

TKE 2403

SISTEM PENGOLAHAN ISYARAT

Kuliah 1 – Sinyal Deterministik



**UNIVERSITAS
MERCU BUANA
YOGYAKARTA**

Indah Susilawati, S.T., M.Eng.

**Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Mercu Buana Yogyakarta**

2009

KULIAH 1

TEKNIK PENGOLAHAN SINYAL SINYAL : SINYAL DETERMINISTIK

Diterjemahkan dari kamus Inggris Oxford, **sinyal** adalah suatu tanda (*sign*) atau pemberitahuan (*notice*) yang dapat ditangkap oleh penglihatan atau pendengaran terutama untuk kepentingan penyampaian peringatan, petunjuk, atau informasi. Berikut beberapa contoh sinyal dalam kehidupan sehari-hari.

Tabel 1. Contoh sinyal dalam kehidupan sehari-hari

Sinyal	Bergantung Waktu ?	Media	Informasi
Tanda Henti	Tidak	Huruf S pada sebuah papan	Peringatan
<i>Traffic Light</i>	Ya	Cahaya	Peringatan
<i>Zein</i>	Ya	Cahaya	Peringatan
Termometer	Ya	Tinggi air raksa	Suhu (Pengukuran)
Amperemeter	Ya	Simpangan jarum	Arus (Pengukuran)

Untuk sebagian besar deskripsi dan analisis, sebuah sinyal dapat didefinisikan secara sederhana sebagai sebuah fungsi matematika sebagai berikut.

$$y = f(x) \quad (1)$$

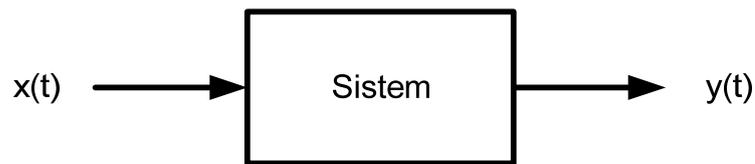
dengan x adalah variabel atau peubah yang independen (nilainya tidak bergantung pada nilai peubah lain) dan y (sinyal) merupakan peubah yang tidak independen (dalam hal ini nilai y bergantung pada nilai x). Peubah independen menentukan **domain** (daerah asal) dari sinyal, misalnya:

- $y = \sin(\omega t)$ adalah suatu fungsi dengan variabel dalam domain waktu (*time-domain*) t sehingga merupakan sinyal yang ubah waktu (*time-signal*).

- $x(\omega) = 1/(-m\omega^2 + ic\omega + k)$ adalah sinyal yang mempunyai domain frekuensi yaitu ω atau disebut *frequency-domain signal*.
- Intensitas citra (*image*) $I(x,y)$ merupakan sinyal yang mempunyai domain spasial atau disebut *spasial-domain signal*.

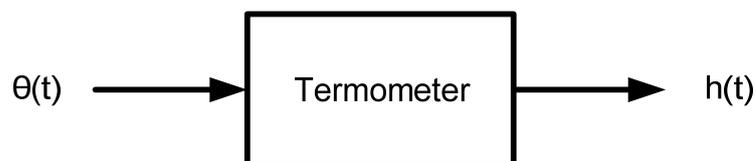
Transduser dan Sensor

Transduser dapat didefinisikan sebagai sebuah medium (baik sintetis atau alamiah) yang mengubah sinyal dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Sebagai contoh misalnya sebuah mikrofon, *speaker*, atau antena pada sebuah pesawat telepon. Sebuah sistem bisa saja tidak mengubah domain sinyal, namun juga dapat mengubah domain sinyal.



Gambar 1. Sebuah sistem

Sensor didefinisikan sebagai satu tipe dari transduser yang mengubah sinyal yang sebelumnya tidak dapat dikuantisasikan atau tidak dapat disimpan dalam suatu media menjadi sinyal yang dapat dikuantisasikan atau dapat disimpan dalam suatu media. Sebagai contoh adalah sebuah termometer pada Gambar 2.



Gambar 2. Sebuah termometer sebagai sebuah sensor

Pada Gambar 2, sinyal $\theta(t)$ adalah rerata energi kinetik dari sebuah materi (misalnya tubuh pasien) dan $h(t)$ adalah ketinggian air raksa pada tabung termometer.

Karena pembahasan dalam mata kuliah ini adalah dalam konteks teknik maka faktor presisi menjadi sesuatu yang penting. Perlu dicatat pula bahwa kata “sensor” dapat digunakan dalam konteks yang lebih luas. Misalnya kulit manusia kadangkala dapat dianggap sebagai sensor karena dapat membangkitkan sinyal yang merespon tekanan atau suhu. Namun perlu disadari bahwa ada satu kelemahan dalam hal ini, yaitu bahwa kulit manusia tidak dapat mengkuantisasikan sinyal (berapa derajat suhu saat ini?). Kulit manusia mungkin hanya akan membedakan suhu dalam tiga level yaitu dingin, hangat, dan panas.

Salah satu jenis sensor adalah **sensor linier**. Misalnya, sebuah sensor termometer yang linier dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\theta(t) \rightarrow h(t) \quad (2a)$$

maka

$$\alpha [\theta(t) - \theta_0] \rightarrow \alpha [h(t) - h_0] \quad (2b)$$

Dengan kata lain bahwa dengan nilai awal termometer adalah (θ_0, h_0) , ketinggian air raksa pada tabung termometer akan dua kali lipat jika suhu naik dua kali lipat, dan seterusnya. Cara lain untuk menyatakan hal ini adalah:

$$h(t) = a \theta(t) + b \quad (3)$$

dengan a dan b adalah konstanta. Dalam hal ini dimungkinkan untuk menentukan nilai a dan b dengan ilmu fisika. Beberapa contoh transduser ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh transduser

Transduser	Input	Efek Fisik	Output
Termometer	Suhu	Ekspansi linier	Ketinggian air raksa
Kertas litmus	Ph	Transformasi kimiawi	Warna
Aktuator Piezoelektrik	Tegangan	Efek Piezoelektrik	Tenaga
Akselerometer Piezoelektrik	Kecepatan	Invers efek Piezoelektrik	Tegangan

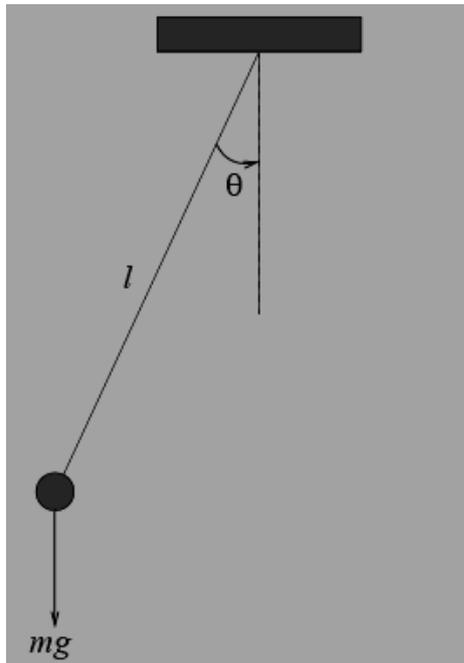
Sinyal Deterministik

Menyatakan sebuah sinyal sebagai fungsi matematis terkadang terlalu luas atau bahkan terlalu samar (*vague*). Oleh karenanya sinyal seringkali diklasifikasikan menjadi dua grup yang berbeda, yaitu **sinyal deterministik (*deterministic signals*)** dan **sinyal acak (*random signals*)**. Berikut akan dijelaskan mengenai hal ini.

Misalkan ada sebuah sensor yang mengukur pergeseran sebuah pendulum sederhana pada Gambar 3. Menggunakan dasar-dasar yang dipelajari dalam ilmu fisika maka

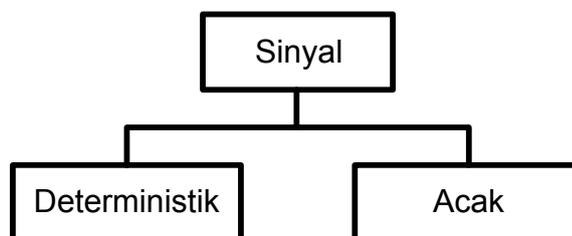
$$\theta(t) = \theta_m \sin(\omega t) \quad (4)$$

dengan θ_m adalah amplitude maksimum gerakan pendulum dan $\omega = \sqrt{l/g}$ dengan l adalah panjang pendulum dan g adalah percepatan gravitasi. Karena sistem mempunyai amplitude konstan, frekuensi yang juga konstan, dan kondisi awal ($\theta = 0$ saat $t = 0$), maka nilai $\theta(t)$ dapat diketahui untuk semua nilai t . Demikian juga jika ada dua pendulum yang identik yang dilepaskan dari $\theta = \theta_0$ saat $t = 0$ akan mempunyai gerakan yang sama untuk semua harga t . Dalam hal ini tidak ada hal yang tidak pasti (*uncertain*).



Gambar 3. Pendulum sederhana

Jika secara unik dapat ditentukan nilai θ untuk semua nilai t , dengan kata lain bahwa hubungan antara θ dan t diketahui, maka gerakan pendulum dapat diperkirakan (*predictable*) atau disebut deterministik (*deterministic*). Hal yang sebaliknya adalah bahwa jika sinyal pada suatu nilai waktu t tidak dapat diperkirakan meskipun nilai-nilai variabel lain diketahui. Sinyal yang seperti ini disebut sinyal acak (*random*) atau disebut juga bersifat probabilistik (*probabilistic*). Pembagian sinyal seperti ini dapat diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Klasifikasi sinyal; deterministik dan acak

Jika dikaji lebih lanjut, gerakan pada pendulum di atas mempunyai sifat-sifat yang khusus. Misalkan didefinisikan sebuah periode τ dengan $\tau = 2\pi / \omega = 2\pi\sqrt{g/l}$, maka untuk pendulum tersebut berlaku

$$\theta(t) = \theta(t + \tau) \quad (5)$$

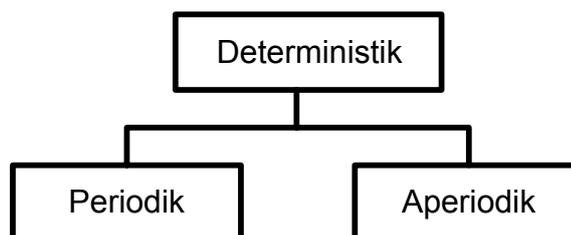
Dan sinyal yang mempunyai sifat seperti ini disebut **sinyal periodik**. Persamaan di atas juga mengimplikasikan bahwa

$$\theta(t + 2\tau) = \theta([t + \tau] + \tau) = \theta(t + \tau) = \theta(t) \quad (6)$$

yaitu bahwa sinyal tersebut berulang sampai tak hingga.

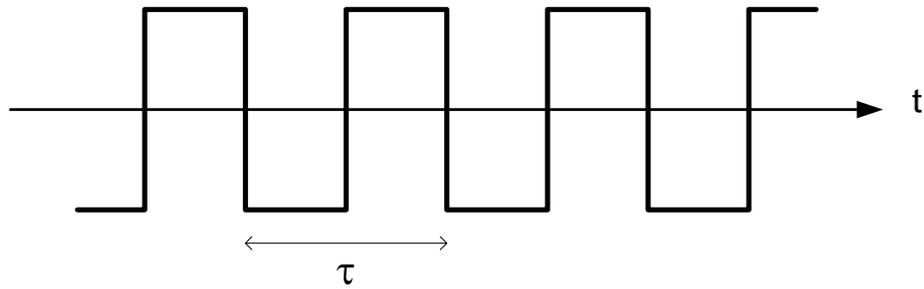
Sinyal-sinyal periodik muncul secara alamiah dalam sistem-sistem dimana terjadi rotasi (putaran), misalnya roda gigi atau *gearboxes*. Pada pembahasan lain akan diperlihatkan bagaimana sinyal-sinyal periodik dapat digunakan untuk mempermudah pengujian sebuah sistem; biasanya respon sistem juga akan berupa sinyal periodik (untuk sistem linier).

Dengan demikian sinyal deterministik dapat dibagi menjadi dua jenis sinyal yaitu sinyal periodik dan sinyal aperiodik. **Sinyal aperiodik** merupakan sinyal yang tidak memenuhi sifat periodik seperti dinyatakan oleh persamaan (5) atau (6).



Gambar 5. Klasifikasi sinyal deterministik; periodik dan aperiodik

Perlu diperhatikan bahwa periodisitas tidak berarti harus berbentuk sinusoidal, perhatikan gelombang kotak berikut ini yang juga merupakan sinyal periodik.

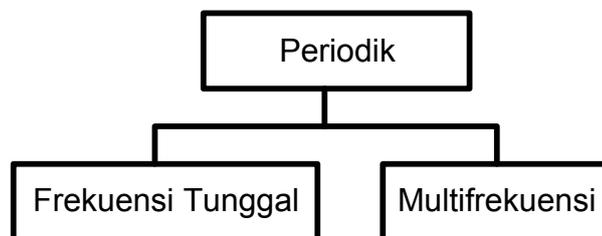


Gambar 6. Gelombang kotak; sebuah sinyal periodik

Dalam pembahasan yang lanjut nantinya akan dijelaskan bahwa gelombang kotak mempunyai bentuk fungsional (yaitu deret Fourier) sebagai berikut.

$$S(t) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin\left(\frac{2\pi k}{\tau} t\right) \quad (7)$$

Yaitu bahwa gelombang kotak tersusun atas superposisi (jumlahan) tak terhingga gelombang sinus dengan periode τ , $\tau/2$, $\tau/3$, Hal terpenting yang terlihat di sini adalah bahwa komponen dengan periode $\tau/2$, $\tau/3$, dst terus berulang setelah waktu τ yaitu $S(t) = S(t + \tau)$ dan gelombang kotak pada persamaan (7) merupakan sinyal periodik. Dari kenyataan ini sinyal periodik dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu **periodik frekuensi tunggal (*monofrequency*)** dan **multifrekuensi (*multifrequency*)**.



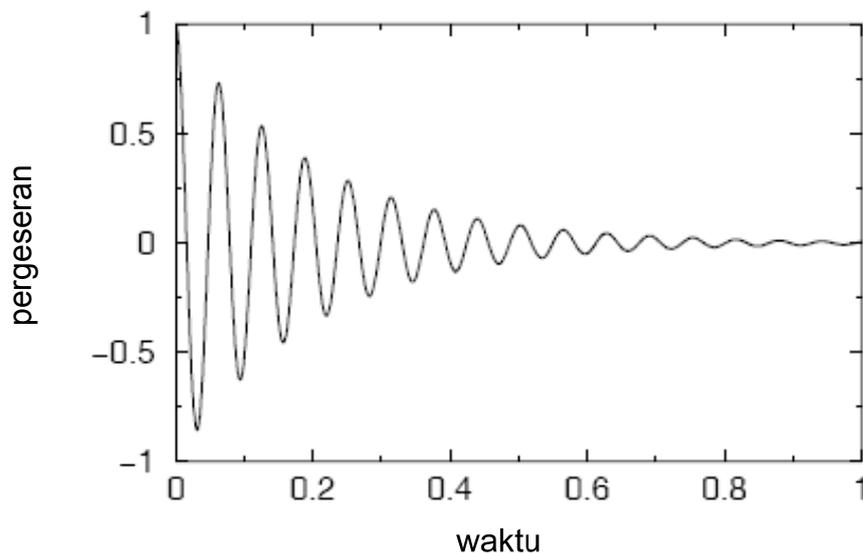
Gambar 7. Klasifikasi sinyal periodik; frekuensi tunggal dan multifrekuensi

Periodisitas yang dinyatakan oleh persamaan (5) dan (6) mengimplikasikan bahwa sinyal periodik berulang sepanjang waktu, sehingga dengan demikian jenis sinyal aperiodik merupakan sinyal yang hanya ada pada suatu waktu yang tertentu saja.

Misalkan tanggapan pendulum teredam yang dilepaskan dari posisi setimbang $\theta = \theta_0$ pada saat $t = 0$ yang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$y(t) = \theta_0 e^{-ct} \cos(\omega t) \quad (8)$$

Sinyal ini hanya ada untuk waktu yang terhingga saja. Meskipun nilai $e^{-ct} > 0$ untuk sebarang waktu t , sistem riil akan dibawa ke titik setimbang oleh efek pangkat-tinggi (*higher order*) daripada redaman. Respon sistem ini diperlihatkan pada Gambar 8.



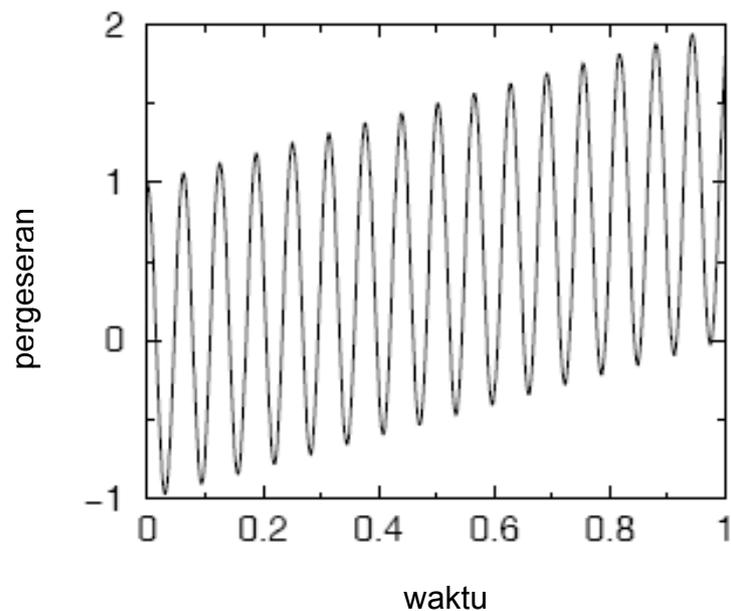
Gambar 8. Respon transien

Sinyal-sinyal yang hanya ada pada suatu jangkauan waktu yang tertentu saja disebut **transien**. Beberapa contoh untuk sinyal semacam ini adalah respon sistem terhadap eksitasi berupa impuls, sebuah ledakan, atau petir (halilintar).

Kebalikan dari sebuah transien adalah sejenis **fungsi aperiodik yang tak berhingga**. Dalam hal ini periodisitas gagal tercapai karena satu atau lebih parameter penting sinyal berubah. Misalnya rerata sinyal berubah.

$$y(t) = at + b \cos(\omega t) \quad (9)$$

Pada Gambar 9 diperlihatkan satu contoh sinyal dengan rerata yang ubah waktu.

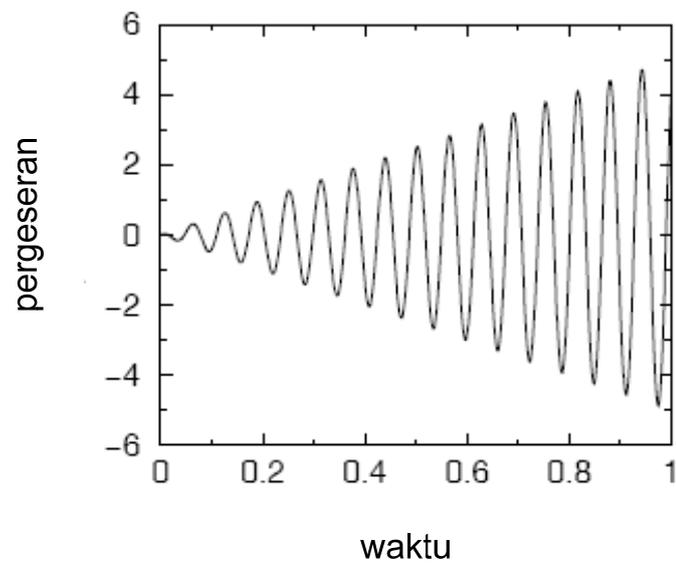


Gambar 9. Sebuah sinyal dengan rerata ubah waktu

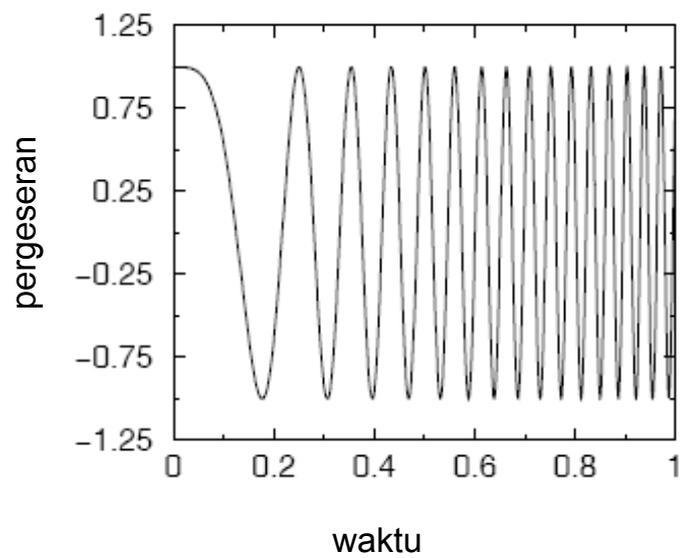
Sinyal seperti ini dapat terjadi pada sebuah mesin yang hampir (mendekati) rusak, sehingga karakter yang demikian sangat penting dalam usaha *monitoring* kondisi mesin.

Jenis sinyal lain yang juga penting adalah sinyal dengan amplitudo yang berubah waktu yang dapat dinyatakan dengan persamaan

$$y(t) = at \cos(\omega t) \quad (10)$$



Gambar 10. Sebuah sinyal dengan amplitudo berubah waktu

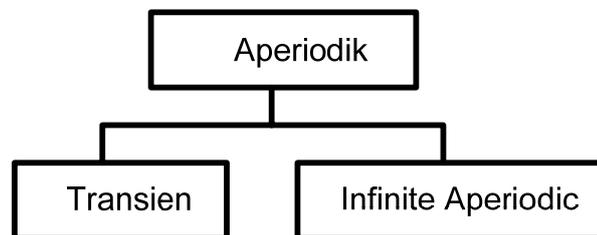


Gambar 11. Sebuah sinyal dengan frekuensi berubah waktu

Sinyal juga dapat bervariasi dalam frekuensinya, misalnya pada persamaan berikut.

$$y(t) = a \cos(\omega t^2) \quad (11)$$

Dengan demikian sinyal aperiodik dapat dibagi menjadi **sinyal yang transien** dan **sinyal aperiodik tak berhingga (*infinite aperiodic*)**.



Gambar 12. Klasifikasi sinyal aperiodik; transien dan *infinite aperiodic*