

TTH4A3
Komunikasi Akses Wireless

Module 2 : Channel Mobile & Concepts of Cellular Radio Engineering

Minggu 6: Konsep Small Scale Fading

Team Dosen



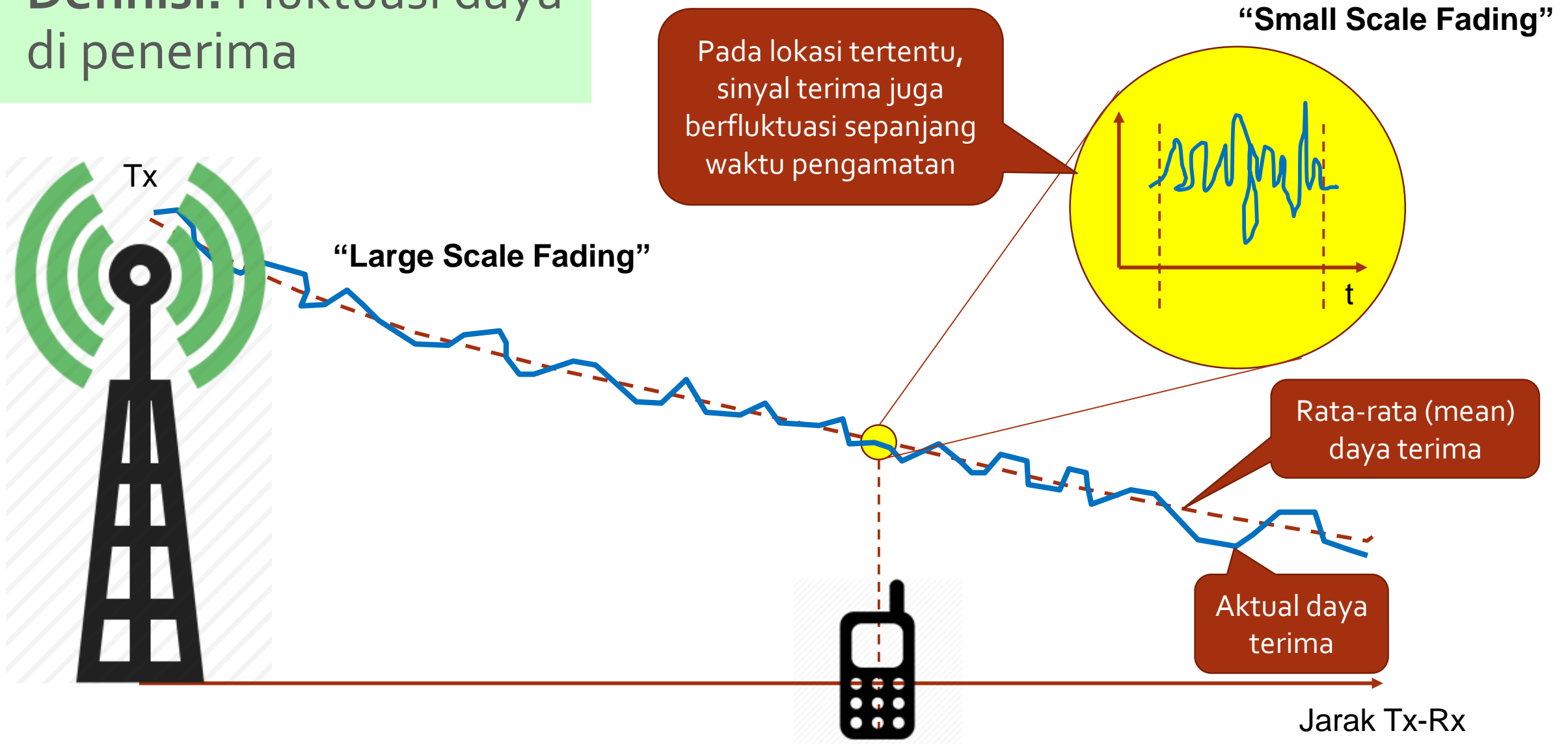
Pertemuan ke 5 & 6



Pengertian Fading dan Penyebabnya

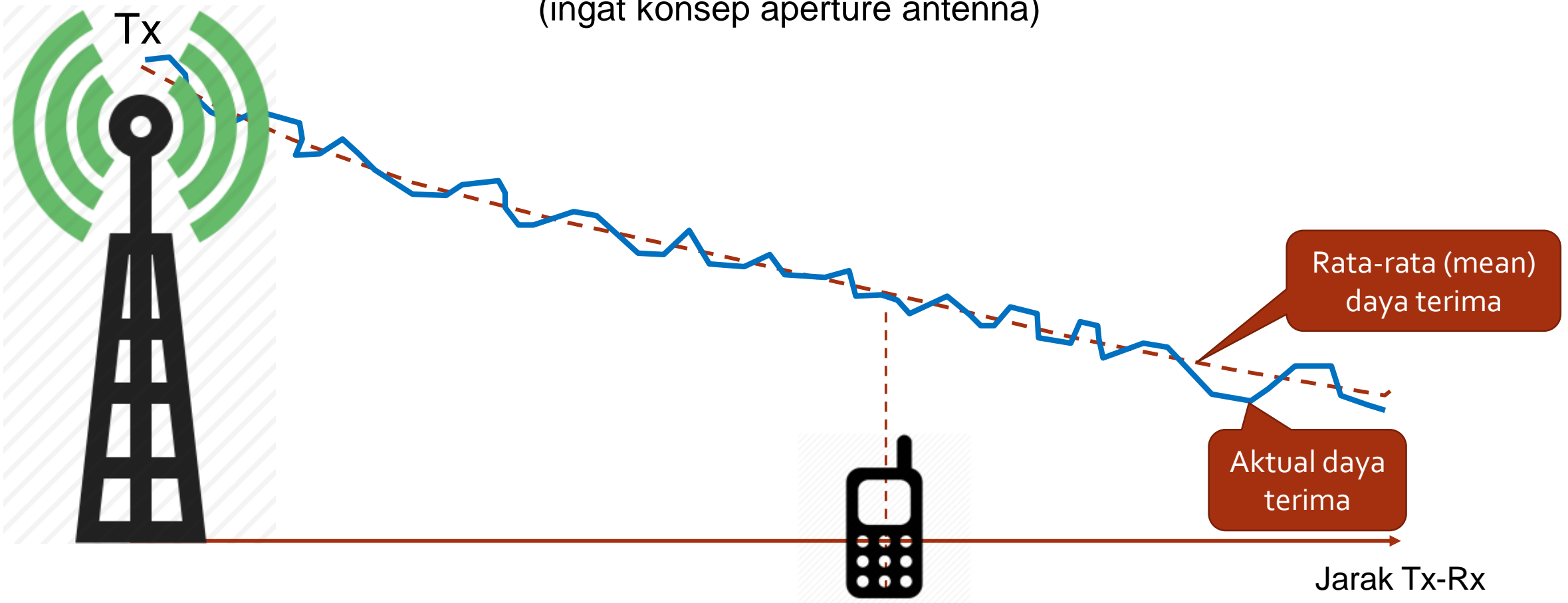
Pengertian Fading: Large Scale Vs Small Scale Fading

- **Definisi:** Fluktuasi daya di penerima

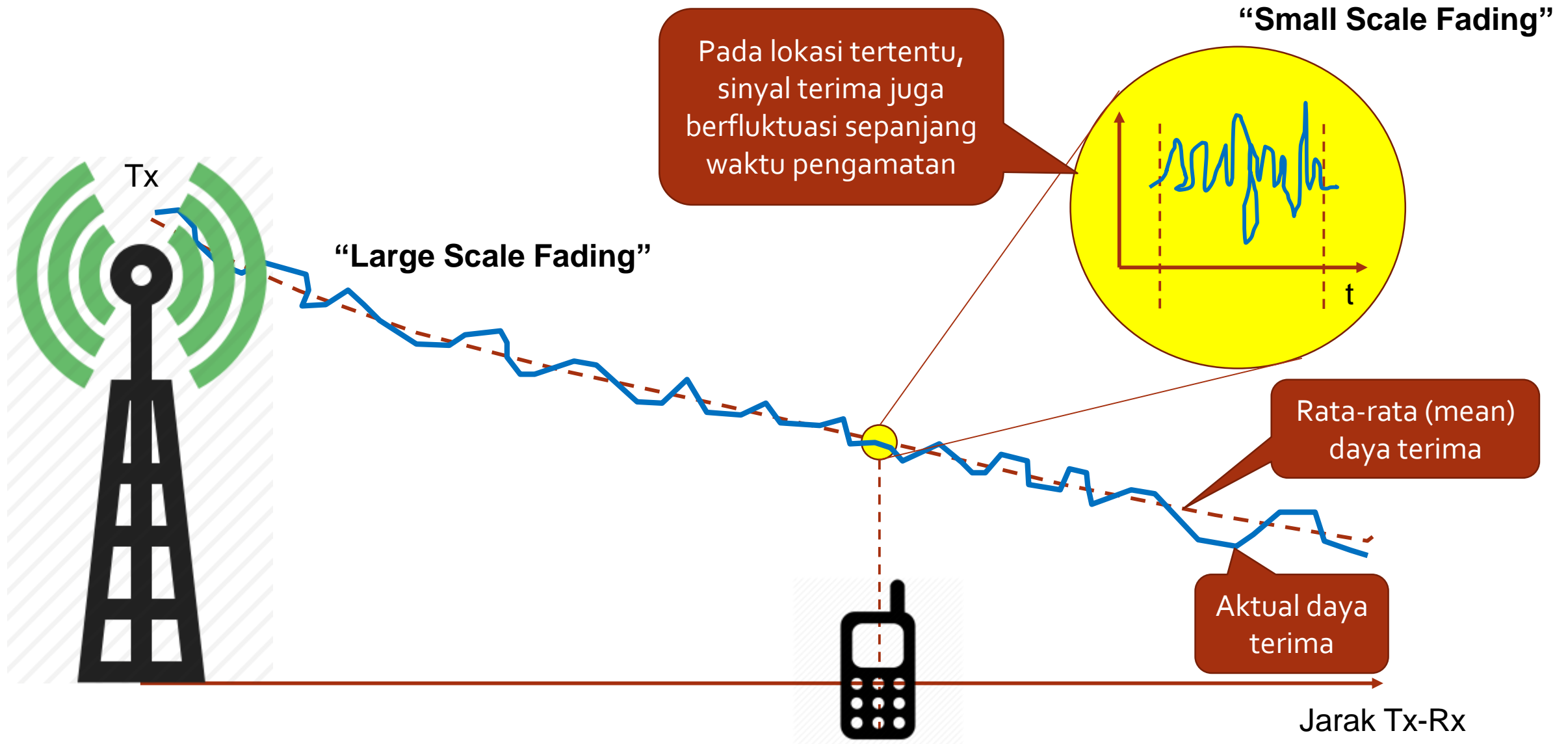


Large Scale Fading

- **Semakin jauh** dari transmitter, level daya terima **semakin rendah**
- Sekalipun disebut “*pathloss*”, **penurunan sinyal terima** disebabkan karena antenna **penerima menerima sebagian kecil rapat daya** (ingat konsep aperture antenna)



Pengertian Fading: Large Scale Vs Small Scale Fading



Efek propagasi multipath pada kanal wireless mobile adalah:

- Large scale fading → ***Large scale path loss***
- ***Small scale propagation***

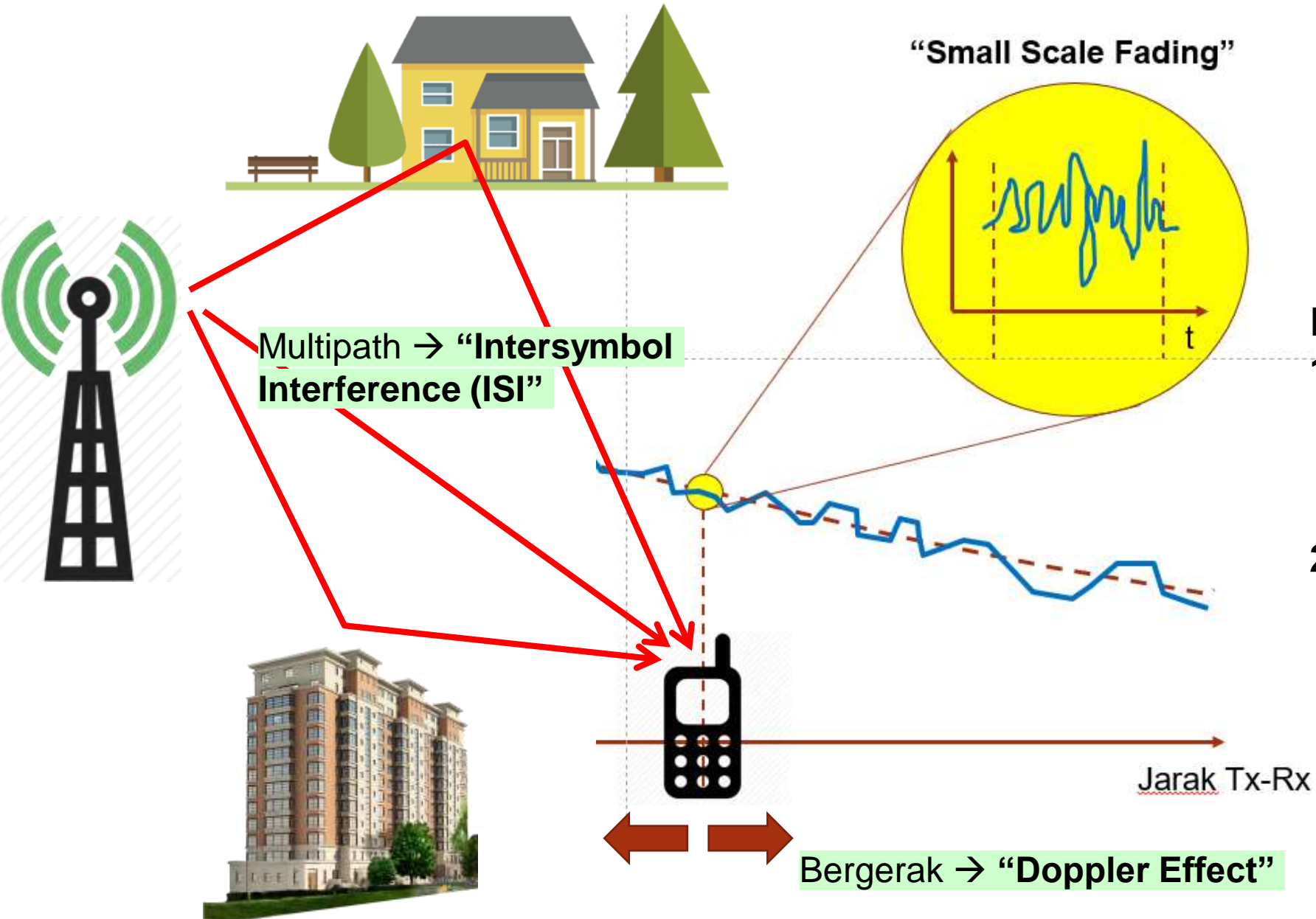
Large scale path loss

- Large attenuation dalam rata-rata
- Daya sinyal terima menurun berbanding terbalik dengan pangkat- γ terhadap jarak, dimana umumnya $2 < \gamma < 5$ (untuk komunikasi bergerak).
→ γ disebut ***Mean Pathloss Exponent***
- Sebagai dasar untuk metoda prediksi pathloss

Small scale

- **Fluktuasi sinyal yang cepat disekitar nilai rata-rata (large scale) - nya**
- Penyebaran waktu berhubungan dengan perbedaan delay waktu kedatangan masing-masing sinyal multipath.
- Doppler spread berhubungan dengan kecepatan fading (***fading rate***)

Small Scale Fading



Penyebab small scale fading:

1. **Multipath** → menyebabkan intersymbol interference (time spreading signal)
2. **Pergerakan user** → menyebabkan pergeseran frekuensi (doppler effect)

Karakterisasi Kanal Multipath

Delay Spread Model dan Time Varying Model

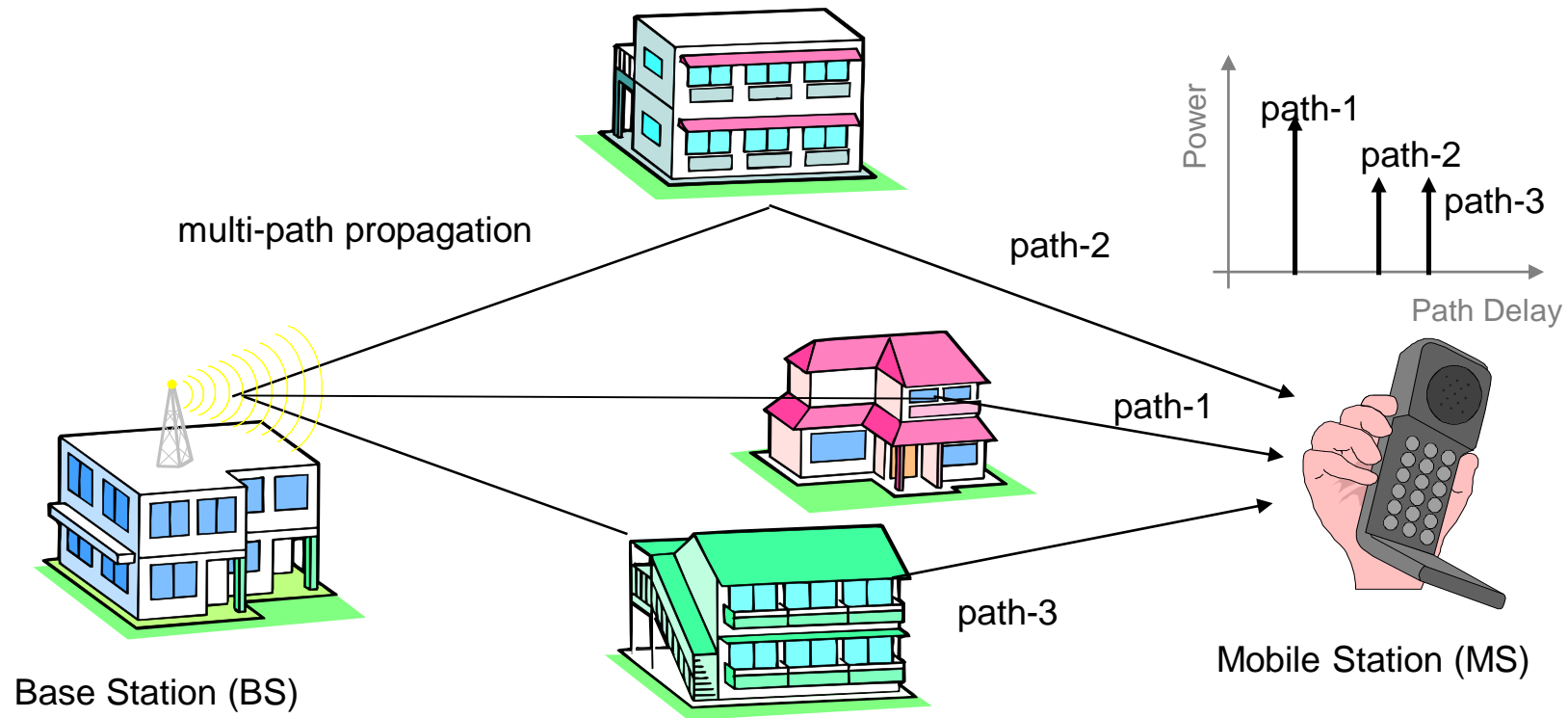
- Fokus pada multipath fading, disebabkan 2 hal:
 - ***Time spreading sinyal*** → Akibat sinyal datang dengan delay yang berbeda-beda, dianalisis dengan ***Delay Spread Model***
 - ***Time varying of channel*** → akibat pergerakan, dianalisis dengan ***Time Varying Model***
- Evaluasi/analisis biasa dilakukan dalam
 - Domain waktu, dan
 - Domain frekuensi





Power Delay Profile

Multipath: time \Rightarrow frequency analysis



Inter-Symbol-Interference (ISI) due to Multi-Path Fading

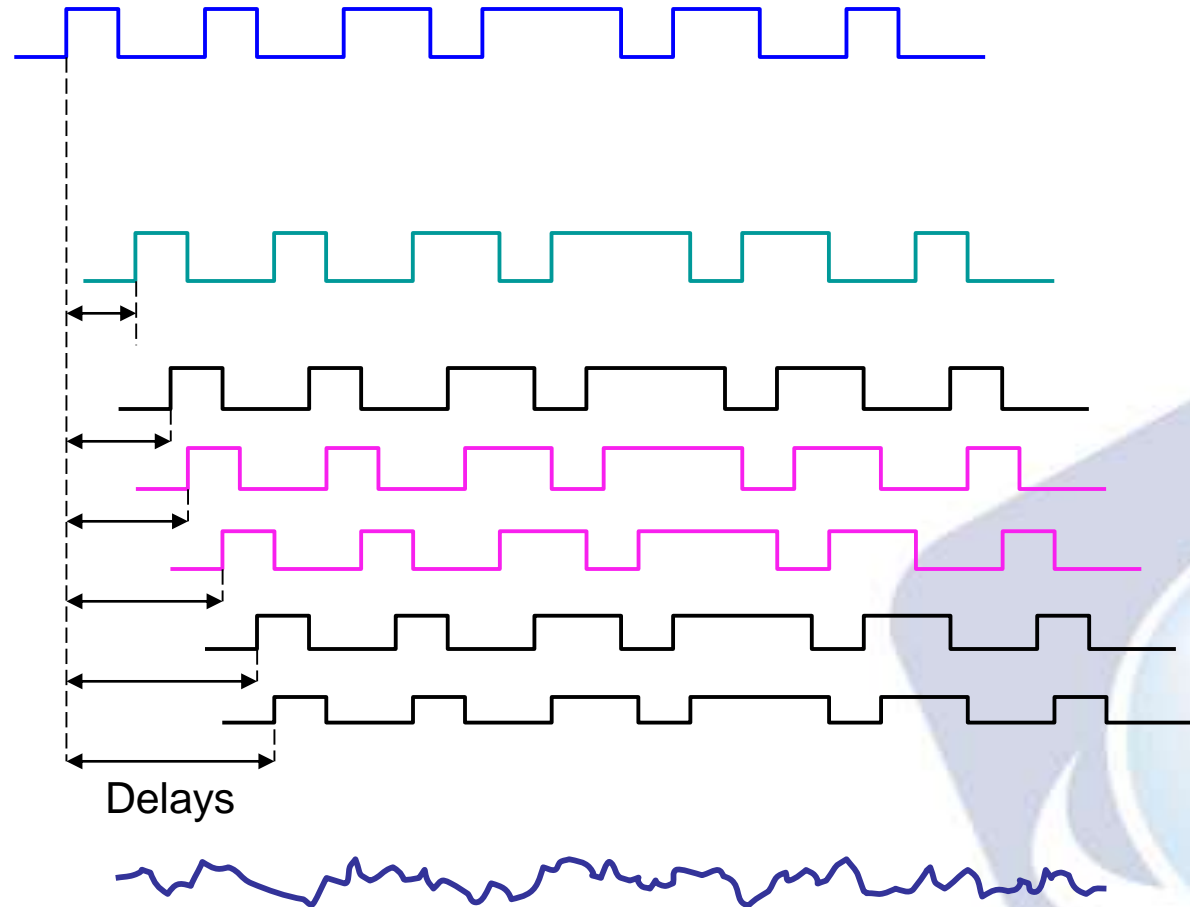
Transmitted signal:

Received Signals:

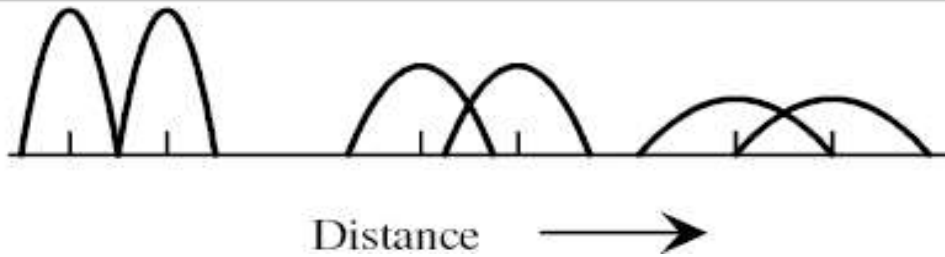
Line-of-sight:

Reflected:

The **symbols add up** on
the channel
→ **Distortion!**



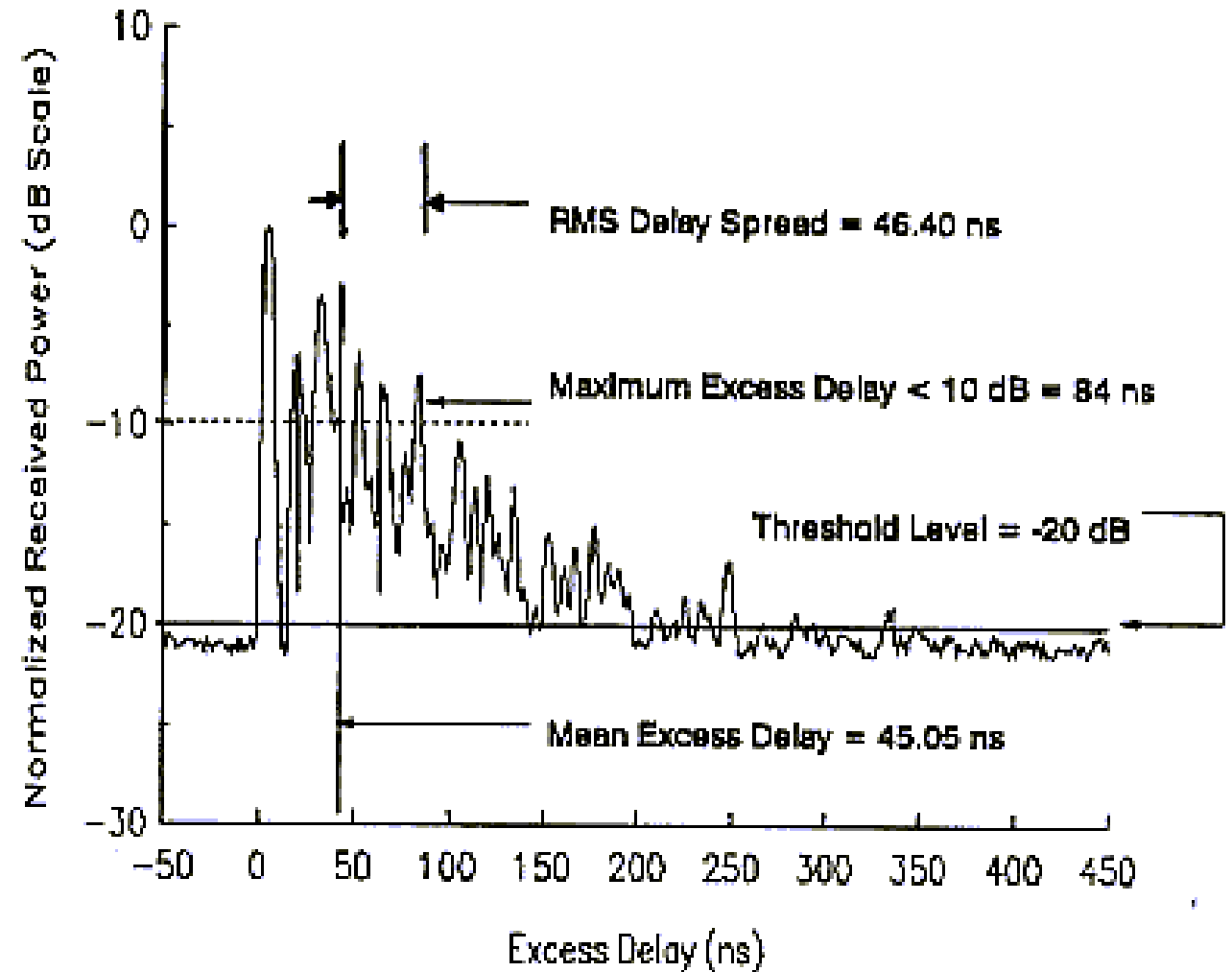
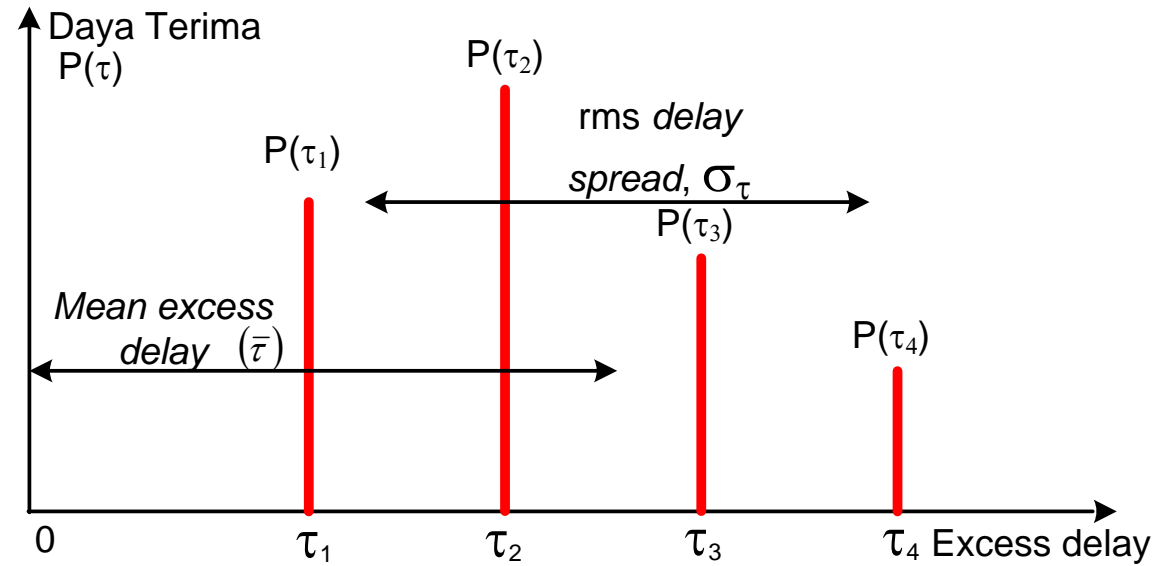
Attenuation, Dispersion Effects: ISI!



Inter-symbol interference (ISI)

Source: Prof. Raj Jain, WUSTL

Multipath: time \Rightarrow frequency analysis



Parameter kanal multipath – parameter dispersi waktu

Parameter dispersi waktu adalah :

- *Mean Excess Delay*
- *RMS Delay Spread*
- *Maximum Excess Delay*

Mean Excess Delay :

→ momen pertama dari *power delay profile*

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

RMS Delay Spread :

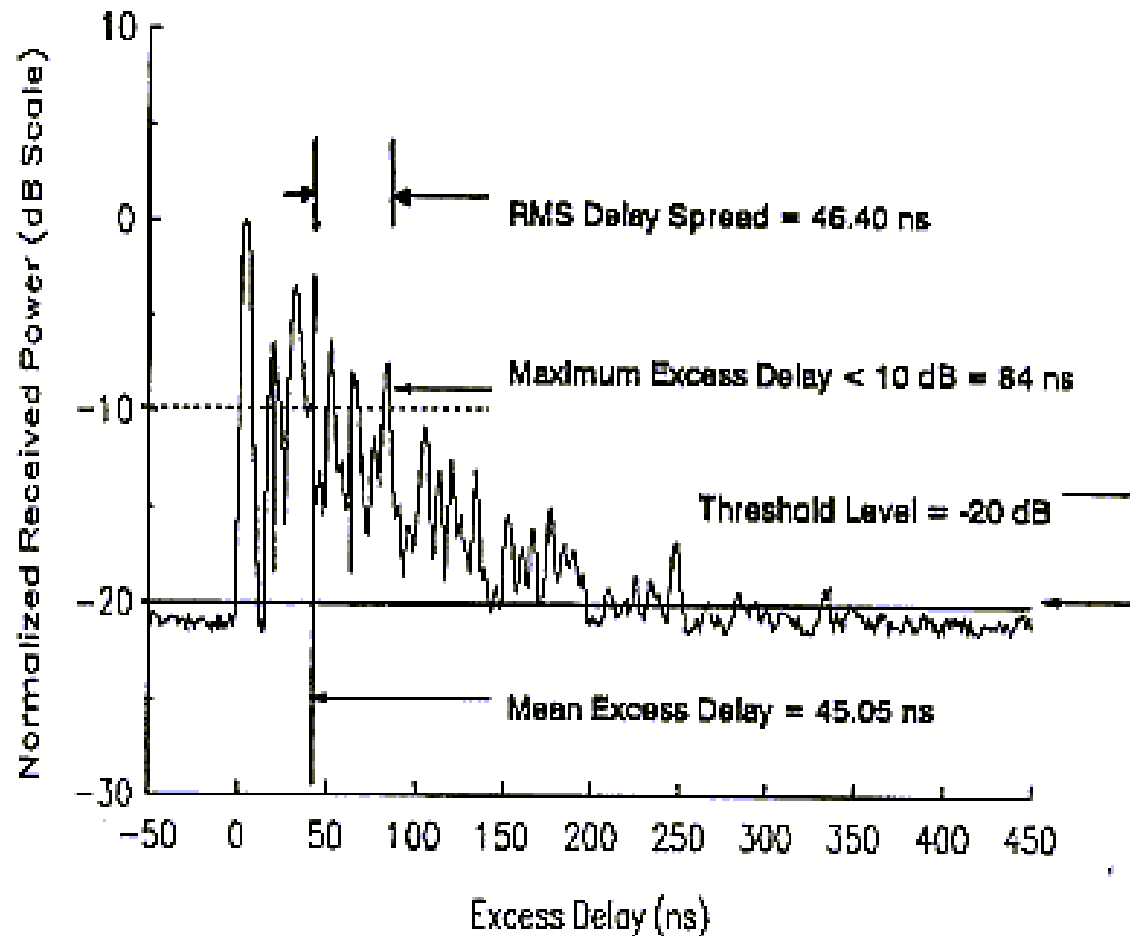
- akar kuadrat dari momen tengah kedua dari power delay profile
- RMS Delay Spread adalah standar deviasi excess delay
- Merupakan rata-rata simpangan terhadap mean excess delay

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\bar{\tau})^2}$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

Maximum Excess Delay Spread

→ delay waktu selama energi multipath jatuh sebesar X dB (biasanya 10 dB) dibawah



$\sigma_\tau \approx 3.0\mu\text{s}$ (urban)

$\sigma_\tau \approx 0.5\mu\text{s}$ (suburban)

$\sigma_\tau \approx 0.2\mu\text{s}$ (rural)

Source: Wireless Communications by Rappoport, P. 163

Coherence Bandwidth

- Adalah ukuran statistik suatu range frekuensi pada respons kanal yang dapat dianggap “**flat**” atau bandwidth diantara 2 frekuensi yang memiliki potensi kuat dalam korelasi amplitudo.
- Semua komponen spektrum dalam range bandwidth koheren dapat diperhatikan (adapat dianggap) mendapatkan gain dan fasa yang linier
- **Bandwidth koheren sebaiknya diukur**, tetapi bisa didekati dengan persamaan :

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau}$$

For correlation
greater than 0.9

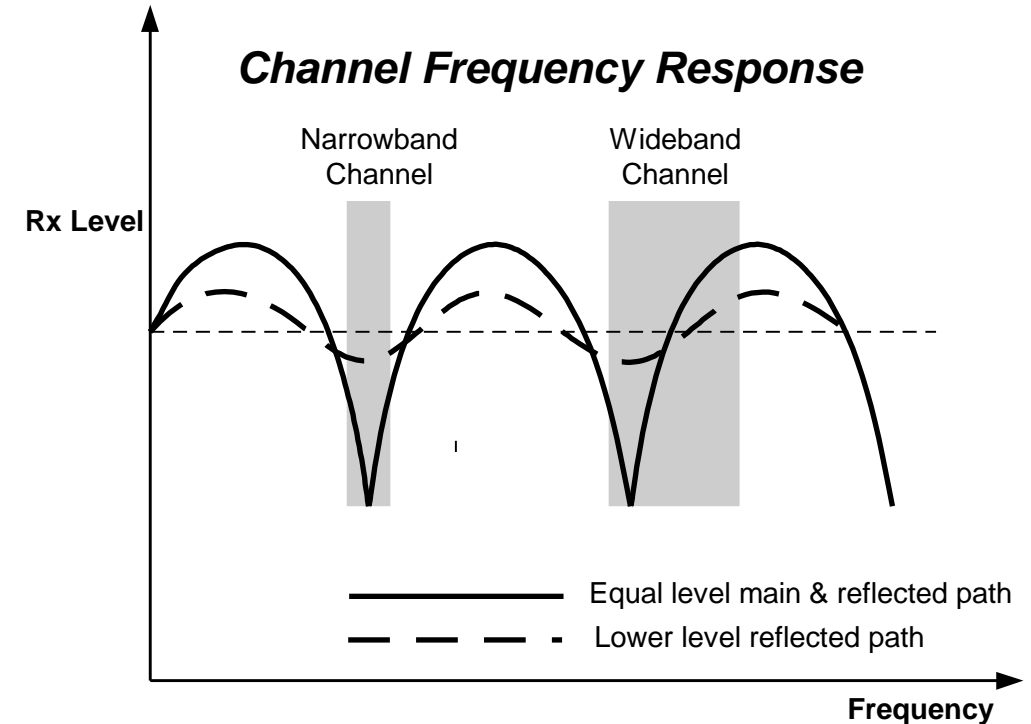
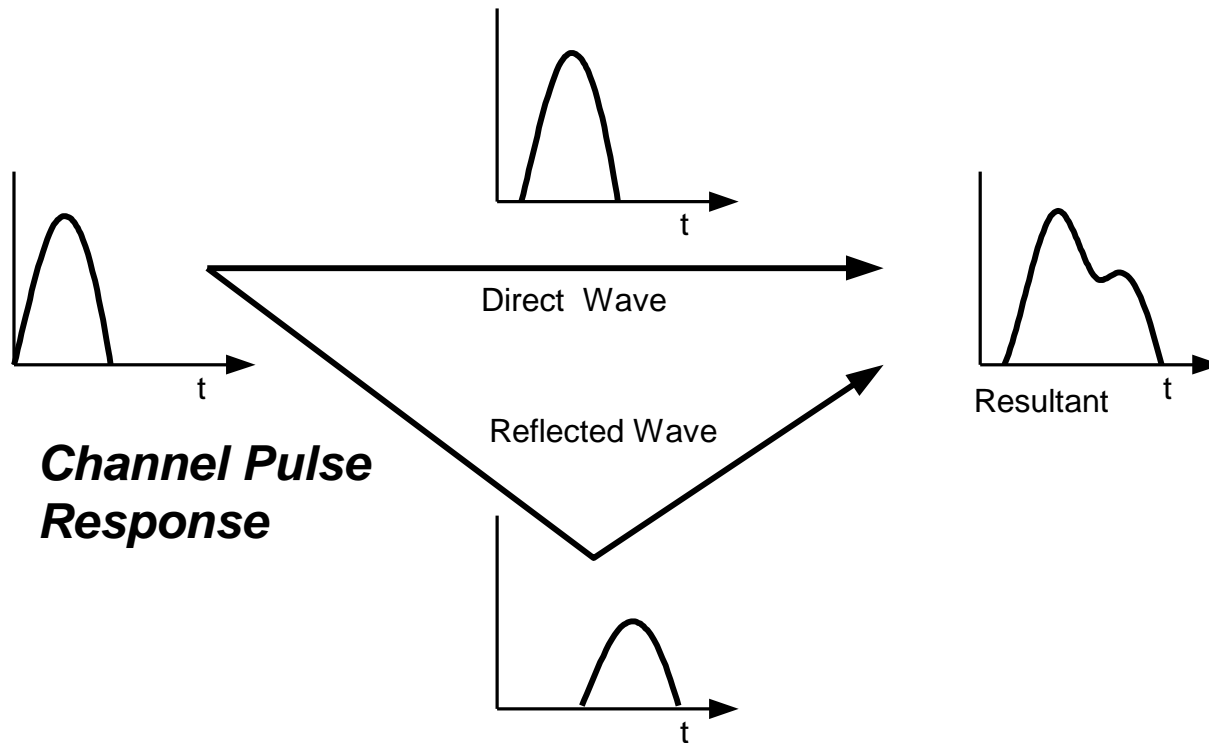
atau

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau}$$

For correlation
greater than 0.5

Multipath: time \Rightarrow frequency analysis

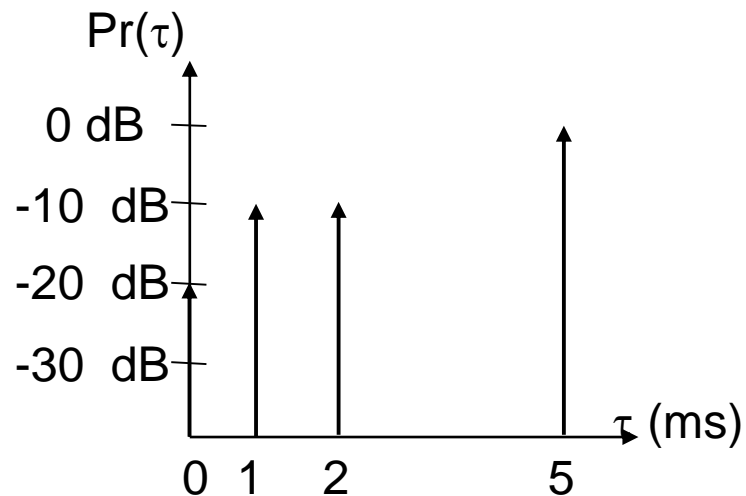
Sinyal multipath juga akan menyebabkan distorsi sinyal / cacat sinyal. Problem ini secara khusus berkaitan dengan bandwidth sinyal yang digunakan dalam komunikasi mobile, dan juga karena respon pulsa yang berbeda dari sinyal multipath



Contoh :

Hitunglah mean excess delay, rms delay spread, dari suatu kanal multipath yang profile multipath-nya diberikan pada gambar berikut. Berikan rekomendasi apakah kanal multipath tersebut cocok untuk AMPS dan GSM tanpa menggunakan equalizer ?

Jawab :



Mean excess delay,

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

$$\bar{\tau} = \frac{(1)(5) + (0.1)(1) + (0.1)(2) + (0.01)(0)}{(0.01 + 0.1 + 0.1 + 1)} = 4.38 \mu\text{s}$$

Momen kedua delay profile,

$$\overline{\tau^2} = \frac{(1)(5)^2 + (0.1)(1)^2 + (0.1)(2)^2 + (0.01)(0)^2}{(0.01 + 0.1 + 0.1 + 1)} = 21.07 \mu\text{s}^2$$

RMS delay spread,

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{21.07 - (4.38)^2} = 1.37 \mu\text{s}$$

Coherence bandwidth,

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_{\tau}} = 146 \text{ kHz}$$

Jadi,

- Untuk AMPS (BW sinyal kanal RF = 30 kHz), BW sinyal kanal RF < BW koheren sehingga tidak memerlukan equalizer
- Untuk GSM (BW sinyal kanal RF = 200 kHz), BW sinyal kanal RF > BW koheren , sehingga memerlukan equalizer



Table 5.1 Typical Measured Values of RMS Delay Spread

Environment	Frequency (MHz)	RMS Delay Spread (σ_τ)	Notes	Reference
Urban	910	1300 ns avg. 600 ns st. dev. 3500 ns max.	New York City	[Cox75]
Urban	892	10–25 μ s	Worst case San Francisco	[Rap90]
Suburban	910	200–310 ns	Averaged typical case	[Cox72]
Suburban	910	1960–2110 ns	Averaged extreme case	[Cox72]
Indoor	1500	10–50 ns 25 ns median	Office building	[Sal87]
Indoor	850	270 ns max.	Office building	[Dev90a]
Indoor	1900	70–94 ns avg. 1470 ns max.	Three San Francisco buildings	[Sci92a]

Intersymbol Interference (ISI):

- **Ketika multipath delay spread lebih besar dari 20% durasi simbol, ISI dapat menjadi problem. Untuk mengatasi ISI ...**
- **Pertama**, receiver dipasang dengan *adaptive equalizer*
Equalizer ini menguji efek delay multipath pada deretan training bit yang diketahui, selanjutnya menggunakan informasi hasil pengujian ini untuk mengatasi efek delay multipath pada deretan bit-bit informasi sesungguhnya
- **Kedua**, menggunakan kode-kode proteksi error (channel coding) untuk mendeteksi dan mengoreksi error
- **Catatan** : ISI tidak bisa diatasi dengan memperbesar kuat sinyal !!

Typical Delay Spreads

Macrocells $T_{\text{RMS}} < 8 \mu\text{sec}$

- GSM (256 kbit/s) uses an equalizer
- IS-54 (48 kbit/s): no equalizer
- In mountainous regions delays of 8 μsec and more occur

GSM has some problems in Switzerland

Microcells $T_{\text{RMS}} < 2 \mu\text{sec}$

- Low antennas (below tops of buildings)

Picocells $T_{\text{RMS}} < 50 \text{ nsec} - 300 \text{ nsec}$

- Indoor: often 50 nsec is assumed
- DECT (1 Mbit/s) works well up to 90 nsec

Outdoors, DECT has problem if range $> 200 \dots 500 \text{ m}$

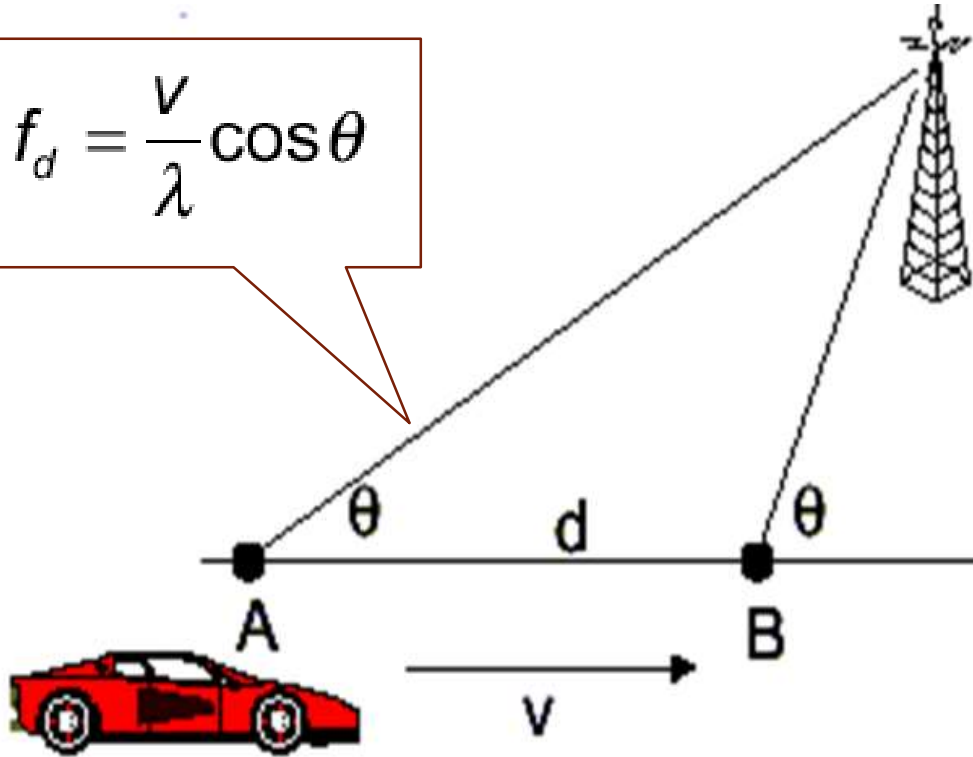




Doppler Effect

Doppler Effect

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$



- **Doppler shift (pergeseran doppler)** adalah pergeseran frekuensi yang disebabkan pergerakan penerima.
- *Doppler shift* 'melebarkan' bandwidth sinyal yang ditransmisikan

Sinyal terima MS diam sudah dinyatakan :

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$$



Untuk MS bergerak, $f_0 \rightarrow f_k$, karena frekuensi yang diterima untuk masing-masing lintasan berbeda-beda

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

$$f_k = f_0 \pm f_d$$

Time Varying Model

- Variasi kanal (karena gerakan) → **Doppler spread**
- Doppler spread f_D → **channel coherence time** T_C .
- **Channel coherence time** adalah suatu selang waktu dimana kanal diperhatikan (dapat dianggap) tidak berubah terhadap waktu (time invariant).
- Dalam kata lain: **Channel coherence time** adalah waktu dimana 2 sinyal terima memiliki korelasi amplitudo yang kuat
- Jika periode simbol (*reciprocal BW*) lebih besar dari coherence time → artinya kanal akan berubah selama periode simbol tersebut → terjadi **fast fading**.

Doppler Spread dan Coherence Time

Latar belakang : Pergeseran Doppler (Doppler Shift)

- ***Doppler shift*** (pergeseran doppler) adalah pergeseran frekuensi yang disebabkan pergerakan penerima.
- *Doppler shift* meningkatkan bandwidth sinyal yang ditransmisikan

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$



- **Doppler spread**, f_m , adalah pergeseran doppler maksimum

$$f_m = \frac{v}{\lambda} \quad \begin{array}{l} v = \text{meters/sec} \\ \lambda = \text{meters} \\ f_m = \text{Hertz} \end{array} \longrightarrow \text{maksimum, } \cos \theta = 1$$

- **Coherence Time, T_c** :

$$T_c = \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m^2}} = \frac{0.423}{f_m} \quad \text{Equation is an approximation using a correlation of 0.5}$$

- **Jika kecepatan simbol lebih besar dari $1/T_c$, maka sinyal tidak mengalami distorsi kanal yang disebabkan pergerakan penerima (\rightarrow **SLOW FADING**)**

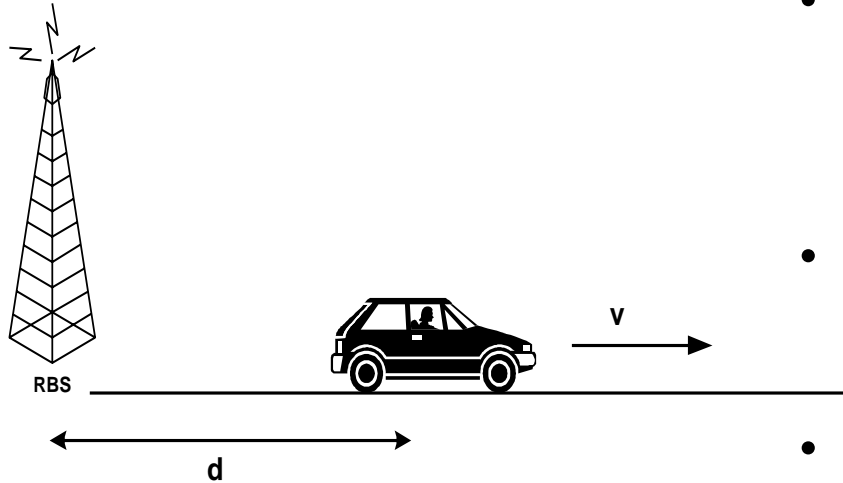
Example

- Dua buah vehicle melaju pada $v_1 = 36$ km/jam, $v_2 = 360$ km/jam menerima sinyal multipath pada frekuensi 900 MHz menjauh dari pemancar ($\theta=0^\circ$).
 - Berapa Doppler spread dari channel, mobil 1 dan mobil 2 tersebut
 - Hitung masing2 channel coherence time-nya
 - Jika pada sistem GSM dengan modulasi GMSK bitrate = 9,6 kbps, sinyal GSM tersebut mengalami fading apa (untuk masing-masing mobil)?
 - Jika pada sistem LTE dengan modulasi 16 QAM bitrate = 10 Mbps, sinyal LTE tersebut mengalami fading apa (untuk masing-masing mobil)?

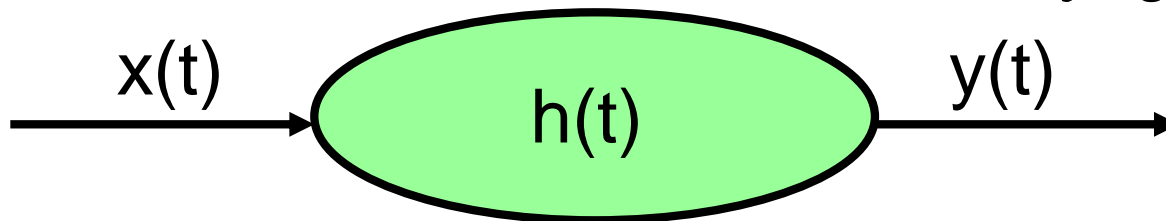
Klasifikasi *Small Scale Fading*

SMALL SCALE FADING	Berdasarkan atas multipath Time Delay Spread	FLAT FADING <ul style="list-style-type: none"> • BW sinyal < BW koheren • Delay spread < periode simbol
		FREQUENCY SELECTIVE FADING <ul style="list-style-type: none"> • BW sinyal > BW koheren • Delay spread > periode simbol
	Berdasarkan atas Doppler Spread	FAST FADING <ul style="list-style-type: none"> • Doppler spread >> • Coherence time < periode simbol • Variasi kanal lebih cepat dari variasi sinyal baseband
		SLOW FADING <ul style="list-style-type: none"> • Doppler spread << • Coherence time > periode simbol • Variasi kanal lebih lambat dari variasi sinyal baseband

Model Respon Impulse Kanal Multipath

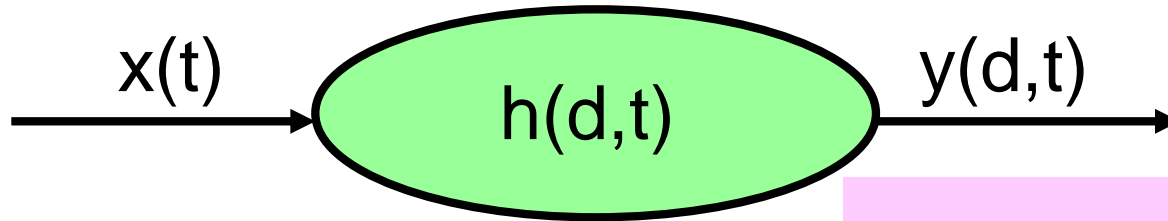


- Variasi sinyal sesaat (*small scale variation*) sinyal komunikasi bergerak secara langsung berhubungan dengan respon impulse dari kanal radionya.
- Respon impulse ini merupakan karakteristik kanal yang memuat informasi sifat-sifat kanal radio.
- Karakteristik kanal perlu diketahui untuk mengetahui unjuk kerja sistem komunikasi dalam kanal radio
- Kanal radio mobile memiliki sifat ***Linear Time Varying Channel***



Small Scale Fading - model respon impulse kanal multipath

- **Sinyal yang diterima** , merupakan fungsi jarak (d) dan waktu (t)



$$y(d, t) = x(t) \otimes h(d, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(d, t - \tau) d\tau$$

- **Karena $d = v.t$** , sistem kausal $h(d, t) = 0$ untuk $t < 0$

$$y(v.t, t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) h(v.t, t - \tau) d\tau$$

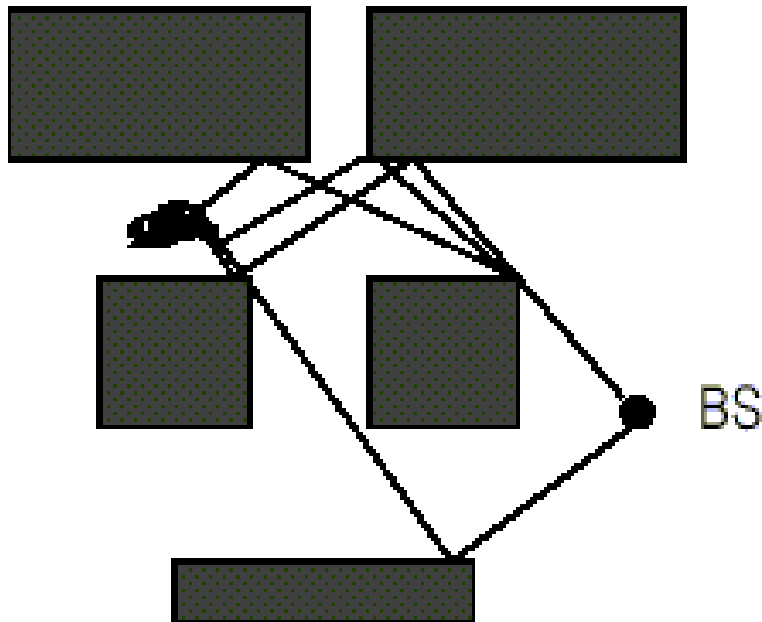
- **Asumsi v konstan** , maka d hanya merupakan fungsi kecepatan (v) dan waktu (t)

$$y(t) = x(t) \otimes h(v.t, t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) h(v.t, t - \tau) d\tau$$

Small Scale Fading ... analisis persamaan sinyal multipath

Analisis Sinyal Multipath

Asumsi : Kendaraan tak bergerak



Sinyal terima dapat dinyatakan sbb :

$$y_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$$

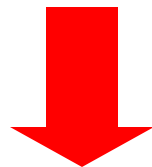
dimana,

f_0 = frekuensi carrier

N = jumlah lintasan multipath

a_k, ϕ_k = amplitudo dan fasa dari komponen multipath ke- k

$$y_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$$

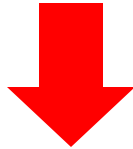


Recall :

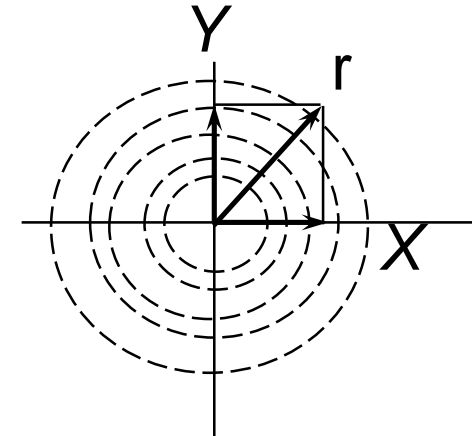
$$\cos(2\pi f_0 t + \phi_k) = \cos(2\pi f_0 t) \cos(\phi_k) - \sin(2\pi f_0 t) \sin(\phi_k)$$

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

$$y_r(t) = \cos(2\pi f_0 t) \sum_{k=1}^N a_k \cos(\phi_k) - \sin(2\pi f_0 t) \sum_{k=1}^N a_k \sin(\phi_k)$$



$$y_r(t) = X \cos(2\pi f_0 t) - Y \sin(2\pi f_0 t)$$



Dengan asumsi :

N besar (banyak lintasan) \rightarrow Secara teori tak terbatas, secara praktis > 6

ϕ_k terdistribusi uniform pada $(0 \text{ sd } 2\pi)$

a_k masing-masing dapat dibandingkan (tidak ada yang cukup dominan)

X dan Y terdistribusi secara **Identik Gaussian tetapi saling Independen**

Identically Independently Distributed (IID)

Maka :

$$\text{Sinyal Envelope} = r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Terdistribusi RAYLEIGH !!

Small Scale Fading

Typical simulated Rayleigh fading at the carrier
Receiver speed = 120 km/hr

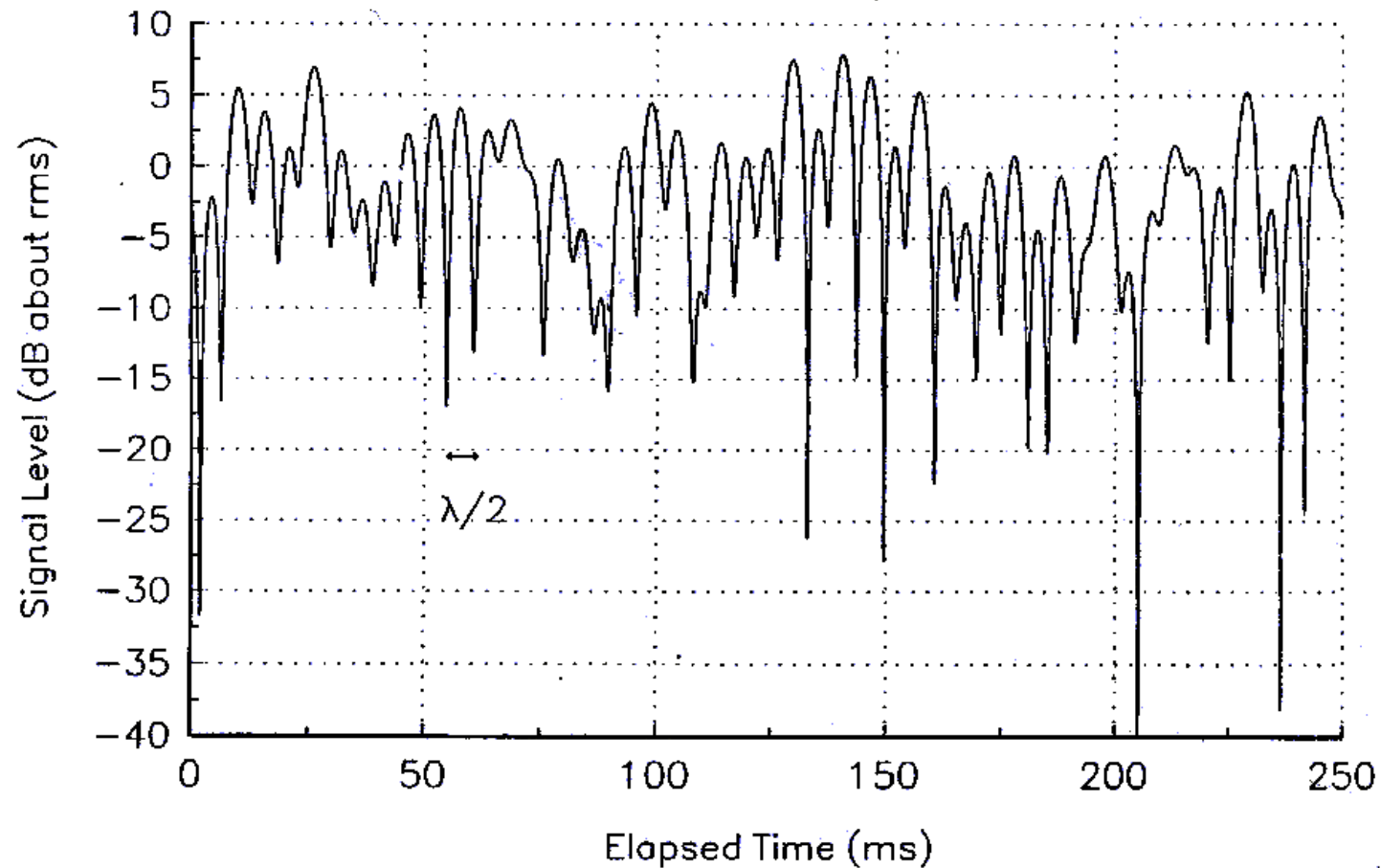
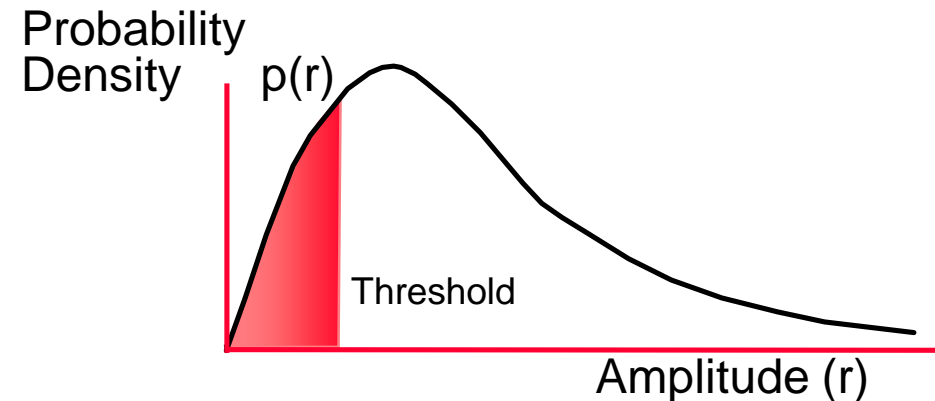


Figure 5.15 A typical Rayleigh fading envelope at 900 MHz [from [Fun93] © IEEE].

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

DISTRIBUSI RAYLEIGH memiliki *probability density function (pdf)*, sbb:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases}$$



Dimana,

σ = nilai rms dari sinyal terima, sebelum deteksi envelope

σ^2 menyatakan daya rata-rata waktu, sebelum deteksi envelope

Kemudian, probabilitas envelope sinyal tidak melebihi suatu nilai R yang ditentukan, dapat diturunkan sbb:

$$P(R) = P_r(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)$$

Ini adalah **CDF**
(Cumulative Distribution Function) !

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

Nilai mean r_{mean} dari distribusi Rayleigh diberikan oleh :

$$r_{\text{mean}} = E[r] = \int_0^{\infty} r p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = \mathbf{1.2533 \sigma}$$

Sedangkan variansi dari distribusi Rayleigh, σ_r^2 , menyatakan daya ac envelope sinyal ,

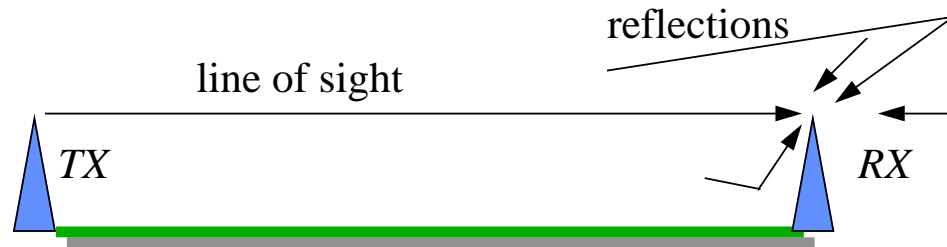
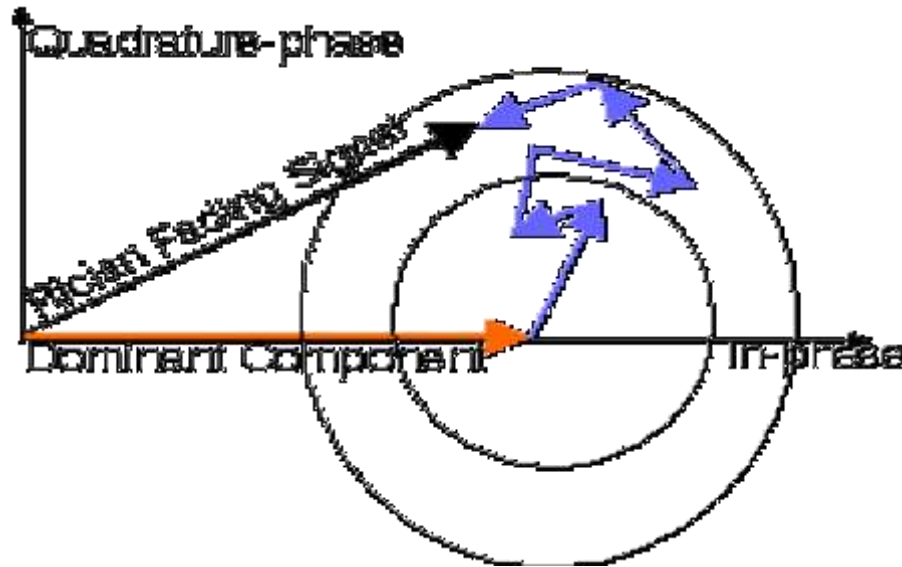
$$\begin{aligned} \sigma_r^2 &= E[r^2] - E^2[r] = \int_0^{\infty} r^2 p(r) dr - \frac{\sigma^2 \pi}{2} \\ &= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) = \mathbf{0.4292 \sigma^2} \end{aligned}$$

Nilai median dapat diselesaikan,

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{\text{median}}} p(r) dr \Rightarrow r_{\text{median}} = \mathbf{1.177 \sigma}$$

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

Bagaimana DISTRIBUSI RICIAN ?



Distribusi Rician terjadi kalau ada komponen sinyal yang dominan →
 Pada model di atas, komponen sinyal yang dominan adalah komponen sinyal LOS (*line of sight*)

Model persamaan sinyal :

$$e_r(t) = C \cos 2\pi f_0 t + \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$$

Dimana,

C = amplitudo komponen sinyal LOS

a_k, ϕ_k = amplitudo dan fasa sinyal multipath ke- k

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

Distribusi RICIAN diberikan oleh persamaan berikut:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(r^2 + C^2)}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{Cr}{\sigma^2}\right) & (A \geq 0, r \geq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases}$$

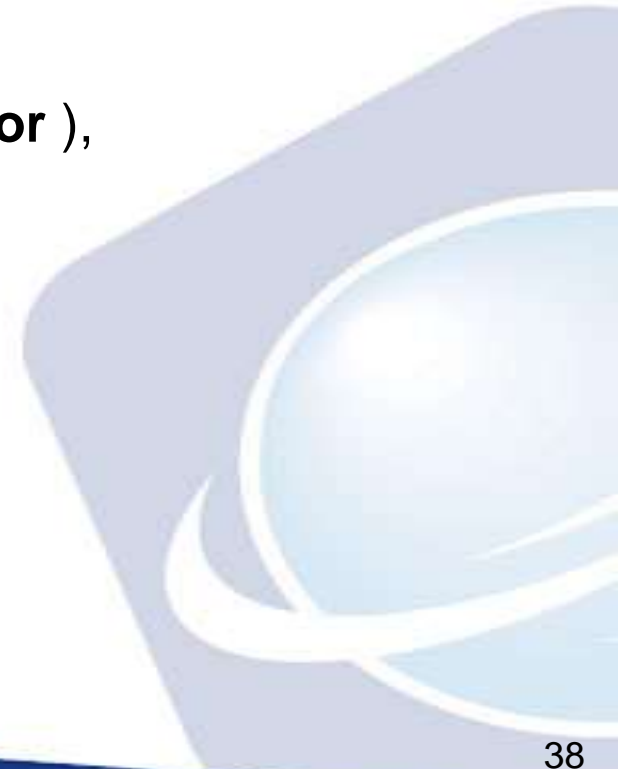
$I_0(\bullet)$ adalah fungsi Bessel termodifikasi bentuk pertama orde nol

Distribusi Rician sering dideskripsikan dalam **Parameter K (K factor)**, dimana:

$$K = \frac{C^2}{2\sigma^2}$$

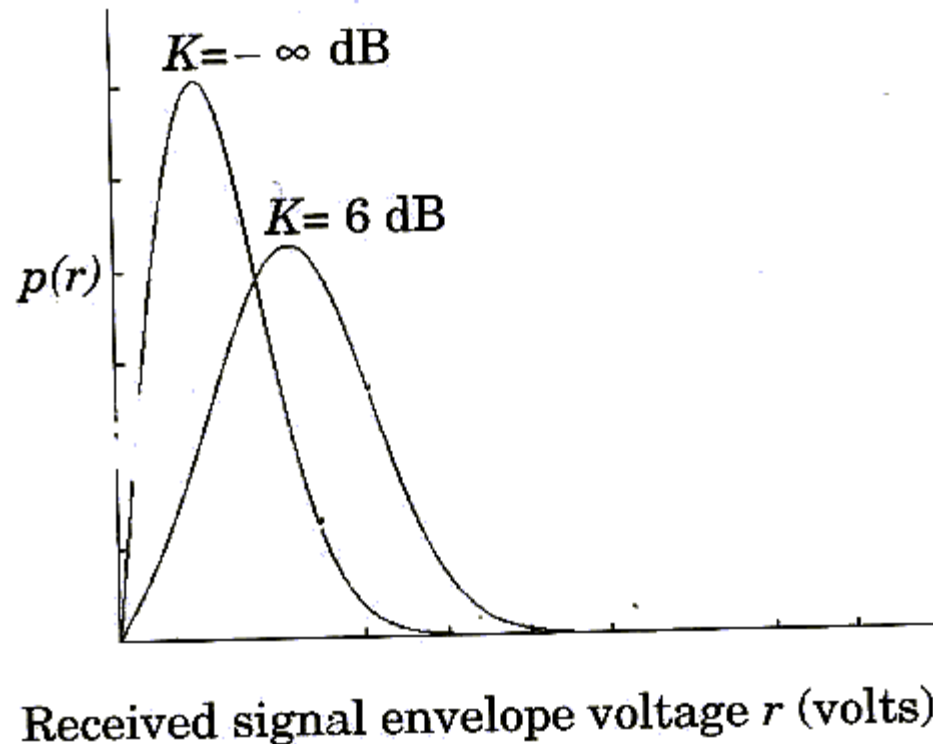
atau , dalam dB

$$K(\text{dB}) = 10 \log\left(\frac{C^2}{2\sigma^2}\right)$$



C. Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

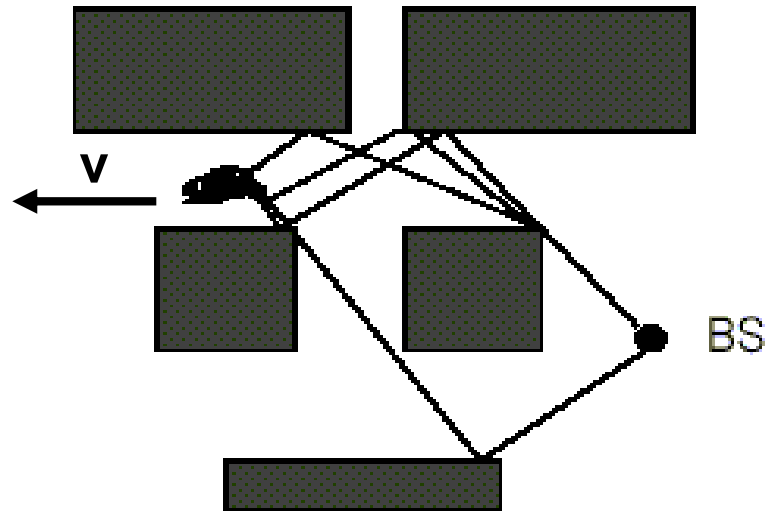
NILAI-NILAI K



- $K = 4 \dots 1000$ (6 to 30 dB) \rightarrow Untuk sistem micro-cellular
- **K tak berhingga ($K \rightarrow \infty$)**, artinya :
 - \rightarrow Komponen LOS dominan sangat kuat dibanding komponen lainnya
 - \rightarrow PDF Rician berbentuk menuju PDF Gaussian dengan σ kecil
- **Severe Fading ($K = 0$)**: Fading terjadi dengan hebat dan sangat galak
 - \rightarrow Itulah **Rayleigh Fading**

Small Scale Fading ... analisis sinyal multipath

Asumsi : Kendaraan bergerak → terpengaruh efek Doppler



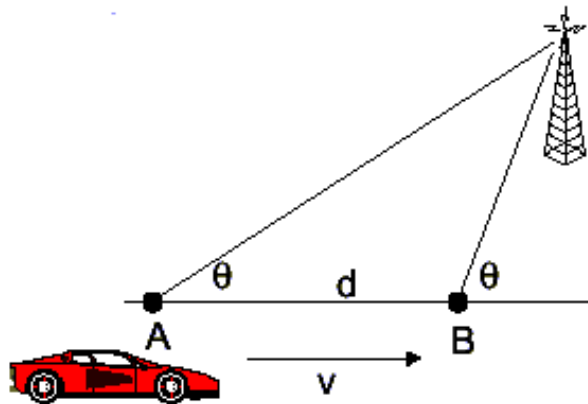
Sinyal terima MS diam sudah dinyatakan :

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_0 t + \phi_k)$$



Untuk MS bergerak, $f_0 \rightarrow f_k$,
karena frekuensi yang diterima
untuk masing-masing lintasan
berbeda-beda

$$e_r(t) = \sum_{k=1}^N a_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

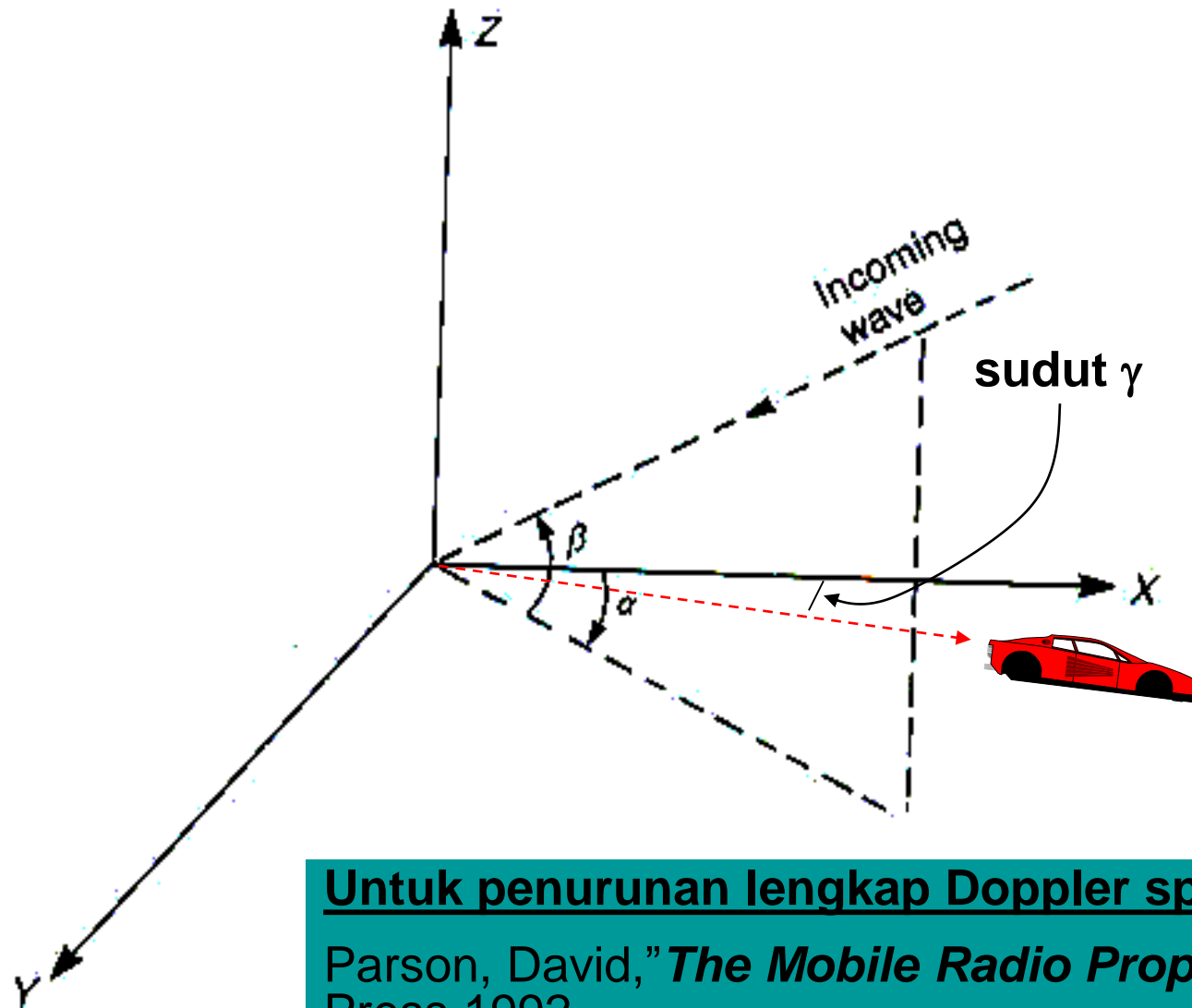


dimana,

$$f_k = \frac{v}{\lambda} \cos \theta_k$$

→ Rumit tapi
menarik !

Small Scale Fading



$$f_k = \frac{v}{\lambda} \cos \theta_k$$

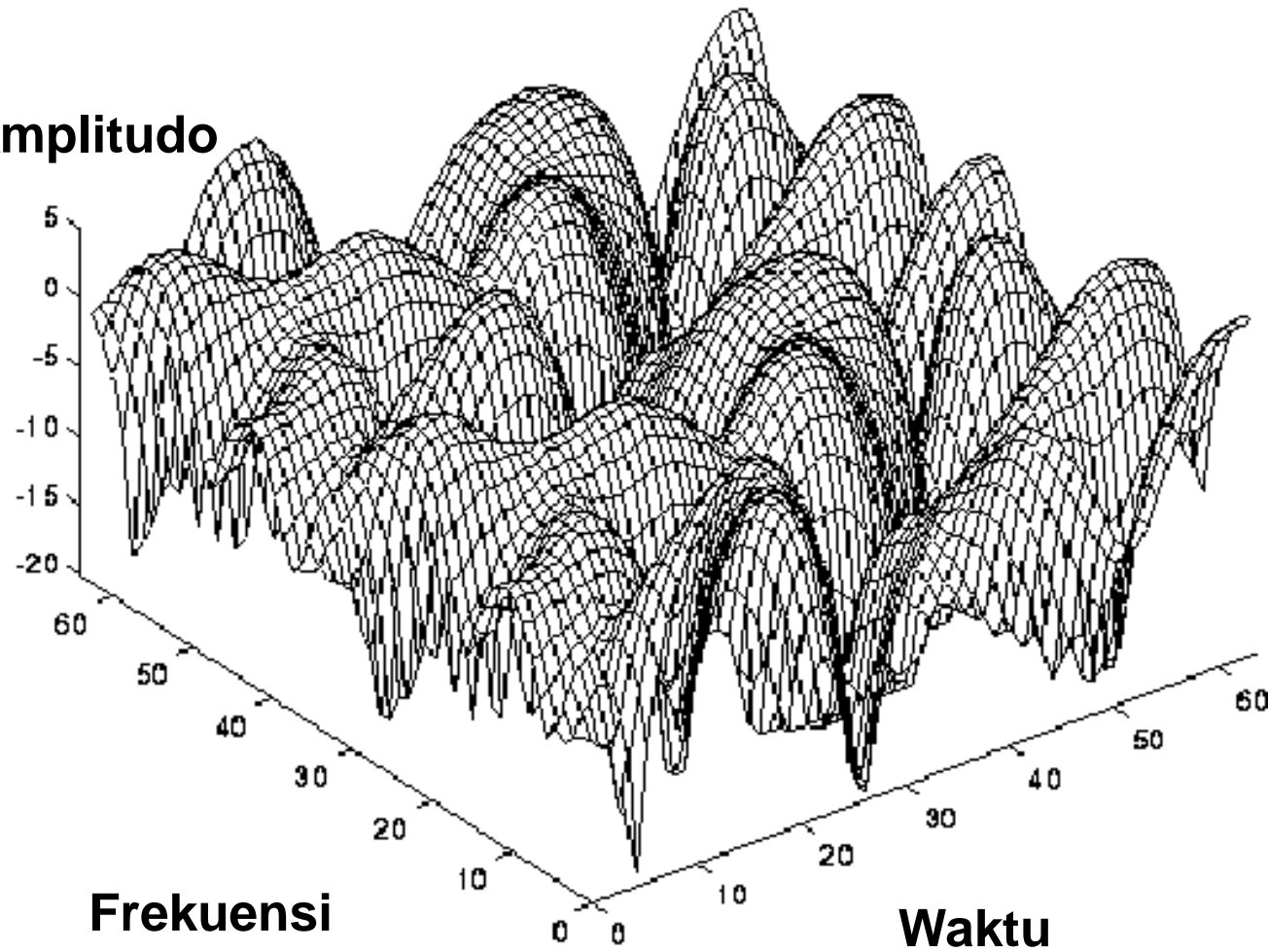
$$f_k = \frac{v}{\lambda} \cos(\gamma - \alpha_k) \cos \beta_k$$

Untuk penurunan lengkap Doppler spectrum, lihat pada:

Parson, David, "*The Mobile Radio Propagation Channel*", Pentech Press, 1992

Small Scale Fading

Amplitudo



- Amplitudo sinyal terima tergantung dari lokasi dan frekuensi
- Jika antena bergerak, maka lokasi x akan berubah linear terhadap waktu t ($x = v t$)

Parameters:

- probability of fades
- duration of fades
- bandwidth of fades



End