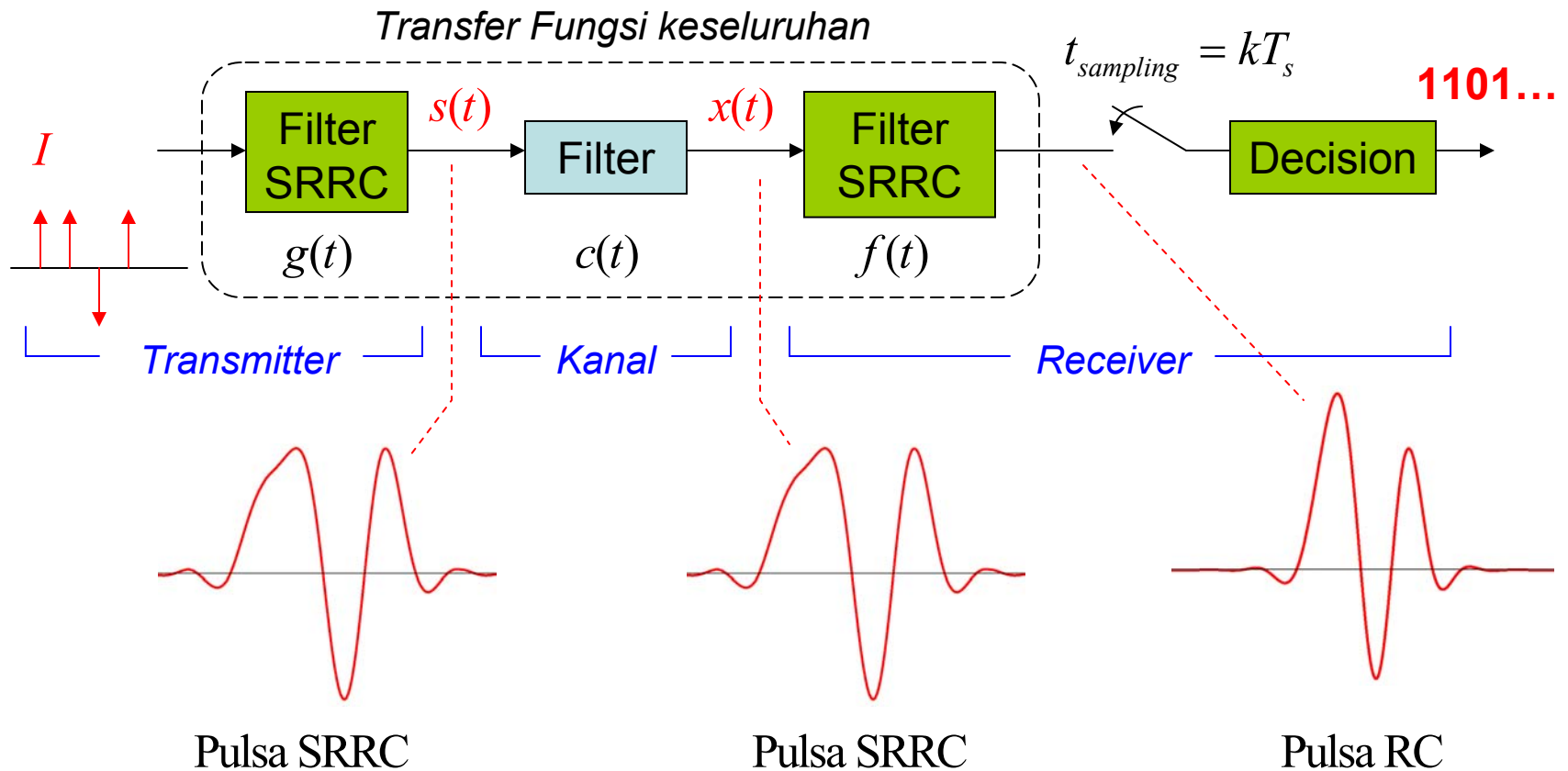


$$T_s = 1 \text{ (detik)}$$

$$\beta = 0.5$$

2.2. Pulse Shaping – cont.

Dengan $\sqrt{H(f)}$ sebagai Transmit filter & Receive filter, maka Fungsi Transfer keseluruhan menjadi $\sqrt{H(f)} \cdot \sqrt{H(f)} = H(f) \rightarrow$ Raised Cosine

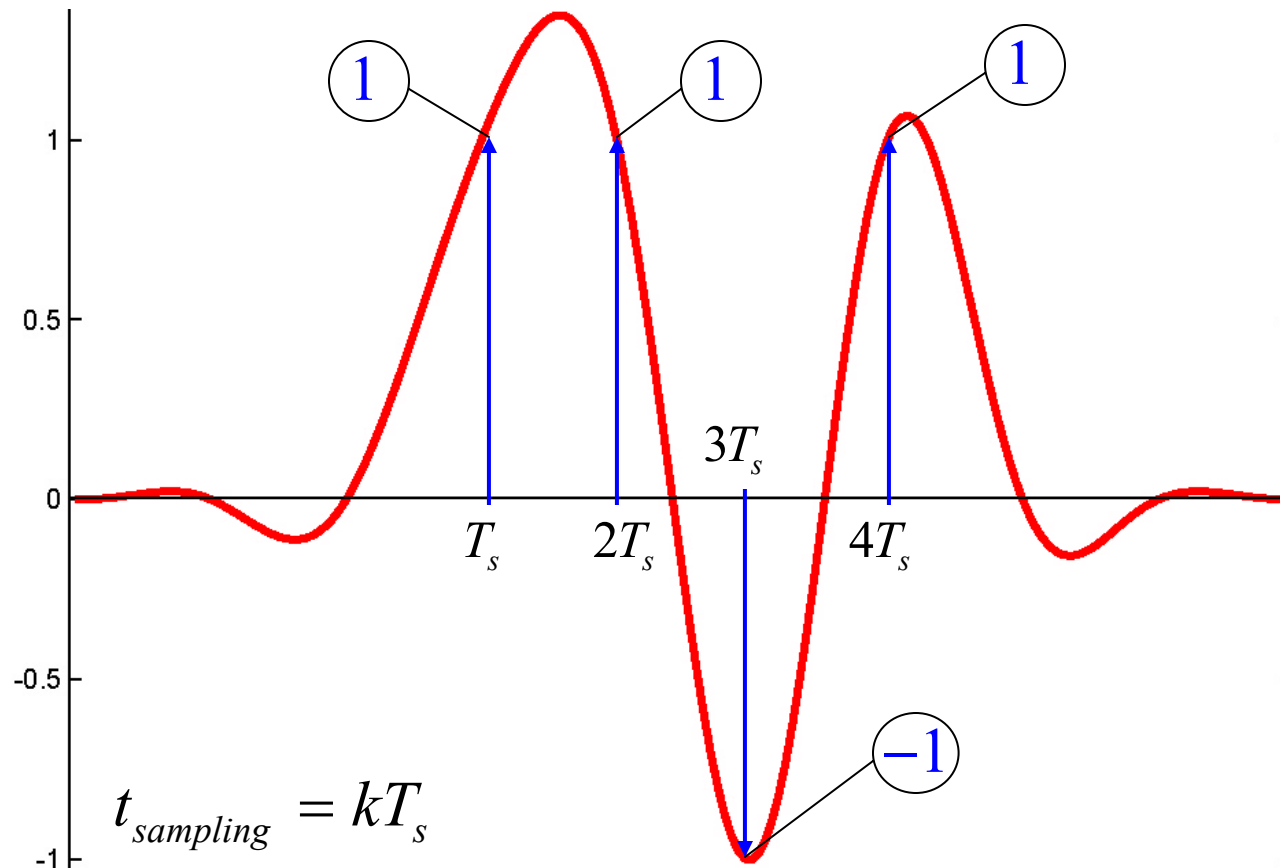


2.2. Pulse Shaping – cont.

Rentetan pulsa RC yang diterima oleh modul 'Decision' pada Receiver

Data yg dikirim: 1 1 -1 1

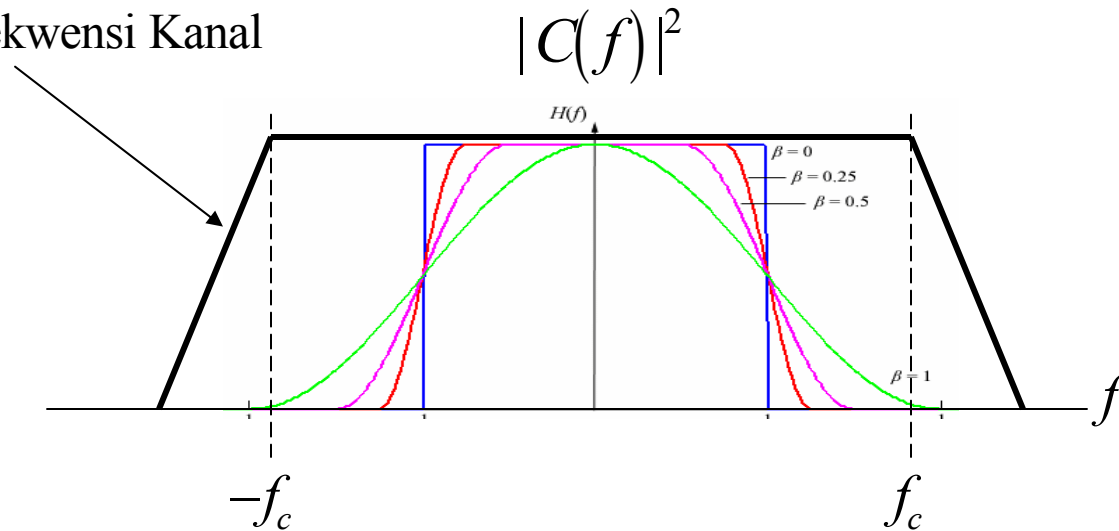
Pada waktu sampling kT_s , amplitudo pulsa = 1 1 -1 1 → tidak ada ISI!



2.2. Pulse Shaping – cont.

Kita tdk punya kontrol atas transfer fungsi kanal, tapi bila kondisi spt yg digambarkan di bawah ini terpenuhi maka transfer fungsi keseluruhan sistem tetap berupa Raised Cosine.

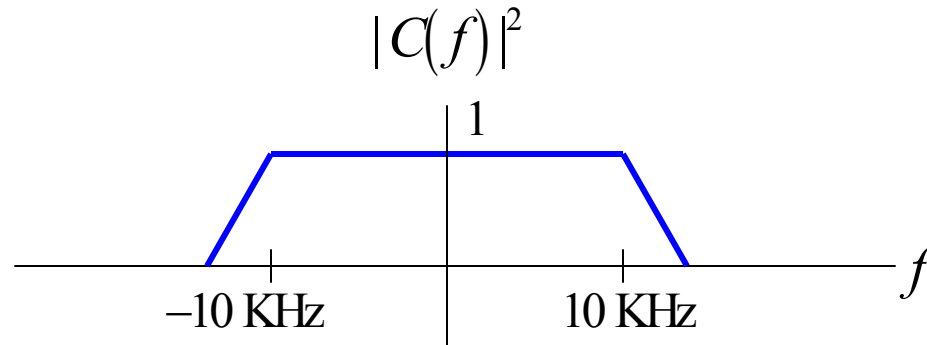
Respon Frekwensi Kanal



- ☺ Selama Transfer Fungsi keseluruhan yg berupa Raised Cosine berada di bawah naungan passband kanal (bandwidth sistem $< f_c$), tidak ada masalah dan transmisi data secara efektif bebas dari ISI.
- ☝ Prinsip perancangan sistem: kompromikan data-rate dengan bandwidth kanal yang tersedia.

2.2. Pulse Shaping – cont.

Contoh: Diketahui kanal transmisi mempunyai respon frekwensi sebagai berikut:



Kita ingin mengirim data dengan modem yang menggunakan format Binary PAM.

Berapakah Bit-Rate maksimum yang dapat kita kirim bila modem tersebut menggunakan SRRC transmit filter (modem penerima juga menggunakan SRRC receive filter)?

Parameter SRRC filter: $\beta = 0.5$

Modem di kedua sisi menggunakan SRRC filter, maka transfer fungsi keseluruhan yg di-inginkan adalah Raised Cosine. Agar bebas dari ISI bandwidth sistem dari RC tsb tdk boleh melebihi 10 KHz.

$$BW = \frac{R_s}{2}(1+\beta) = 0.75 R_s = 10,000 \text{ Hz}$$

$$R_s = 13,333 \text{ simbol/detik.}$$

$$\text{Untuk Binary PAM, } R_b = R_s = 13.3 \text{ kbps.}$$