

## **Kuliah 2: Elemen Eksplorasi Data Deret Waktu**

**Koordinator Tim:** I Wayan Sumarjaya (sumarjaya@unud.ac.id)

Anggota Tim Teaching I: I Gusti Ayu Made Srinadi (srinadi@unud.ac.id)

Anggota Tim Teaching II: Made Susilawati (mdsusilawati@unud.ac.id)

### **Capaian Pembelajaran Mata Kuliah**

Mahasiswa mampu menggunakan komputer untuk mengeksplorasi data deret waktu (S5, KU1, KU2, KU9, KK1, KK2, PP1)

### **Kemampuan Akhir yang Diharapkan**

Mahasiswa mampu menggunakan perangkat lunak (software) R untuk mengeksplorasi data deret waktu melalui plot, transformasi, dekomposisi, karakteristik data deret waktu dan mendemonstrasikan dengan perangkat lunak R (C3, P2, A2)

### **Indikator**

1. Ketepatan menggunakan perangkat lunak R untuk memplot data deret waktu
2. Ketepatan menggunakan R untuk mentransformasi data deret waktu
3. Ketepatan menggunakan R untuk mendekomposisi deret waktu menjadi komponen tren, musiman, siklus, atau fluktuasi tak beraturan
4. Ketepatan dan kesesuaian dalam menjelaskan karakteristik data deret waktu

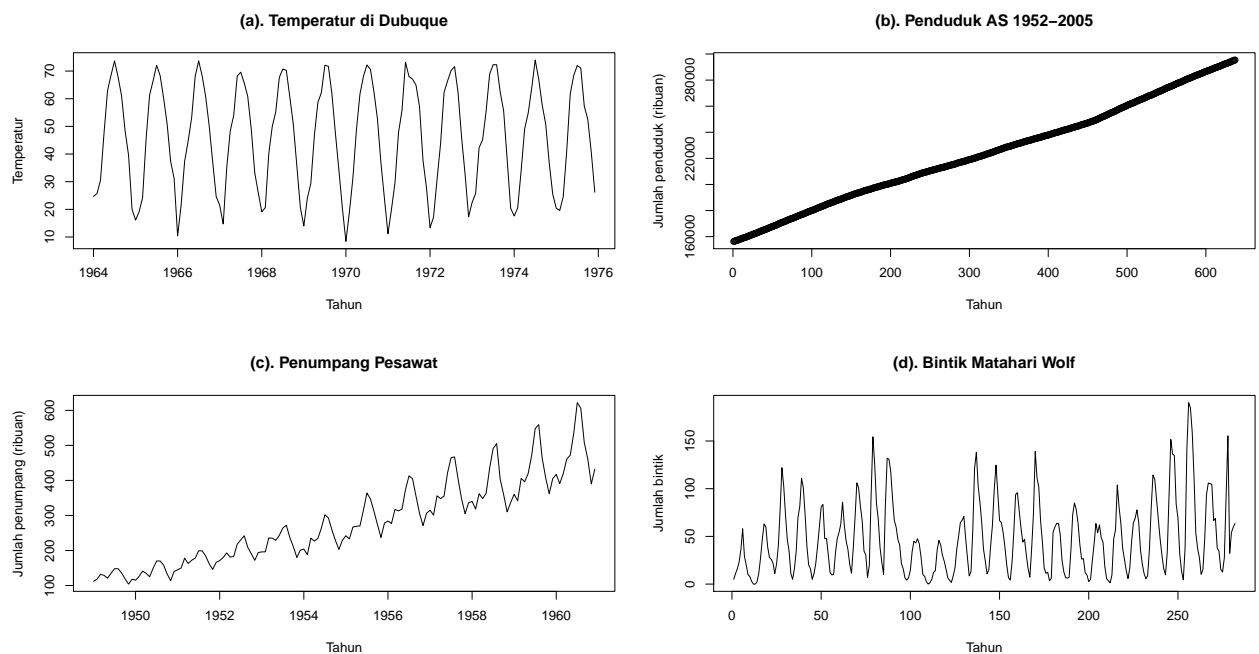
### **Bahan Kajian/Materi Ajar**

1. Plot data deret waktu
2. Transformasi data
3. Studi latar belakang data deret waktu
4. Dekomposisi klasik (tren, musiman, siklus, fluktuasi tak beraturan)
5. Karakteristik data deret waktu.

## 2.1 Plot Data Deret Waktu

Langkah pertama dalam analisis eksplorasi data deret waktu adalah membuat plot data deret waktu. Berdasarkan plot ini dapat diamati ada atau tidaknya tren, musiman, siklus, dan fluktuasi tak beraturan. Langkah ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh-pengaruh tersebut agar tidak terbawa ke dalam model. Pada langkah ini juga diperhatikan apakah transformasi terhadap data diperlukan.

```
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(tempdub,xlab="Tahun",ylab="Temperatur",
+ main="(a). Temperatur di Dubuque")
> plot(PopUSA,xlab="Tahun",ylab="Jumlah penduduk (ribuan)",
+ main="(b). Penduduk AS 1952-2005")
> plot(AirPassengers,xlab="Tahun",ylab="Jumlah penumpang (ribuan)",
+ main="(c). Penumpang Pesawat")
> plot.ts(wolfer,xlab="Tahun",ylab="Jumlah bintik",
+ main="(d). Bintik Matahari Wolf")
```



Gambar 2.1: (a) Plot deret waktu temperatur bulanan di Dubuque, Iowa; (b) plot jumlah penduduk bulanan di Amerika Serikat Januari 1952–Januari 2005 ; (c) plot jumlah penumpang pesawat internasional bulanan tahun 1949–1960; (d) dan plot bercak matahari Wölf tahun 1700–2001.

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat diamati hal-hal berikut: Gambar 2.1 (a) tentang plot deret waktu temperatur bulanan di Dubuque, Iowa, memperlihatkan fluktuasi musiman yang sangat kuat, namun

tren tidak terlihat (konstan); Gambar 2.1 (b) tentang plot deret waktu jumlah penduduk bulanan di Amerika Serikat untuk periode Januari 1952–Januari 2005 hanya memperlihatkan adanya pola tren naik; Gambar 2.1 (c) tentang plot jumlah penumpang pesawat internasional bulanan selama periode Januari 1949–Desember 1960 menunjukkan adanya tren naik dan pengaruh musiman yang kuat pada akhir deret; sementara Gambar 2.1 (d) merupakan plot jumlah bintang matahari Wölf selama periode 1700–2001 menunjukkan pola siklus yang sangat kuat.

## 2.2 Transformasi Data

Dari plot deret waktu akan bisa diamati apakah kita perlu melakukan transformasi data, misalnya logaritma atau akar kuadrat.

Tujuan melakukan transformasi adalah sebagai berikut:

### 1. Menstabilkan varians

Jika terdapat tren dalam deret waktu dan varians juga besar (naik) seiring rata-rata, maka disarankan untuk melakukan transformasi terhadap data. Begitu pula jika kita menemukan simpangan baku secara langsung proporsional dengan rata-rata maka transformasi logaritma diperlukan.

### 2. Membuat pengaruh musiman menjadi aditif

Jika terdapat tren dalam deret dan pengaruh musiman meningkat seiring dengan rata-rata, maka disarankan untuk mentransformasi data untuk membuat pengaruh musiman menjadi konstan. Namun, jika pengaruh musiman secara langsung proporsional dengan rata-rata, maka pengaruh musiman dikatakan *multiplikatif* dan transformasi logaritma diperlukan untuk menjadikan deret aditif. Perlu diingat bahwa transformasi ini hanya akan menstabilkan varians jika galat (*error*) juga dianggap multiplikatif.

Ada tiga model musiman yang umum dipakai yaitu:

(a) Model dekomposisi aditif, dengan bentuk

$$X_t = M_t + S_t + \varepsilon_t; \quad (2.1)$$

(b) Model dekomposisi multiplikatif, dengan bentuk

$$X_t = M_t \times S_t \times \varepsilon_t; \quad (2.2)$$

(c) Model campuran aditif-multiplikatif, dengan bentuk

$$X_t = M_t \times S_t + \varepsilon_t; \quad (2.3)$$

dengan  $X_t$  menyatakan observasi pada saat  $t$ ,  $M_t$  menyatakan tren,  $S_t$  menyatakan pengaruh musiman, dan  $\varepsilon_t$  menyatakan galat acak.

### 3. Menjadikan data berdistribusi normal.

Transformasi yang umum dipakai adalah transformasi pangkat (*power transformation*) Box–Cox yang didefinisikan sebagai

$$T(X_t) = \begin{cases} \frac{X_t^{(\lambda)}}{\lambda}, & \text{jika } \lambda \neq 0; \\ \ln(X_t), & \text{jika } \lambda = 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

Bentuk transformasi bersesuaian dengan  $\lambda$  dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1: Nilai  $\lambda$  dan Bentuk Transformasi Box–Cox yang Bersesuaian

Nilai $\lambda$	Bentuk transformasi
-1	$1/X_t$
-0,5	$1/\sqrt{X_t}$
0	$\ln(X_t)$
0,5	$\sqrt{X_t}$
1	$X_t$

**Contoh 2.2.1.** Gambar 2.2 memperlihatkan plot jumlah penumpang pesawat internasional dan transformasi logaritmanya. Apa yang bisa Anda amati?

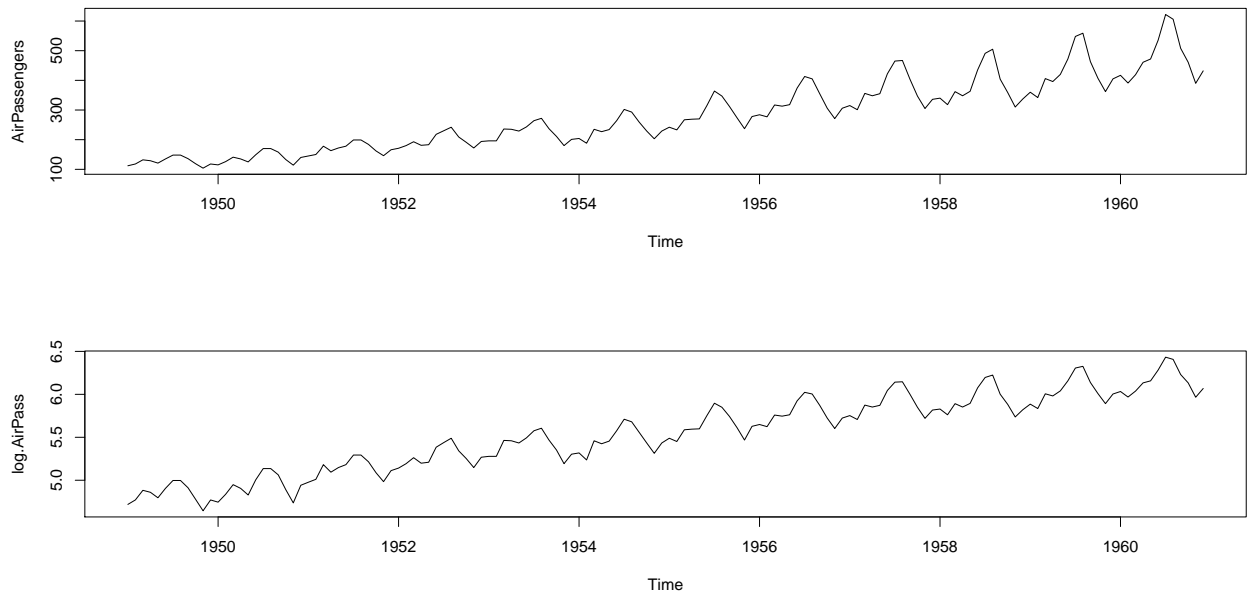
## 2.3 Studi Latar Belakang Data Deret Waktu

Latar belakang atau studi sebelumnya tentang data diperlukan untuk mengetahui karakteristik data dan juga apa saja yang bisa kita masukkan ke dalam model deret waktu. Sebagai contoh kita lihat kembali data bintik matahari Wölf. Jumlah bintik matahari Wölf mengikuti pola siklus dan berhubungan dengan gravitasi bumi. Menurut Samuel Schwabe pola ini berulang setiap 10 tahun sekali.

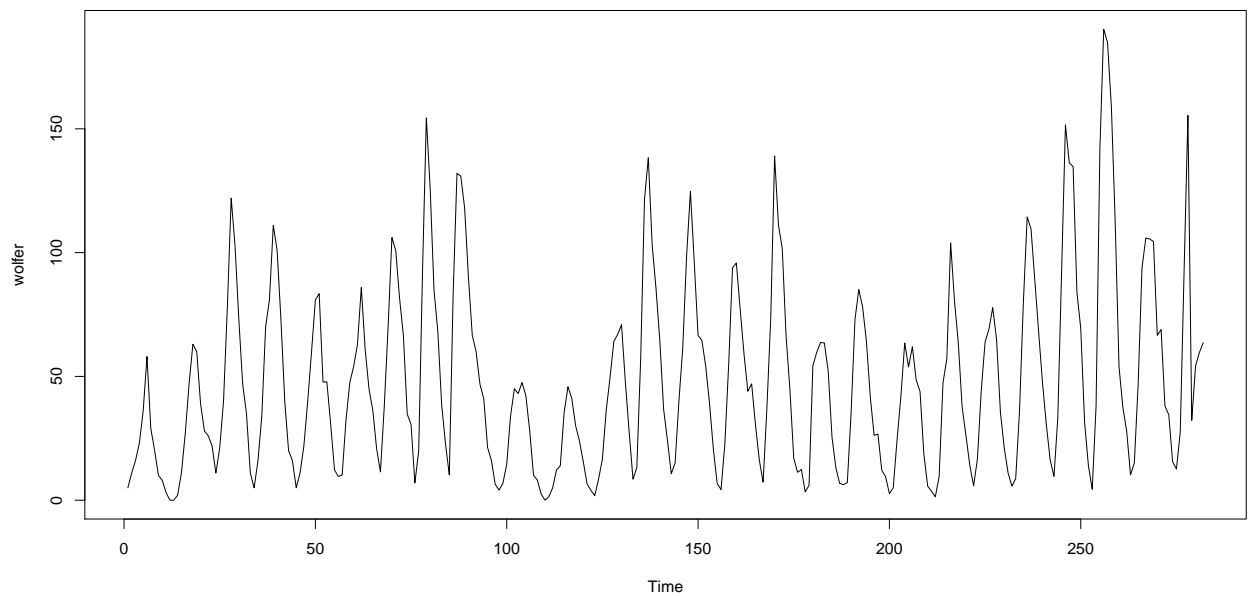
Berikut ini adalah sejarah tentang deret waktu jumlah bercak matahari Wölf, dikutip dari [http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/activity/sunspot\\_history.html](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/activity/sunspot_history.html), diakses tanggal 1 Maret 2008.

### History of Sunspot Observations

You may not know that humans have observed sunspots for a very long time. These records have been around so long in fact, that we can link sunspot number with solar activity. Large sunspots can sometimes be seen with just your eye, especially when the



Gambar 2.2: Plot data jumlah penumpang pesawat internasional (atas) dan transformasi logaritmanya (bawah).



Gambar 2.3: Plot data deret waktu bintang *sunspot* Wolf tahun 1700–2001.

Sun is viewed through fog near the horizon at sunrise or sunset. (WARNING: Never look directly at the Sun! Even a brief glance can damage your eyes!)

The first written record of sunspots was made by Chinese astronomers around 800 B.C. Court astrologers in ancient China and Korea, who believed sunspots foretold important events, kept records off and on of sunspots for hundred of years. An English monk named John of Worcester made the first drawing of sunspots in December 1128.

Soon after the invention of the telescope, several astronomers used the telescope to make observations of sunspots. This was around 1600. Astronomers of that time weren't quite sure what to make of these spots on the Sun. Some thought they were shadows of undiscovered planets crossing the Sun, while others believed they were dark clouds in the Sun's atmosphere. The movement of sunspots across the face of the Sun allowed astronomers in the early 1600's to make the first estimates of the Sun's rotation period (about 27 days).

In 1843 an amateur German astronomer named Samuel Schwabe discovered the rise and fall of yearly sunspot counts we now call the sunspot cycle. He first guessed the cycle's length at 10 years. Two French physicists, Louis Fizeau and Léon Foucault, took the first photo of the Sun and sunspots in April 1845. Around 1852 four astronomers noted that the period of the sunspot cycle was identical to the period of changes of geomagnetic activity at Earth, giving birth to the study of Sun-Earth connections we now call "space weather".

It would appear that sunspots not only have a connection to geomagnetic activity at Earth, but they play a role in climate change as well. In the last thousands of years, there have been many periods where there were not many sunspots found on the Sun. The most famous is a period from about 1645 to 1715, called the Maunder Minimum. This period corresponds to the middle of a series of exceptionally cold winters throughout Europe known as the Little Ice Age. Scientists still debate whether decreased solar activity helped cause the Little Ice Age, or if the cold snap happen to occur around the same time as the Maunder Minimum. In contrast, a period called the Medieval Maximum, which lasted from 1100 to 1250, apparently had higher levels of sunspots and associated solar activity. This time coincides (at least partially) with a period of warmer climates on Earth called the Medieval Warm Period. Sunspot counts have been higher than usual since around 1900, which has led some scientists to call the time we are in now the Modern Maximum.

## 2.4 Dekomposisi Klasik

Pada Bagian 2.1 telah dibahas hal-hal yang bisa diamati dari plot data: tren, musiman, siklus, fluktuasi tak beraturan, serta pencilan. Subbab ini akan membahas pengertian komponen-komponen dalam dekomposisi klasik.

### 2.4.1 Tren

Tren merupakan perubahan jangka panjang baik naik maupun turun dalam data. Dalam pembicaraan tentang tren kita harus memperhatikan berapa banyak data yang ada dan juga penilaian kita terhadap definisi jangka panjang. Sebagai contoh peubah-peubah keadaan cuaca biasanya memberikan variasi siklus pada periode yang sangat panjang, misalkan 75 tahun. Jika data yang dimiliki hanya data 20 tahun saja, pola osilasi jangka panjang ini akan terlihat sebagai tren.

### 2.4.2 Musiman

Pola musiman muncul apabila deret dipengaruhi oleh faktor-faktor musiman, misalnya data bulan, triwulan, caturwulan, dan semester.

### 2.4.3 Siklus

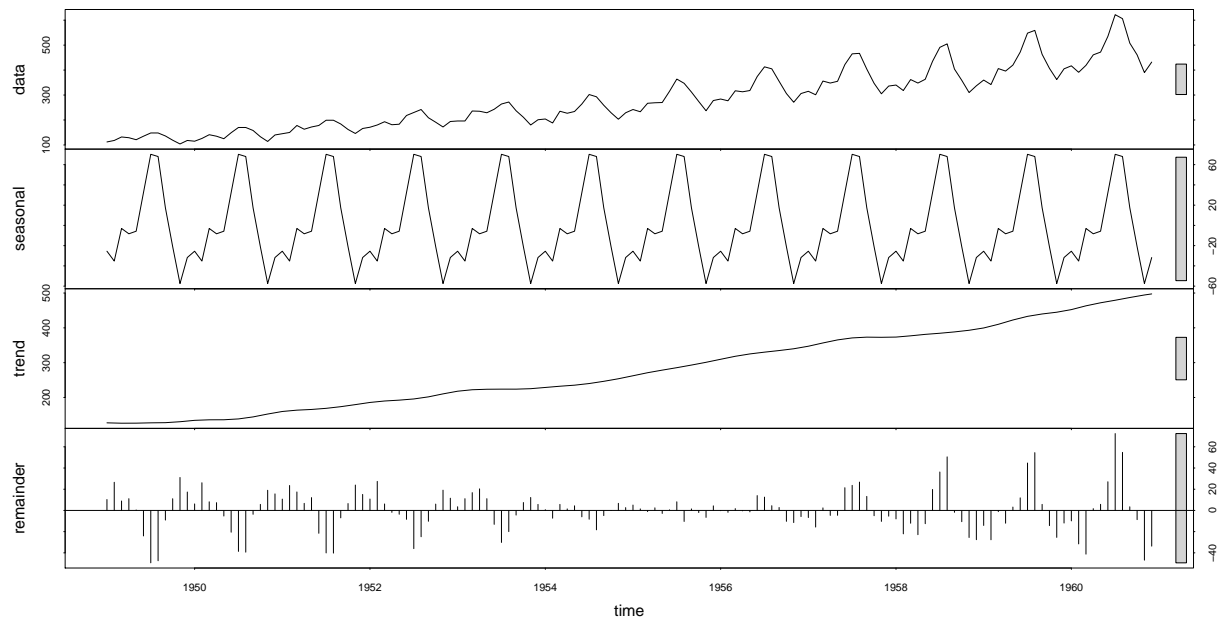
Pola siklus muncul apabila data dipengaruhi fluktuasi jangka panjang yang biasanya berbentuk osilasi, misalnya gelombang sinus. Gejala-gejala fisika seperti gelombang tsunami yang terjadi setiap 100 tahun sekali, jumlah titik matahari Wölfer (*Wölfer sunspot*) biasanya membentuk suatu siklus. Perbedaan utama pola musiman dan siklus terletak pada panjang dan periodenya. Pada musiman pola cenderung memiliki panjang konstan dan terjadi berulang pada periode teratur; namun, pada siklus pola ini memiliki panjang yang bervariasi dan magnitudo yang juga bervariasi.

### 2.4.4 Fluktuasi Tidak Beraturan

Setelah tren dan komponen siklus dihilangkan dari data, biasanya masih ada sisaan yang bisa acak atau tidak acak. Variasi tak beraturan ini biasanya dinyatakan oleh distribusi peluang tertentu.

## 2.5 Karakteristik Data Deret Waktu

Selain memperlihatkan adanya pola tren, pengaruh musiman, dan pengaruh siklus, plot deret waktu juga memberikan informasi tentang fluktuasi tak beraturan dan adanya pencilan (*outliers*). Hal ini akan berdampak pada pemodelan serta analisis yang digunakan. Gambar 2.4 menunjukkan dekomposisi deret waktu jumlah penumpang pesawat menggunakan fungsi `stl` pada R yang membagi deret waktu tersebut menjadi tiga komponen utama (musiman dan tren) dan sisaan (*remainder*).



Gambar 2.4: Dekomposisi deret waktu jumlah penumpang pesawat internasional bulanan periode Januari 1949–Desember 1960.

## 2.6 Pengayaan

Buku-buku seperti Cryer and Chan (2008), Shumway and Stoffer (2011), Brockwell and Davis (2016), dan Box et al. (2016) dapat digunakan untuk pengayaan lebih lanjut.

## 2.7 Latihan

1. Pustaka `datasets` pada R menyediakan beberapa data deret waktu. Berikut ini nama-nama data deret waktu tersebut:
  - (a) `airmiles`
  - (b) `AirPassengers`
  - (c) `austres`
  - (d) `BJsales`
  - (e) `co2`
  - (f) `discoveries`
  - (g) `ldeaths`



- (h) JohnsonJohnson
- (i) LakeHuron
- (j) lh
- (k) lynx
- (l) nhtemp
- (m) Nile
- (n) nottem
- (o) presidents
- (p) sunspot.month
- (q) sunspot.year
- (r) treering
- (s) UKDriverDeaths
- (t) UKgas
- (u) USAccDeaths
- (v) uspop
- (w) WWUsage

Untuk masing-masing data plotlah data di atas dan amati komponen-komponen apa saja yang ada pada data tersebut. Gunakan perintah `plot(namadata)` untuk memplot. Informasi singkat tentang data tersebut dapat dilakukan dengan mengetikkan perintah `help(namadata)`.

2. Carilah data deret waktu pada buku, jurnal, dan internet. Kemudian plotlah data tersebut. Anda juga mungkin mendekomposisi deret waktu tersebut dengan perintah `stl`.

## Daftar Pustaka

- George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, and Greta M. Ljung. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, fifth edition, 2016.
- Peter J. Brockwell and Richard A. Davis. *Introduction to Time Series and Forecasting*. Springer, New York, third edition, 2016.
- Jonathan D Cryer and Kung-Sik Chan. *Time Series Analysis with Applications in R*. Springer, New York, second edition, 2008.
- Robert H. Shumway and David S. Stoffer. *Time Series Analysis and Its Applications with R Examples*. Springer, New York, 2011.