

TTH4A3  
Sistem Komunikasi Seluler

## Modul 1 :

# Basic Concepts for Cellular Communications



**(2 weeks)**

# Outline

## Minggu Pertemuan : 1 & 2

### Pendahuluan Siskomsel

- **Filosofi Shannon limit.**
- **Elemen-elemen Utama Siskomsel.**
- **Teknik Multiple Access.**

# Problem Besar, Bahan Kajian, dan LO

## PROBLEM

Apakah konsep-konsep yang harus diketahui & dipahami dalam konteks Sistem Komunikasi Seluler?

Bagaimana prinsip rekayasa system transceiver komunikasi radio seluler?

Apa standar seluler yang penting/popular, dan bagaimana karakteristiknya ?

Bagaimana merancang dimensi jaringan radio seluler berdasarkan pertimbangan *coverage* dan kapasitas?

## BAHAN KAJIAN

**KONSEP DASAR JARINGAN RADIO SELULER**

MOBILE CHANNEL DAN KONSEP REKAYASA SISTEM RADIO SELULER

WIRELESS CELLULAR COMMUNICATION STANDARDS

DESAIN JARINGAN RADIO SELULER

## Learning Outcome

Mengetahui dan memahami sejumlah konsep dasar yang penting dalam jaringan komunikasi seluler

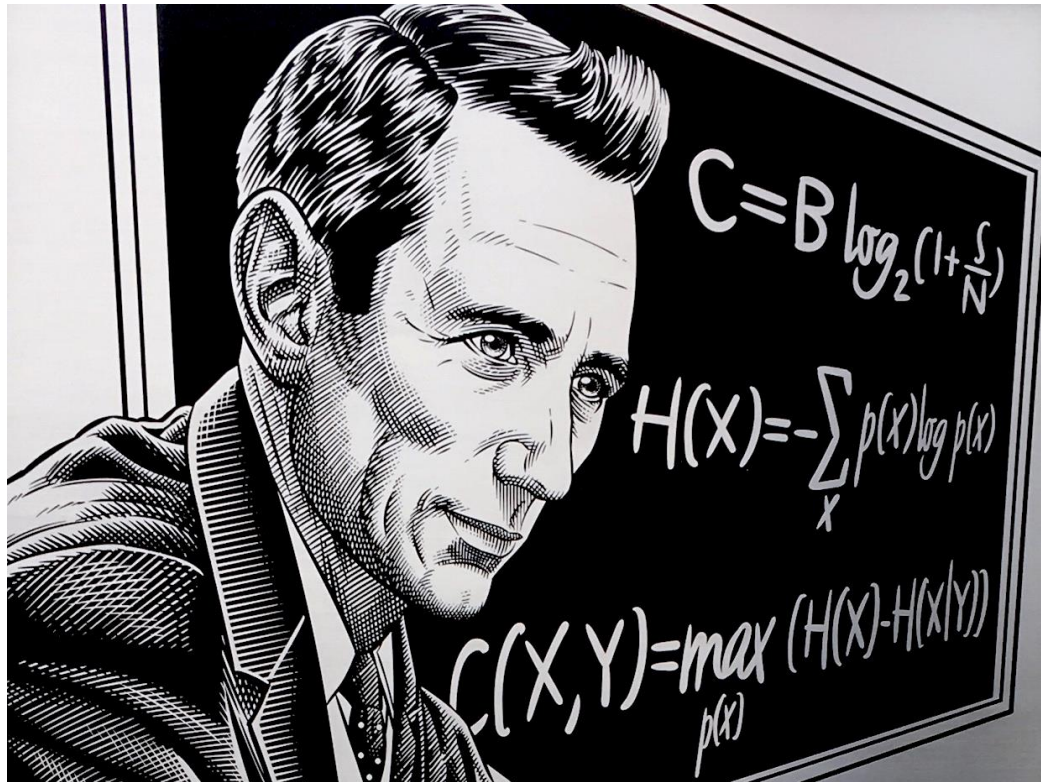


# Introduction

# SisKomSel : The Philosophy

- Sistem Komunikasi  $C \approx nB \log \left( 1 + MR\psi^2 \frac{E_b}{N_0} \right)$ 
  - Maximize capacity:
    - Understand channel  $\leftarrow$  frequency-flat, frequency-selective, multipath, single-path, broadband channel, narrowband channel
    - Modulation, Waveform
  - Minimize error:
    - Calculate BER, Simple Coding
- Selular  $\leftarrow$  Interference  $\leftarrow$  Multiple access  $\leftarrow$  many users
  - ISI, OFDMA, SC-FDMA, CDMA, SCMA, IDMA, FDMA, NOMA

# Filosofi Shannon Limit: Kapasitas Kanal



C: Kapasitas, B: Bandwidth

S/N: Rasio Daya Signal terhadap Noise

← Kapasitas untuk kanal Gaussian  
(Dipelajari di S1 dan Kuliah ini)

← Entropy  
(Dipelajari di S2)

← Kapasitas untuk Kanal Sebarang  
(Dipelajari di S2)

Image: IEEE Information Theory Society, 2016

- **Telekomunikasi berkembang sejak 1948**
- **Diawali oleh sebuah paper C.E. Shannon, “A Mathematic Theory of Communication”, *The Bell System Technical Journal*, October 1948.**

# Filosofi Shannon Limit: Kapasitas Kanal vs Kapasitas User

- Kapasitas Kanal bisa dinaikkan dengan:
  - Memperbesar Bandwidth
  - Memperbanyak Antenna → Sistem Multiple Input Multiple Output (MIMO)
  - Meningkatkan daya transmisi → sebagai jalan terakhir, karena hanya menyebabkan baterai cepat habis (lifetime pendek)
  - Ketiga aspek tersebut dinyatakan dengan

$$C \approx n \cdot B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$n$  adalah jumlah kanal karena MIMO

- Kapasitas User disebut juga Kapasitas Jaringan bisa dinaikkan dengan
  - Menggunakan Multiple Access yang baik
  - Menggunakan **Konsep Selular dan frequency re-use**

# Filosofi Shannon Limit: Kapasitas Kanal vs Kapasitas User

- Kapasitas Kanal hanya untuk komunikasi yang melibatkan 2 user (atau dua titik)
- Kapasitas User/Jaringan untuk komunikasi yang melibatkan banyak user (system seluler), yaitu angka yang menunjukkan jumlah user yang bisa dilayani (tanpa error atau dengan error yang diijinkan) dalam sebuah jaringan.
- Contoh kapasitas kanal (atau kecepatan transmisi) system telekomunikasi generasi 5G:
  - Bandwidth  $B=400$  MHz (maksimal)
  - $S/N = 10$  dB
  - MIMO=  $15 \times 15 \rightarrow n=10$  (kondisi ideal)

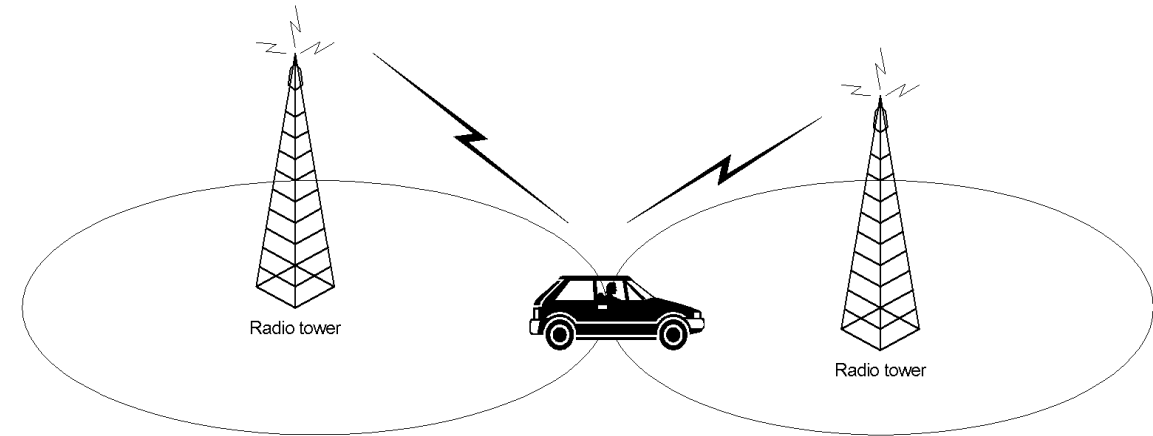
$$\begin{aligned}C &\approx n \cdot B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \\ &\approx 15 * 400.000.000 * \log_2 \left( 1 + 10^{10/10} \right) \text{ bps} \\ &\approx 20,757 \text{ Gbps}\end{aligned}$$

Nilai kapasitas ini adalah nilai pendekatan, karena nilai  $n$  bergantung kepada lingkungan tempat tx dan rx berada.



# Latar Belakang Sejarah

- Sebelum konsep seluler ditemukan, hubungan akan terputus pada batas area cakupan dan user harus melakukan call set up lagi
- **Kelemahan :**
  - ▶ Mahal ( daya, dan tinggi antena )
  - ▶ Kenyamanan pelanggan rendah
  - ▶ Kapasitas dan efisiensi spektrum rendah
- Tahun 1946 : Siskomber yang pertama di Amerika untuk komunikasi pelanggan bergerak dengan PSTN, half duplex (push to talk system ) dan radius pancar 50 km
- Tahun 1950-1960 diperkenalkan IMTS yang sudah bersifat full duplex
- Tahun 1950-1960 oleh Bell Laboratories namun implementasinya baru tahun 1983 di Chicago (AMPS)

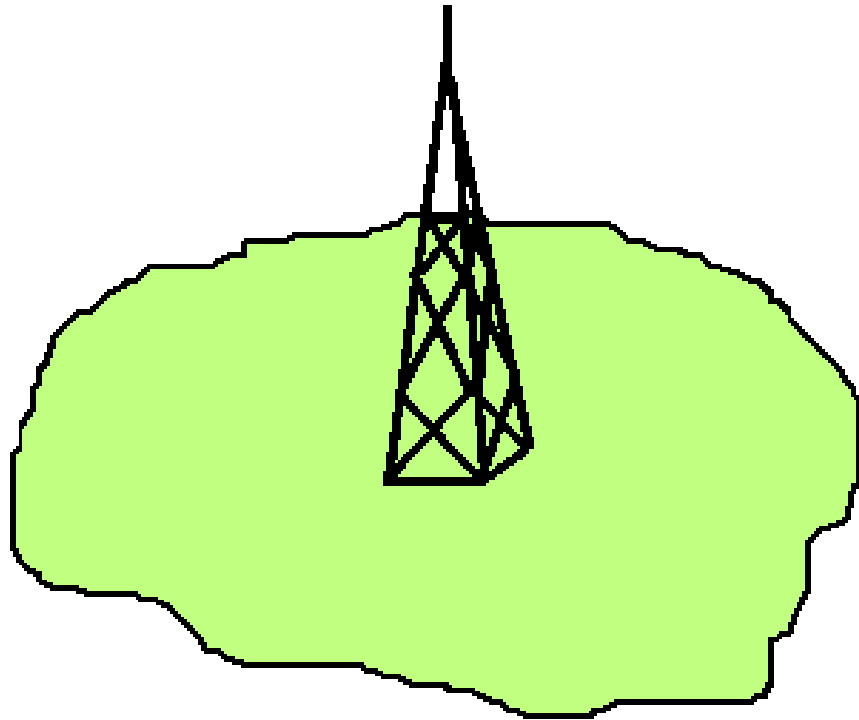


# Why Cellular Architecture?

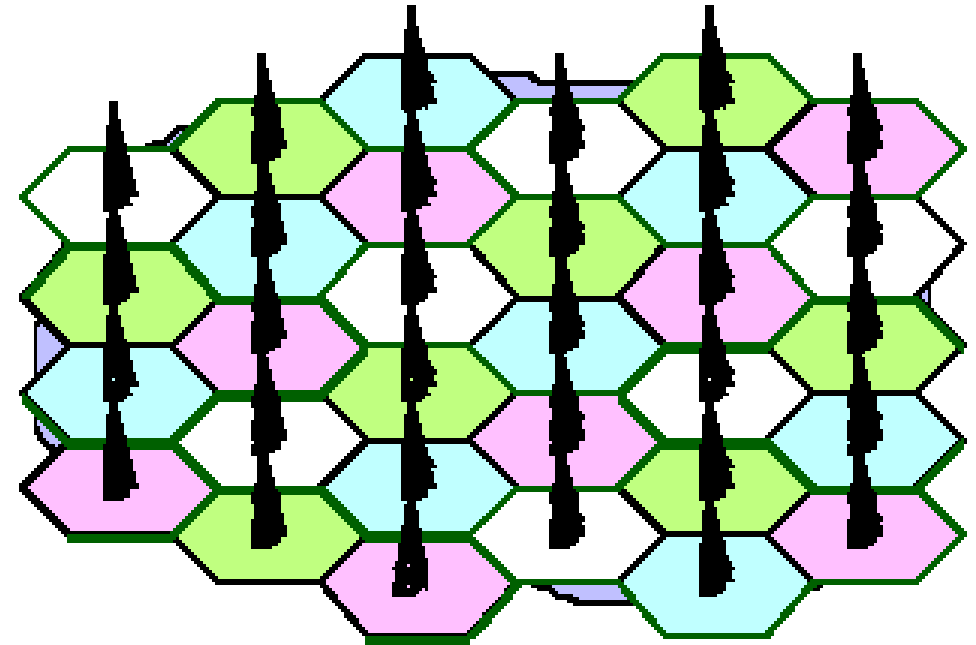
- ✓ Keterbatasan spektrum frekuensi
- ✓ Efisiensi penggunaan spektrum frekuensi



## “Arsitektur seluler”



- High power transmitter
- Large coverage area



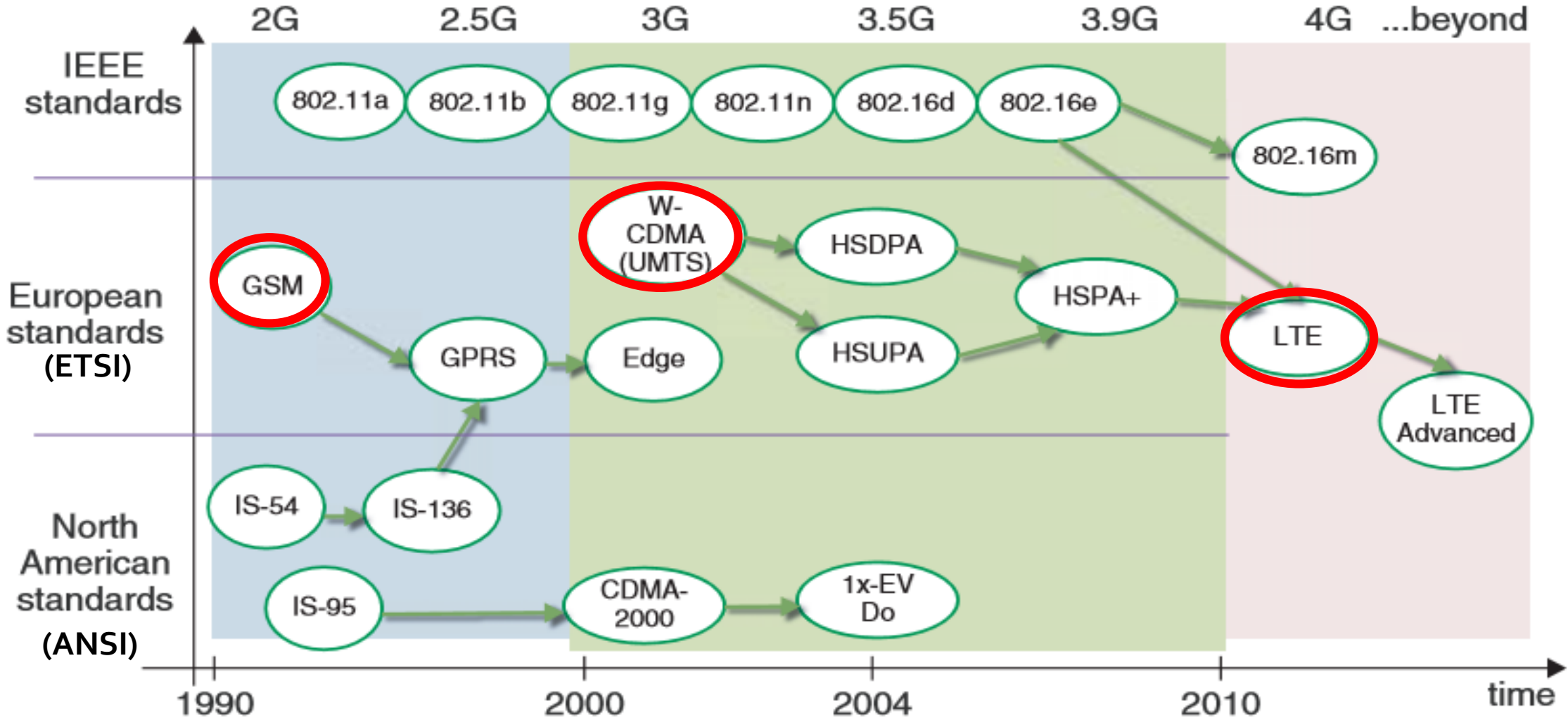
- Low power transmitter
- Small coverage area
- Frequency reuse
- Handoff
- Central control
- Cell splitting to increase call capacity

# Klasifikasi Teknologi

# Klasifikasi Teknologi Nirkabel: Berdasarkan tingkat mobilitas dan arsitektur

<b>Wireless Communication</b>	<b>Fixed Wireless</b>	<b>Non Cellular</b>	<b>contoh :</b> point to point communication, infra red communication, LMDS, Microwave communication
		<b>Cellular</b>	<b>contoh :</b> PHS, CT2, PACS, DCS1800, DECT
	<b>Mobile Wireless</b>	<b>Non Cellular</b>	<b>contoh :</b> paging system (ERMES, NTT, NEC) , dispatching system, PAMR ( <i>Public Access Mobile Radio</i> ) dsb
		<b>Cellular</b>	<b>contoh :</b> GSM, CDMA/IS-95, AMPS, UMTS, PHS, DCS1800, NMT450, TACS, C-450, dsb

# Klasifikasi Berdasarkan Generasi sistem Komunikasi Nirkabel



# Layanan

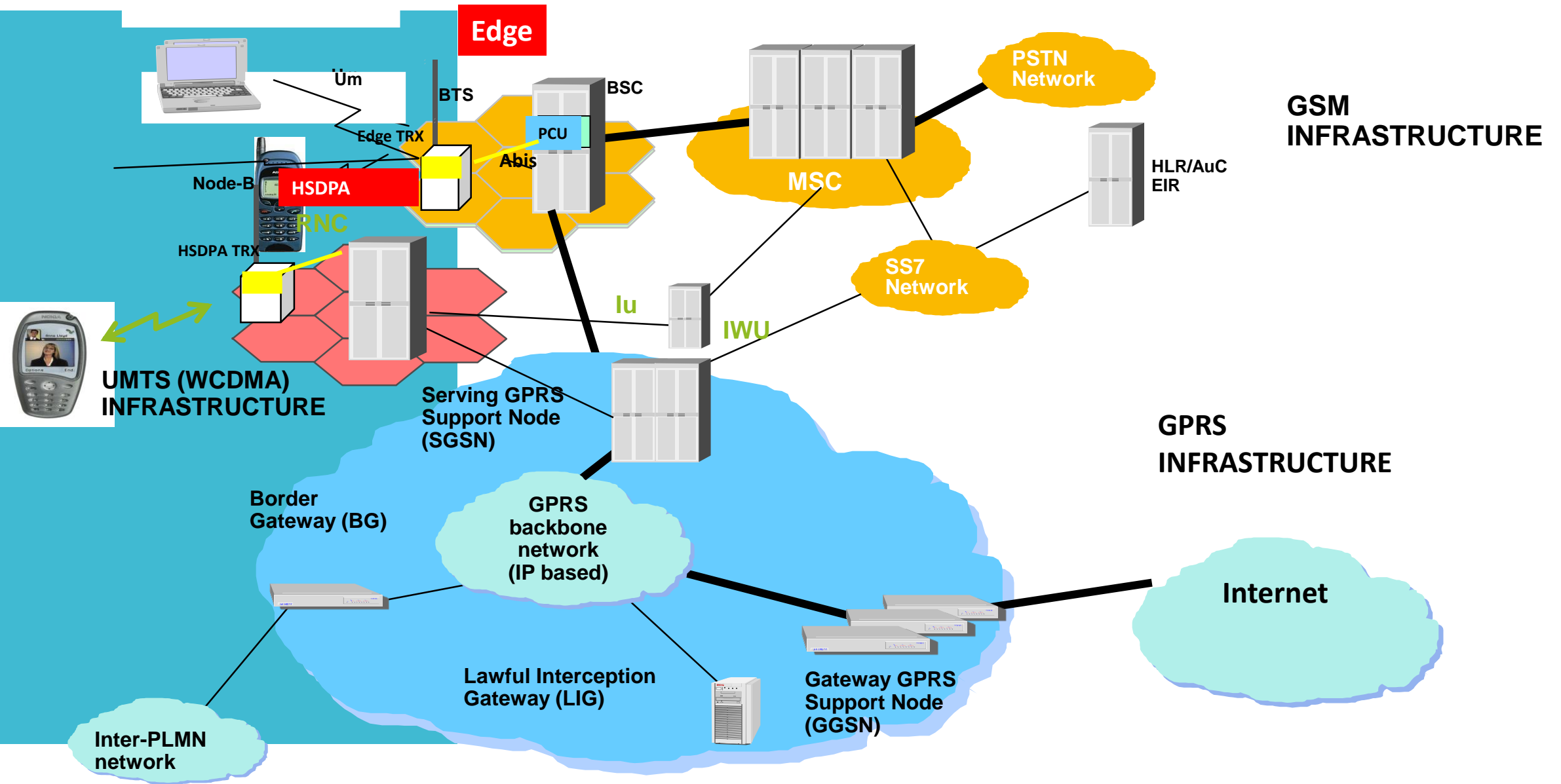
## Sumber:

Fei Hu, Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective, CRC Press

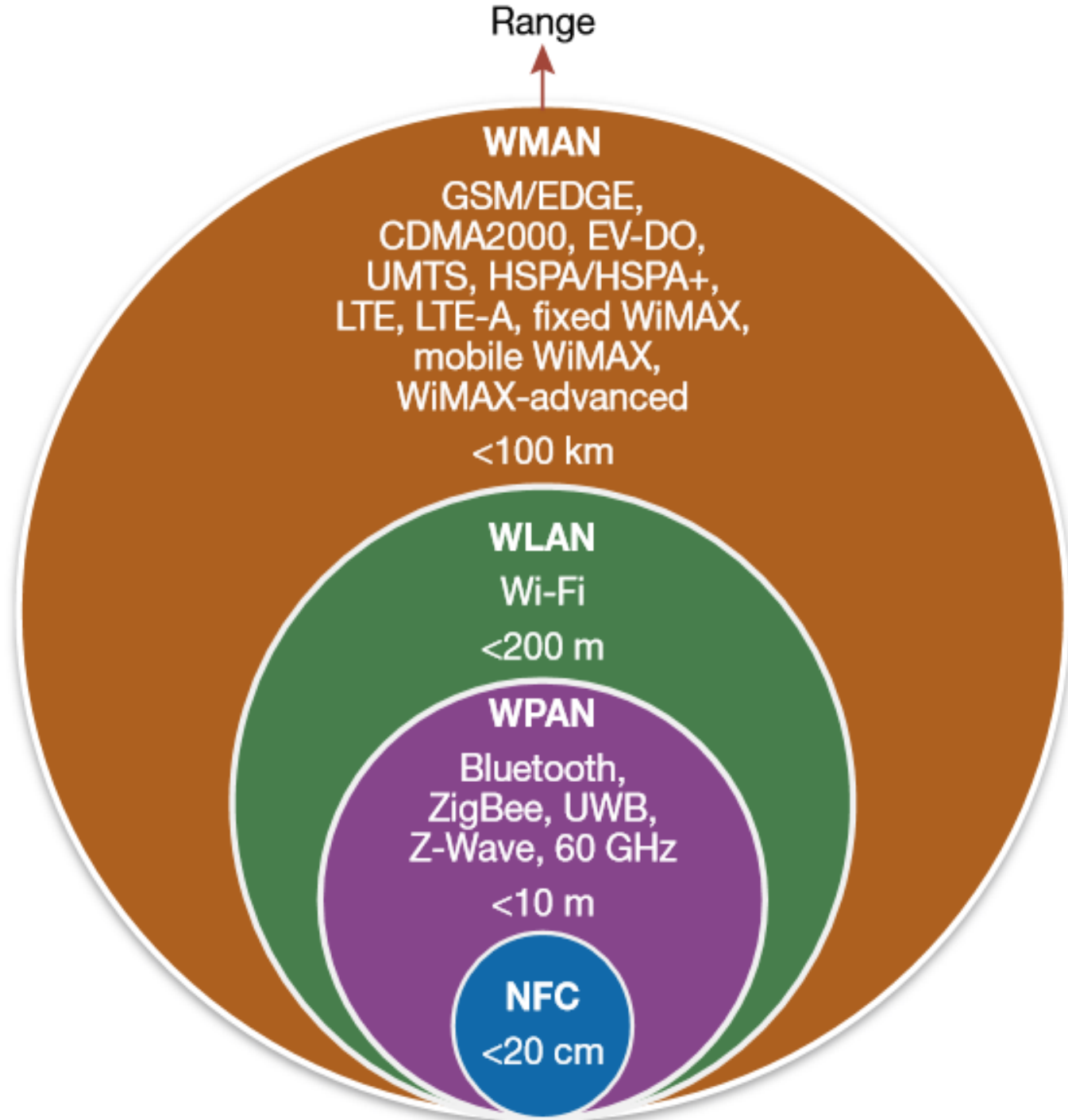
Generation	Definition	Throughput/ Speed	Technology	Time Period	Features
1G	Analog	14.4 Kbps (peak)	AMPS, NMT, TACS	1981–1990	Wireless phones are used for <i>voice only</i>
2G	Digital narrowband circuit data	9.6/14.4 Kbps	TDMA, CDMA	1991–2000	Multiple users on a single channel via <i>multiplexing</i> . Cellular phones are used for <i>data also along with voice</i>
2.5G	Packet data	171.2 Kbps (peak) 20–40 Kbps	GPRS	2001–2004	<i>Internet</i> becomes popular. <i>Multimedia services</i> and streaming start to show growth. Phones start supporting <i>web browsing</i>
3G	Digital broadband packet data	3.1 Mbps (peak) 500–700 Kbps	CDMA 2000 (1 × RTT, EVDO) UMTS, EDGE	2004–2005	<i>Multimedia services support</i> along with <i>streaming</i> . <i>Universal access and portability</i>
3.5G	Packet data	14.4 Mbps (peak) 1–3 Mbps	HSPA	2006–2010	<i>Higher throughput and speeds</i> to support higher data
4G	Digital broadband packet, all IP, very high throughput	100–300 Mbps (peak) 3–5 Mbps 100 Mbps (Wi-Fi)	WiMAX LTE Wi-Fi	Now (transitioning to 4G)	<i>High speed and definition streaming</i> . New phones with <i>HD capabilities</i> surface. <i>Portability</i> is increased further. <i>Worldwide roaming</i>
5G	Not yet	Gigabits	LAS-CDMA, OFDM, MC-CDMA, UWB, Network-LMDS	Soon (probably 2020)	<i>Currently there is no 5G technology deployed</i> . It will provide very <i>high speeds</i> and <i>efficient use of bandwidth</i> when deployed



# Evolution step GSM / GPRS / UMTS / HSDPA



# Klasifikasi Berdasarkan Luas Cakupan



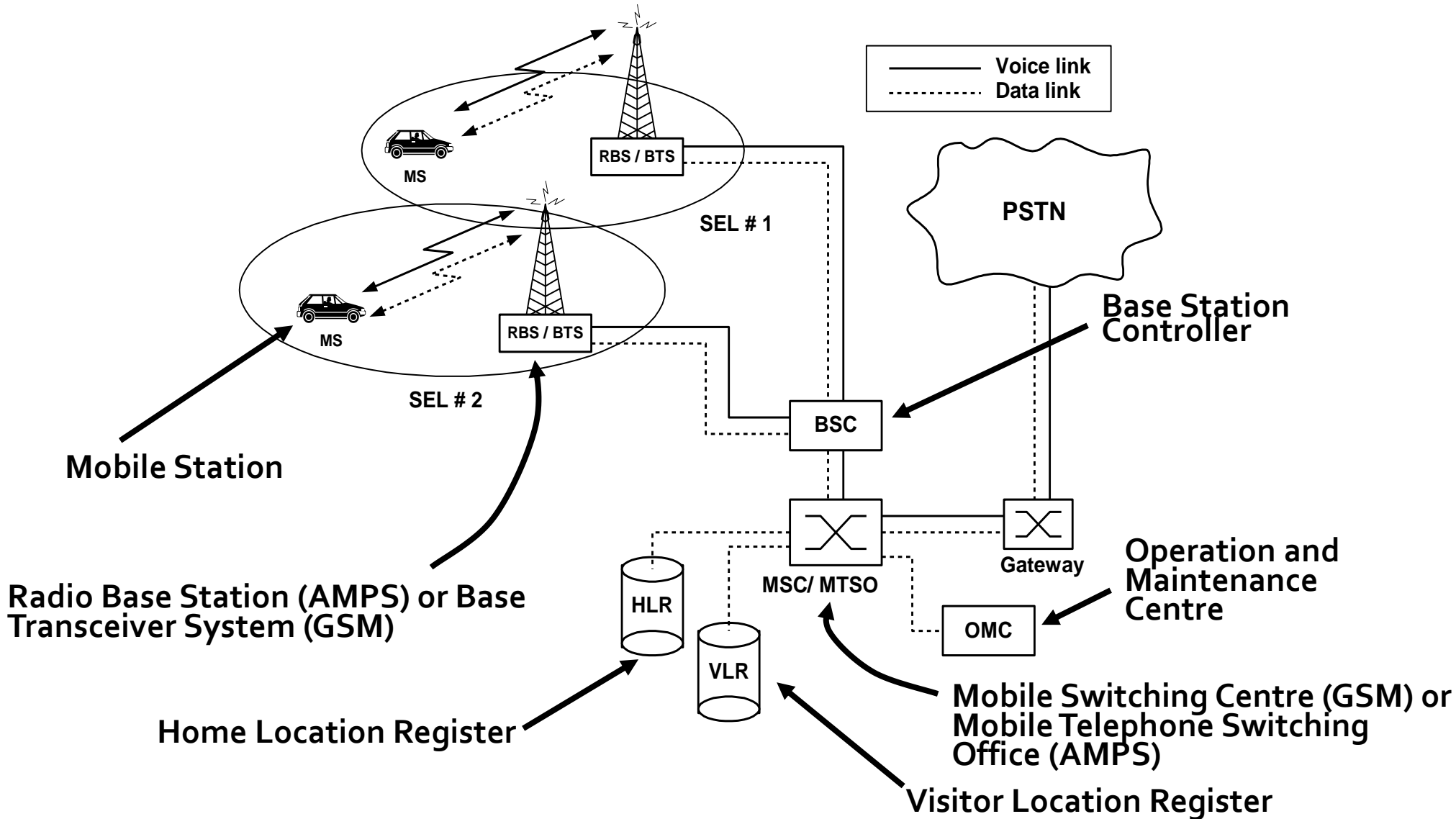




# Arsitektur Jaringan dan Infrastruktur Komunikasi Seluler



# Arsitektur Dasar Jaringan Bergerak Seluler



# Telecommunication Networks Today ...

**CPE**  
(Customer  
Premise  
Equipment)



**Jaringan akses**

**Jaringan akses  
kabel**

Akses kabel  
tembaga

Akses kabel  
optik

**Jaringan akses  
nirkabel**

Fixed wireless

Mobile  
wireless

Akses satelit

**Backhaul  
network**

Access  
point, BTS,  
NodeB,  
eNodeB

Satelit

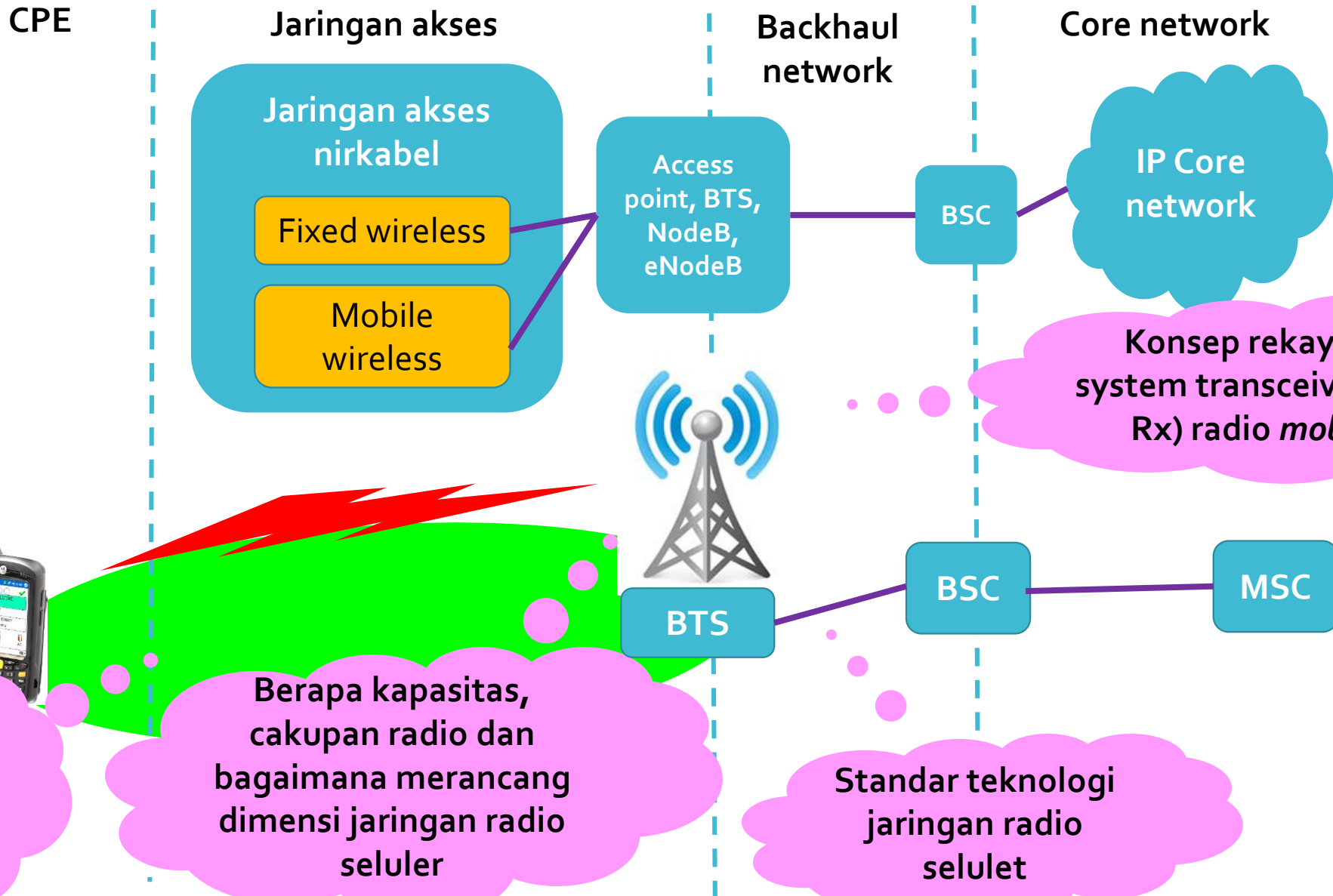
BSC

Ground  
segmen

**Core network**

**IP Core  
network**

# Apa yang kita pelajari di "Sistem Komunikasi Seluler?"



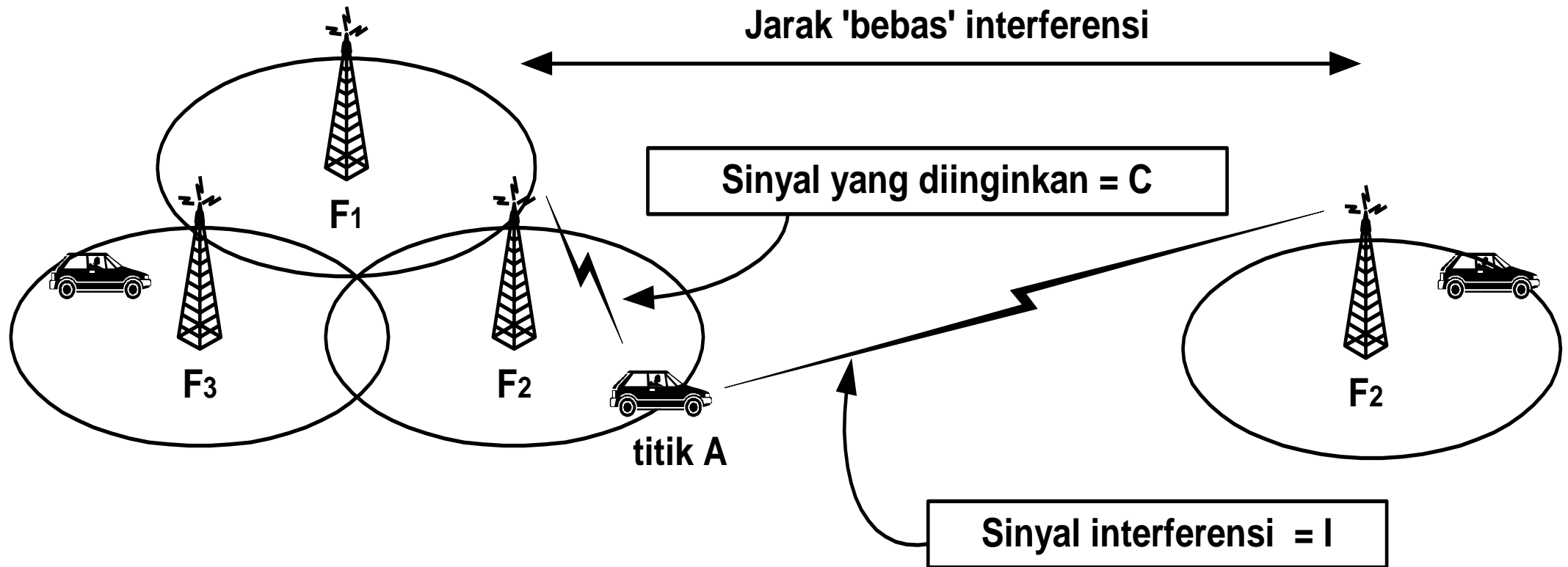


# Manajemen Frekuensi

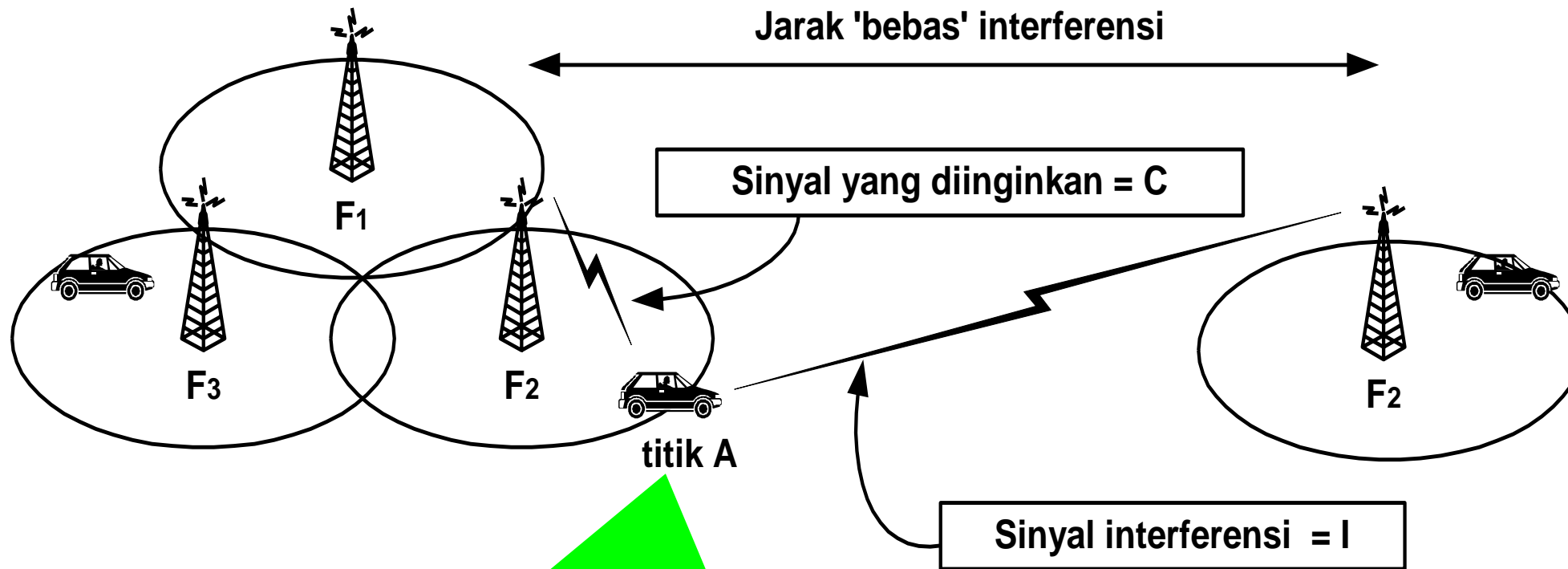
Konsep Frequency Reuse

# Frequency Reuse

Pengulangan atau **menggunakan kembali** frekuensi yang sama pada area yang berbeda **di luar** jangkauan interferensinya



# Parameter Kualitas Sinyal: C/I (carrier to interference ratio)



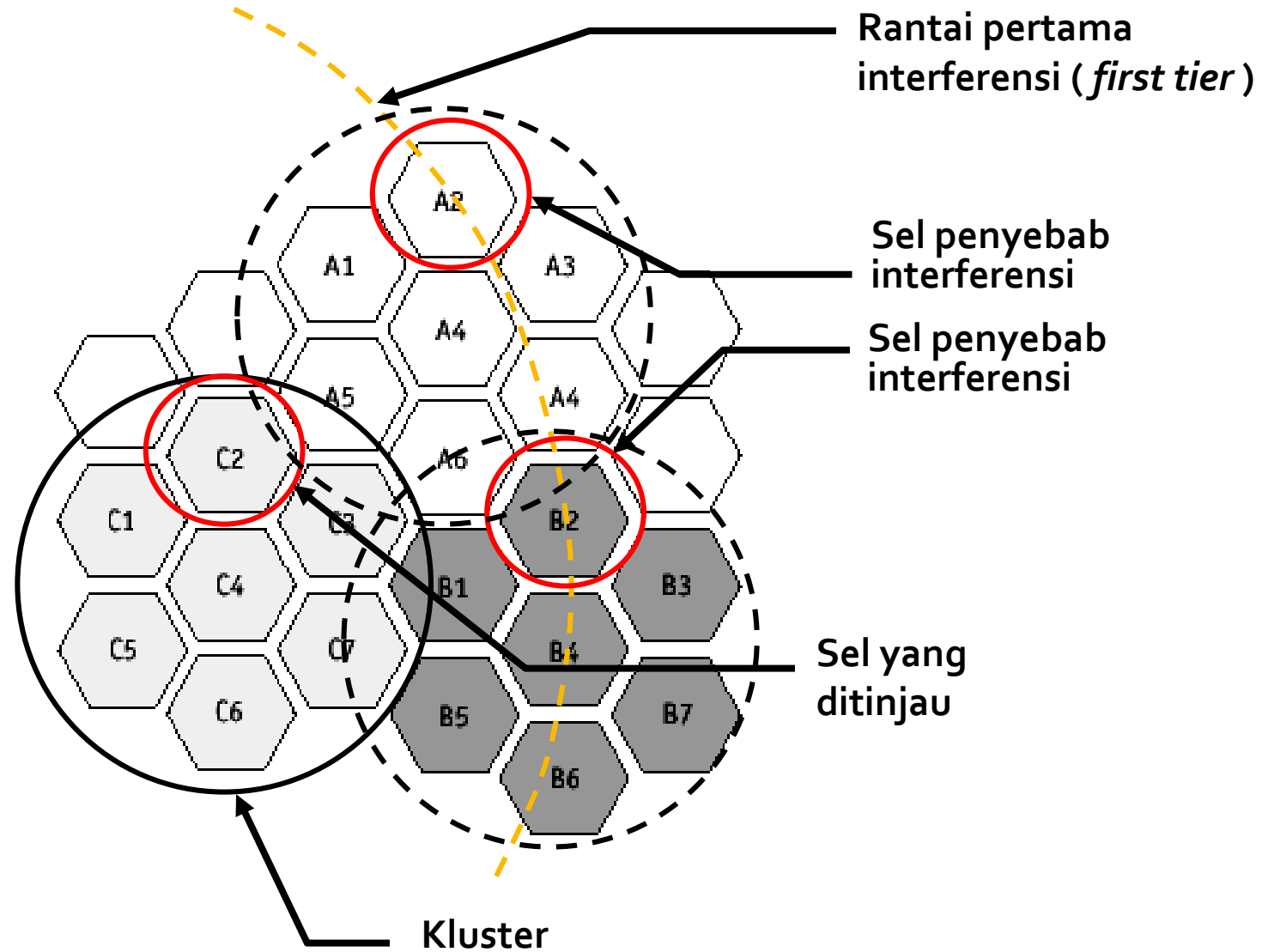
- Lokasi kasus sinyal terburuk → titik A
- Dalam desain, pada lokasi sinyal terburuk → C/I harus tetap lebih besar atau sama dari C/I minimum yang dipersyaratkan

*Plane earth propagation model*

$$L_p = \left( \frac{d^2}{h_1 h_2} \right)^2$$

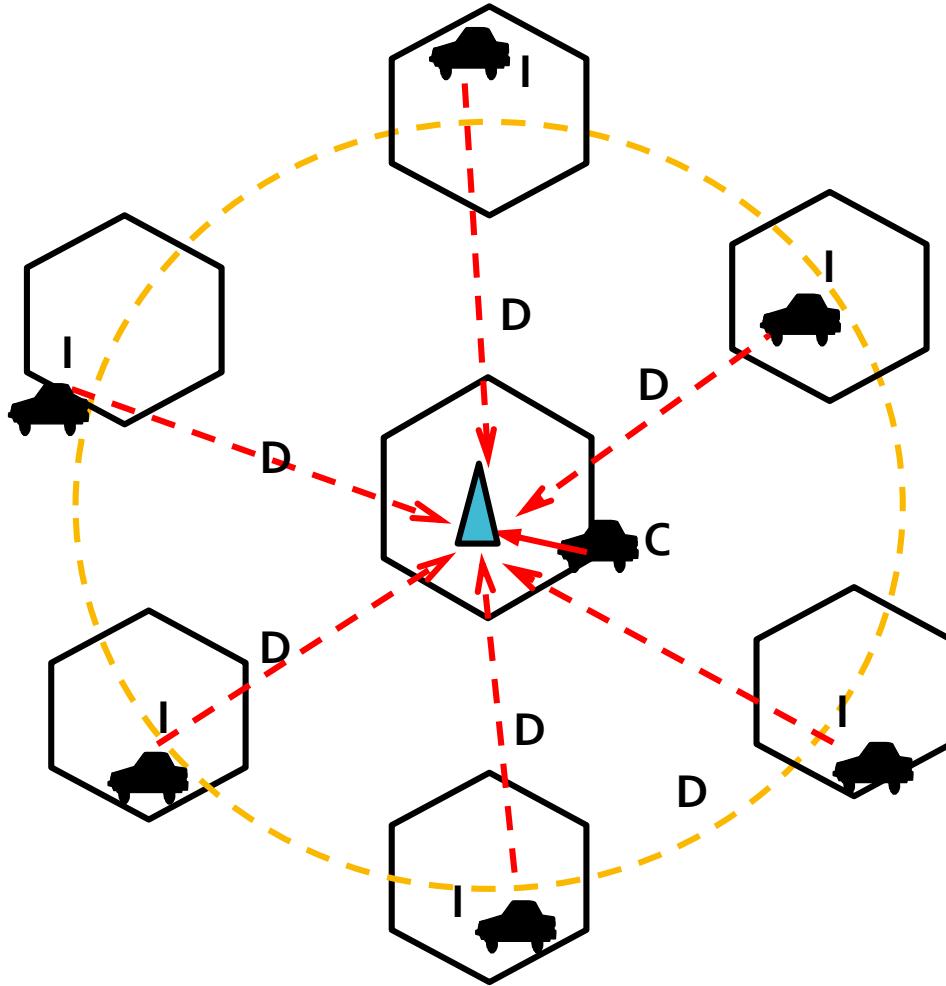
$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N_{\text{interferensi}}} \left[ \frac{P_t / R^4}{P_t / D^4} \right]$$

# Analisis Interferensi Co-Channel





# Analisis Interferensi Co-Channel: Uplink (MS → BTS)

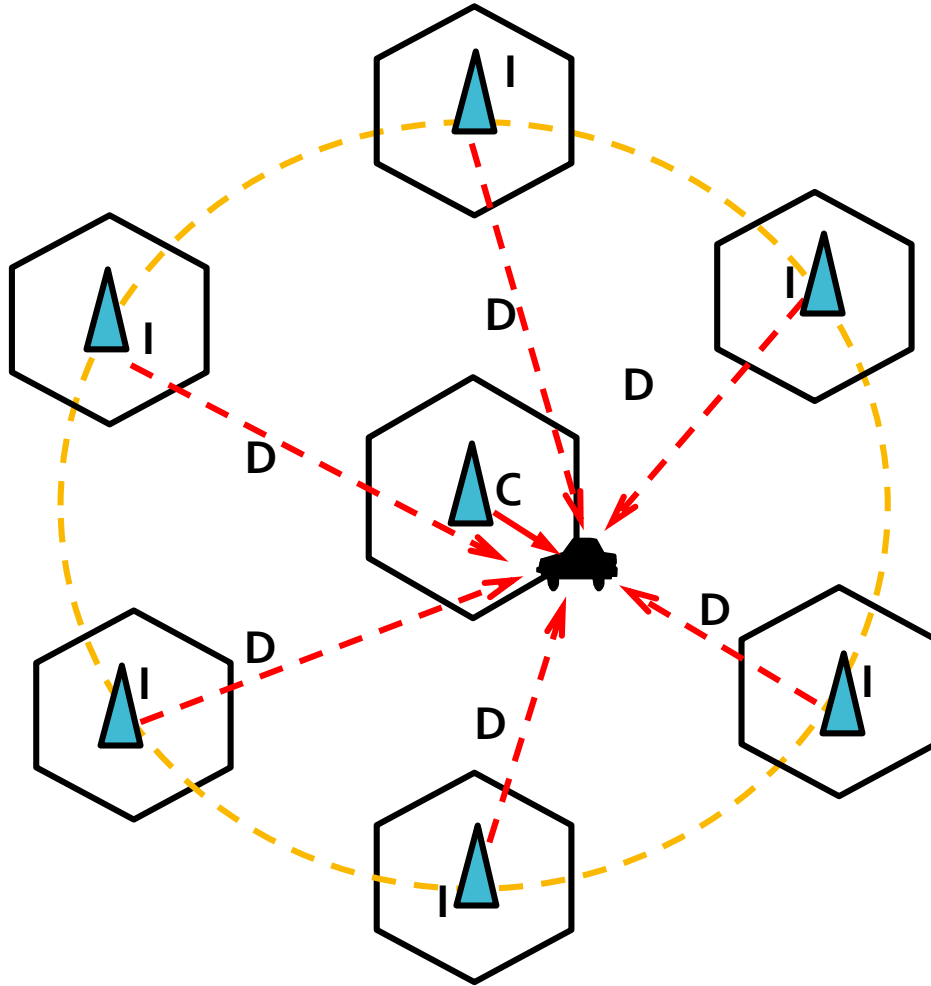


$$\begin{aligned}C &= P_o / L(R) \\I &= P_o / L(D) \\&\rightarrow \mathbf{C/I = f(R,D)}\end{aligned}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{P_o / L(R)}{\sum_{n=1}^N P_n / L(D)}$$

**N = Jumlah sel penginterferensi**

# Analisis Interferensi Co-Channel: Downlink (BTS → MS)



$$C = P_o / L(R)$$

$$I = P_o / L(D)$$

$$\rightarrow \mathbf{C/I = f(R,D)}$$

→ R = radius / jari-jari sel

D = jarak antara 2 pusat sel reuse

$$\frac{C}{I} = \frac{P_o / L(R)}{\sum_{n=1}^N P_n / L(D)}$$

N = Jumlah sel penginterferensi

# Analisis Interferensi Co-Channel

$$\frac{C}{I} = \frac{P_o / L(R)}{\sum_{n=1}^N P_n / L(D)}$$

$$L_p = \left( \frac{d^2}{h_1 h_2} \right)^2$$

Plane Earth Propagation Model

$$\frac{C}{I} = \frac{P_o / \left( \frac{R^2}{h_{10} h_{20}} \right)^2}{\sum_{n=1}^N P_n / \left( \frac{D_n^2}{h_{1n} h_{2n}} \right)^2}$$

Asumsi sel seragam,  
 $h_{10} = h_{11} = \dots = h_{1n}$   
 $h_{20} = h_{21} = \dots = h_{2n}$

" Hubungan antara kluster K dengan C/I "

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{N \cdot D^{-4}} = \frac{1}{N} \left( \frac{D}{R} \right)^4$$

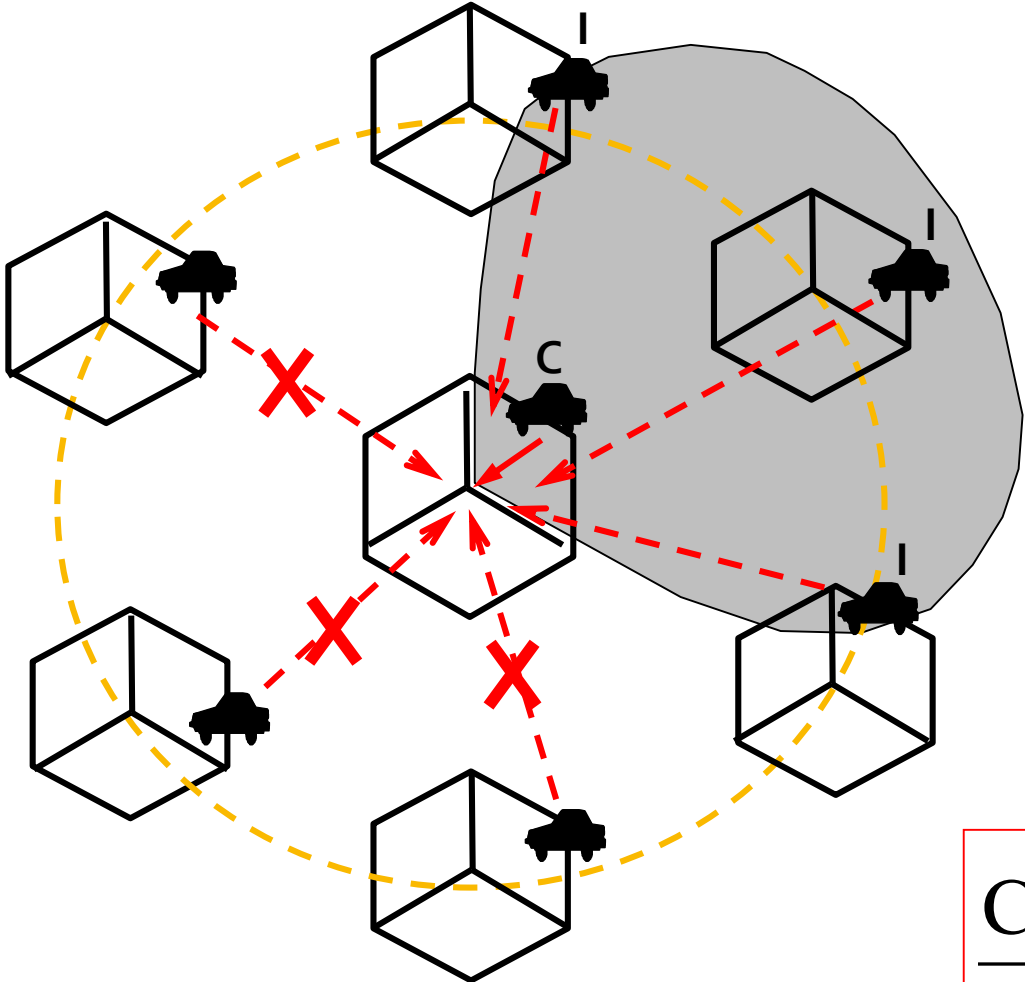
$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N} \left( \sqrt{3K} \right)^4 = \frac{9K^2}{N}$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3K}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{\sum_{n=1}^N D_n^{-4}}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{P / \left( \frac{R^2}{k} \right)^2}{\sum_{n=1}^N P / \left( \frac{D_n^2}{k} \right)^2}$$

# Perbaikan C/I Dengan Sektorisasi Antena



Topologi sel trisektor menggunakan antena sektor 120°. Karena antena tersebut mencakup 1/3 bagian sel, maka interferensi cochannel akan dapat ditekan hingga 1/3-nya pula.

Penggunaan 6 sektor sel akan menekan interferensi cochannel hingga 6 kali. Namun beban signalling akan menjadi lebih tinggi

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{N} \left[ \frac{D}{R} \right]^4$$

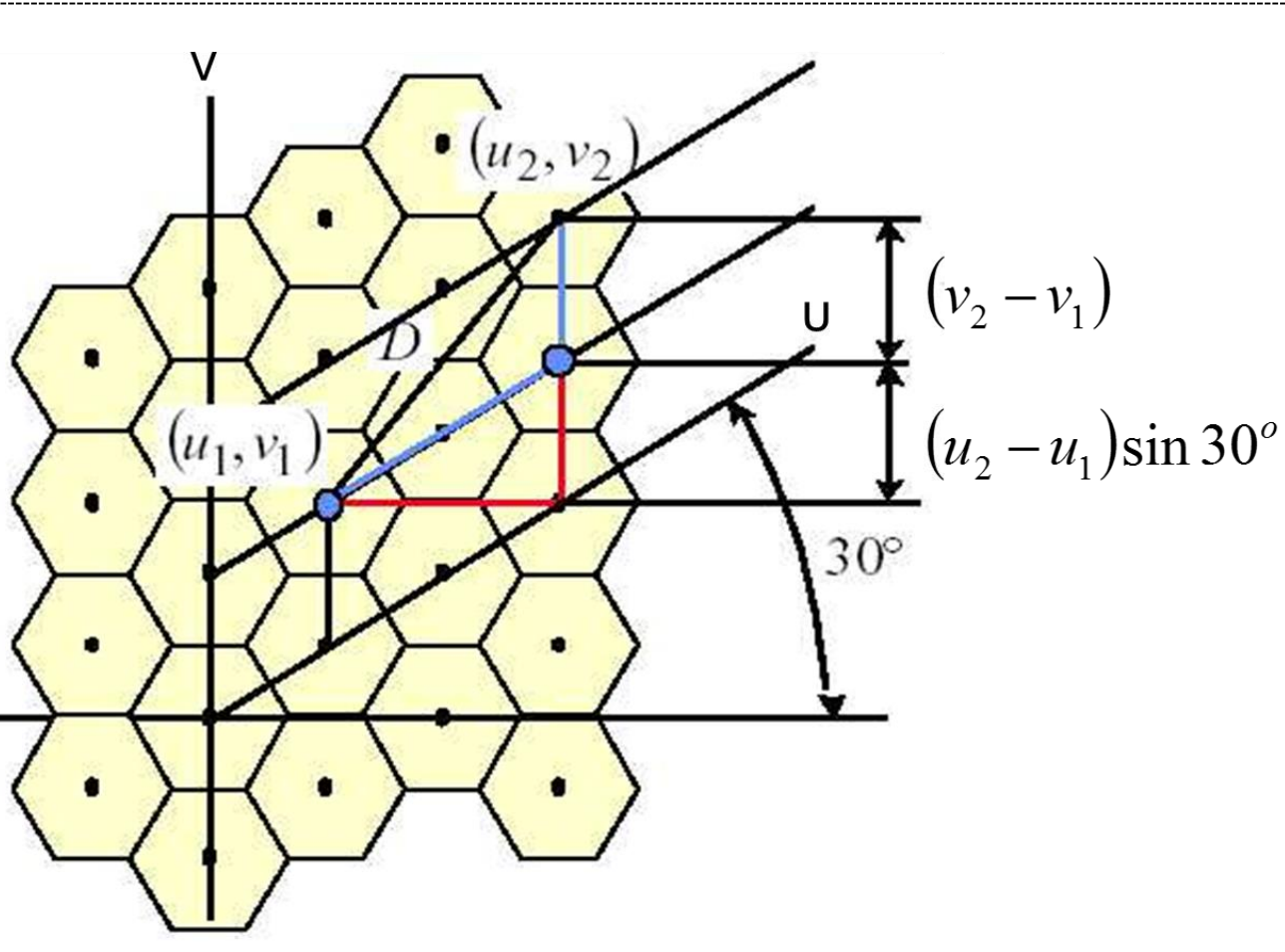
}	$\frac{C}{I} \approx \frac{1}{6} \left[ \frac{D}{R} \right]^4$	Antena omnidirectional
	$\frac{C}{I} \approx \frac{1}{2} \left[ \frac{D}{R} \right]^4$	Antena trisektoral



# Analisis Sistem Koordinat



# Sistem Koordinat



$i$	$j$	$N = (i^2 + ij + j^2)$	$Q = D/R = \sqrt{3N}$
1	0	1	1,73
1	1	3	3,00
2	0	4	3,46
2	1	7	4,58
3	0	9	5,20
2	2	12	6,00
3	1	13	6,24
4	0	16	6,93
3	2	19	7,55
4	1	21	7,94
3	3	27	9,00

$$D = \left\{ (u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Jika,  $(u_1, v_1) = (0, 0)$   $(u_2, v_2) =$  merupakan nilai integer  $= (i, j)$

$$D = \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3K}$$

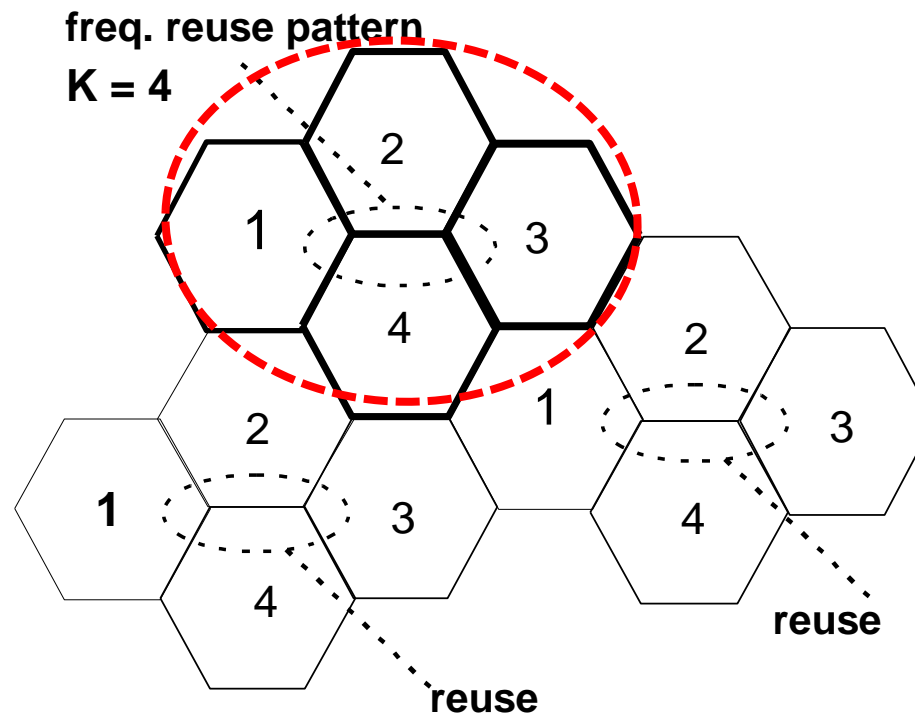
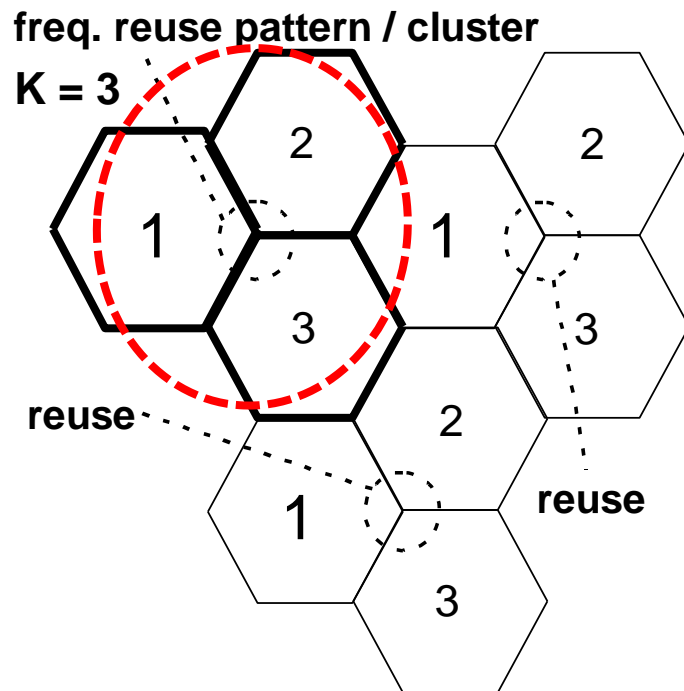
# RuF (*Reuse Factor*) atau Ukuran Kluster (K)

- **Kluster** adalah kelompok sel yang masing-masing selnya memiliki 1 set frekuensi yang berbeda dengan sel lain di kluster yang sama.
- **Ukuran kluster = Reuse Factor ( dilambangkan =  $K = RuF$  )** = jumlah sel dalam 1 kluster
- Semakin kecil RuF, frekuensi dapat diulangi semakin efisien → kapasitas makin besar

## Contoh :

$K = 3$  artinya terdapat 3 sel dalam 1 kluster

$K = 4$  artinya terdapat 4 sel dalam 1 kluster



$$\frac{D}{R} = \sqrt{3K}$$

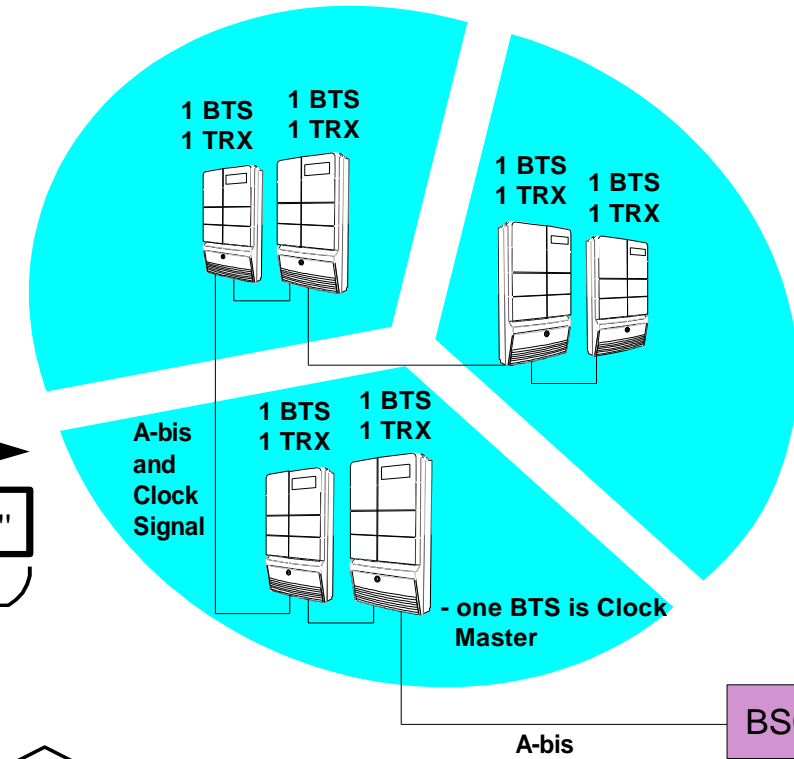
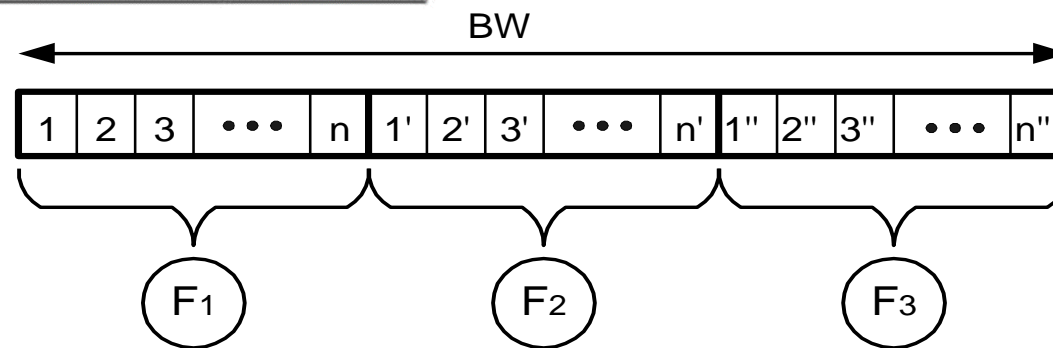
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \times RuF}$$

# Kapasitas Seluler

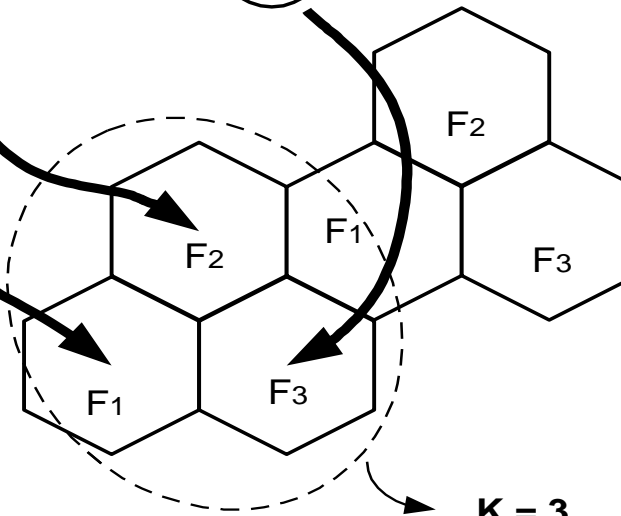


# Kapasitas Kanal Tiap Sel

OPERATOR GSM	ALOKASI FREKUENSI		
	GSM900 (MHz)	GSM1800 (MHz)	TOTAL (MHz)
TELKOMSEL	7.5	22.5	30
INDOSAT	10	20	30
XL	7.5	7.5	15
AXIS	0	15	15
THREE	0	10	10
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>100</b>



$$N = \frac{BW_{\text{Alokasi}}}{BW_{\text{ch RF}}} \times \frac{\text{jumlah kanal}}{K} \text{ ch RF}$$



Dapat disimpulkan, jumlah frekuensi carrier dalam satu sel adalah lebih dari satu buah...

# Teknik Akses Jamak & Manajemen Sumberdaya Radio

*Radio Resource Management*

## Sumberdaya Radio

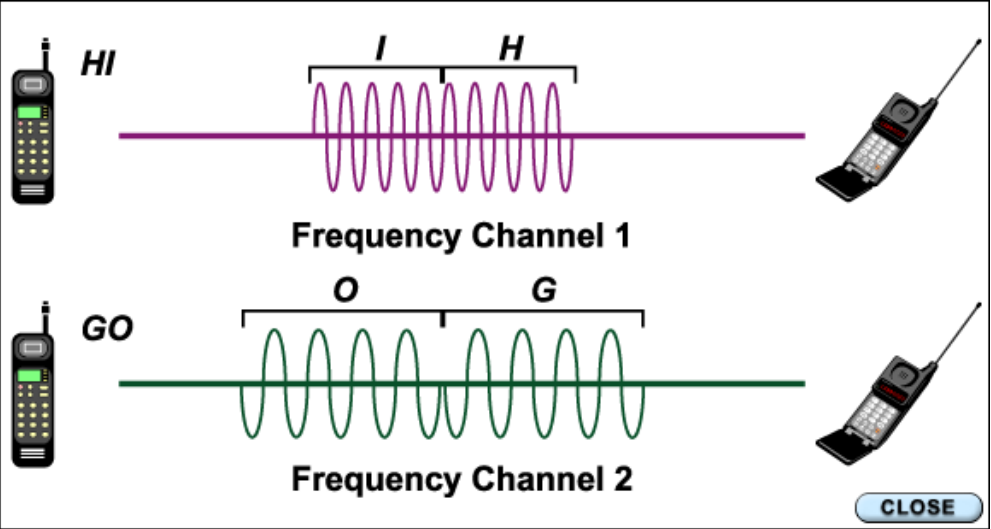
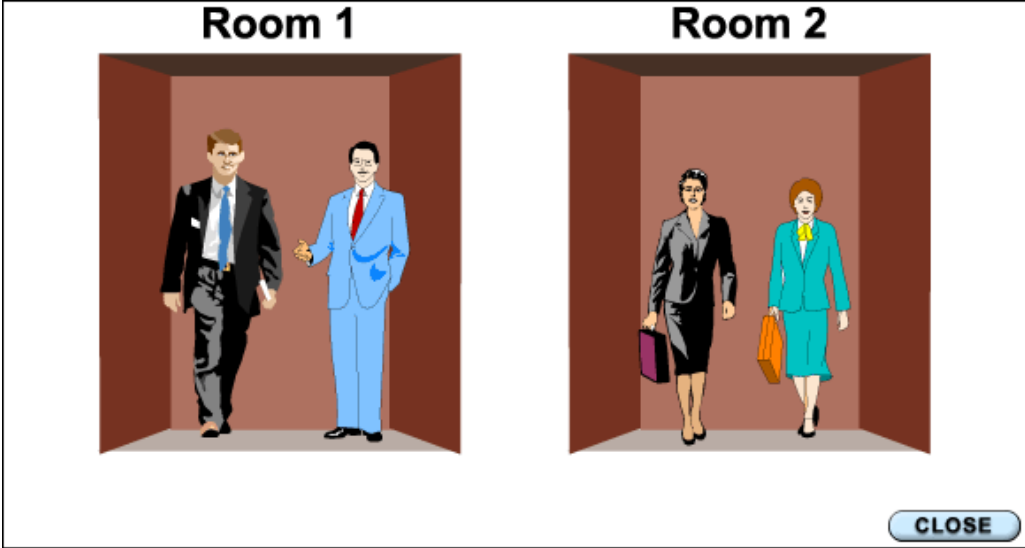
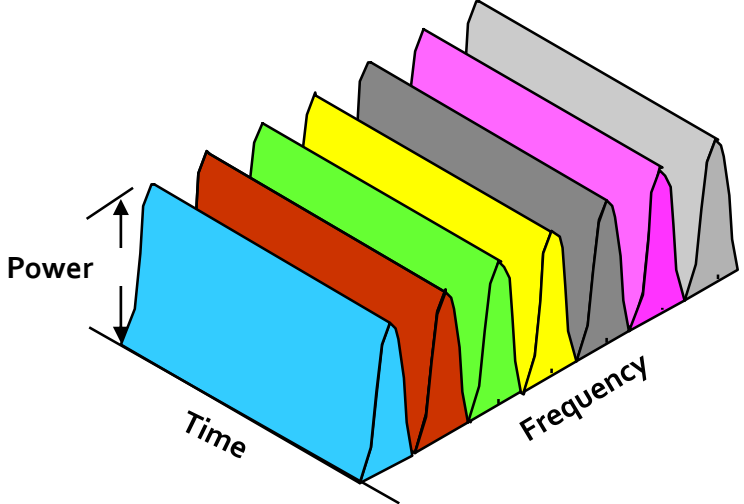
- *Resource radio* (kanal) yang digunakan untuk mengirimkan informasi
- Sumberdaya radio utama:
  - Frekuensi → **FDMA**
  - Waktu → **TDAM**
  - Daya pancar → **Capture effect**
  - Space → **SDMA, STBC**
  - Code → **CDMA**

# Multiple Access

- **CDMA** = *Code Division Multiple Access*
  - Berarti bahwa beberapa user dapat saling berkomunikasi menggunakan Channel yang sama pada waktu yang bersamaan, masing-masing user menggunakan code yang berbeda
- **TDMA** = *Time Division Multiple Access*
  - Berarti bahwa beberapa user dapat saling berkomunikasi menggunakan Channel yang sama pada waktu yang berbeda, tiap user tidak menggunakan code
- **FDMA** = *Frequency Division Multiple Access*
  - Berarti bahwa beberapa user dapat saling berkomunikasi menggunakan Channel yang berbeda pada waktu yang sama, tiap user tidak menggunakan code

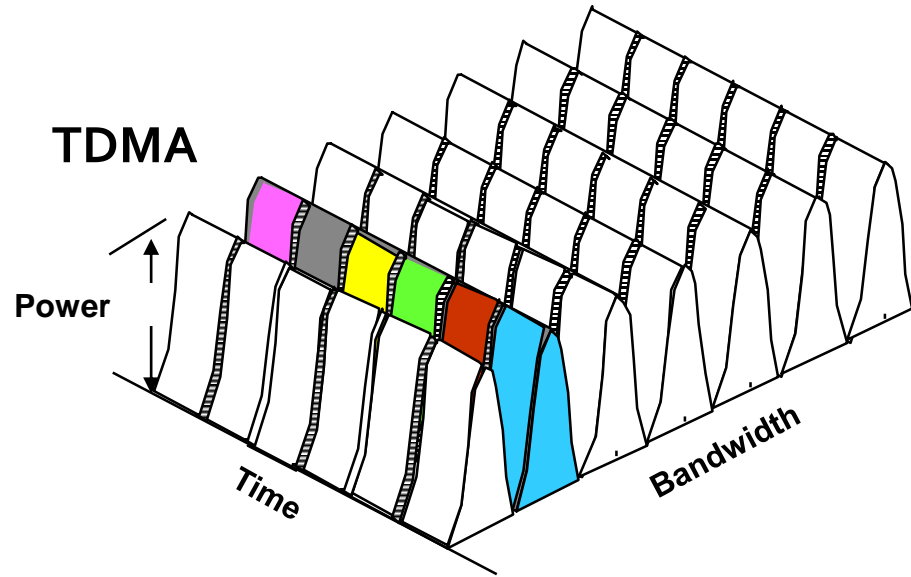
# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

FDMA



AMPS → 30 kHz/user  
N-AMPS → 10 kHz/user

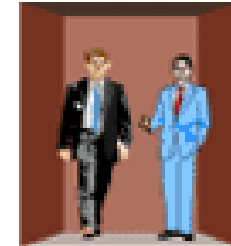
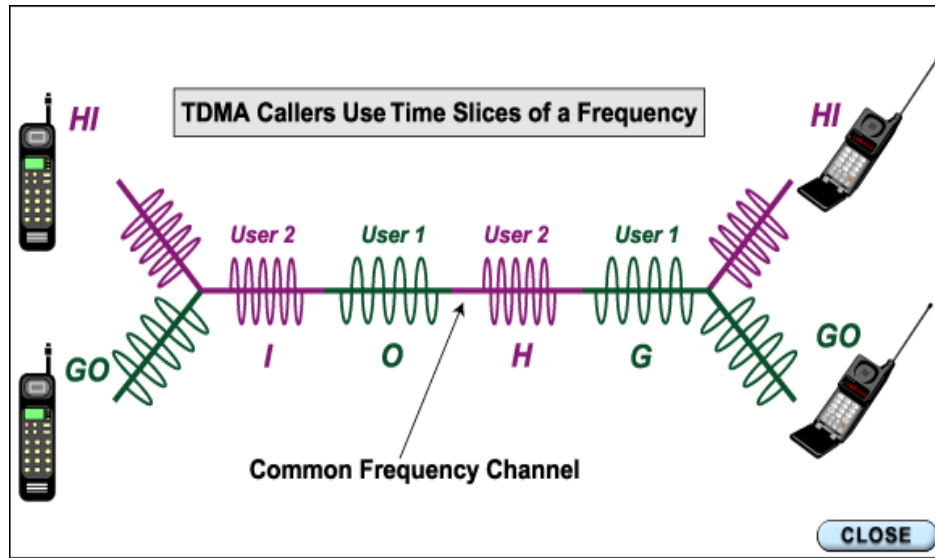
# Time Division Multiple Access (TDMA)



IS-54 → 30 kHz,  
3 user

IS-136 → 30  
kHz, 3 user

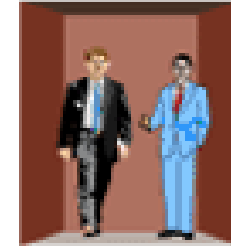
GSM → 200  
kHz, 8 user



Time Slot #1



Time Slot #2



Time Slot #3

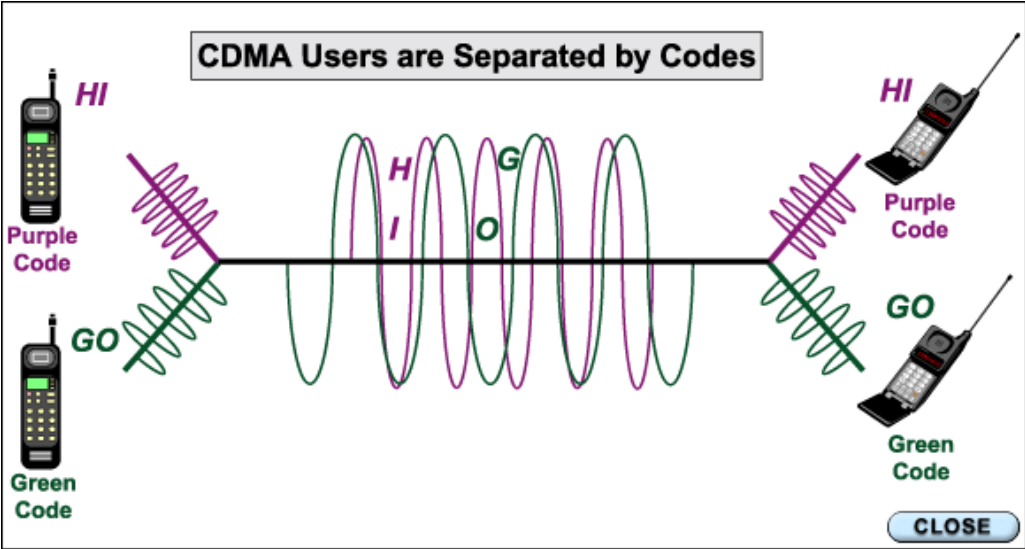
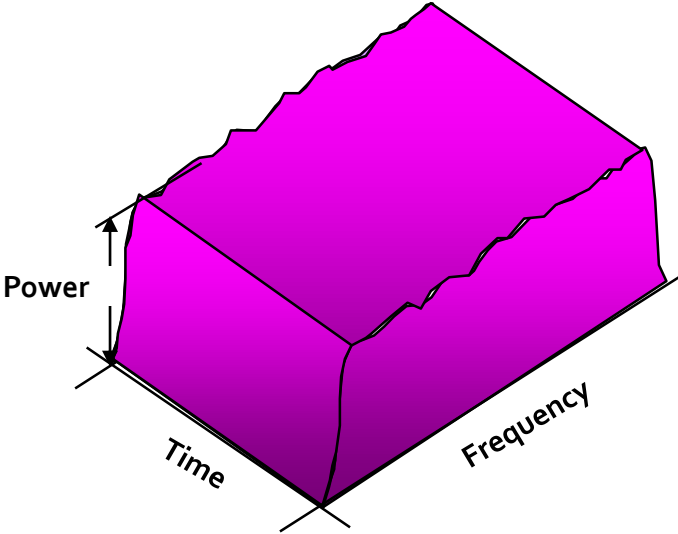


Time Slot #4



# Code Division Multiple Access (CDMA)

## CDMA



- IS-95A → 1,25 MHz, ±22 user
- IS-95B → 1,25 MHz, ±22 user
- ANSI-J-STD 008 → 1,25 MHz, ±22 user
- IS-2000 1x → 1,25 MHz
- IS-2000 3x → 5 MHz

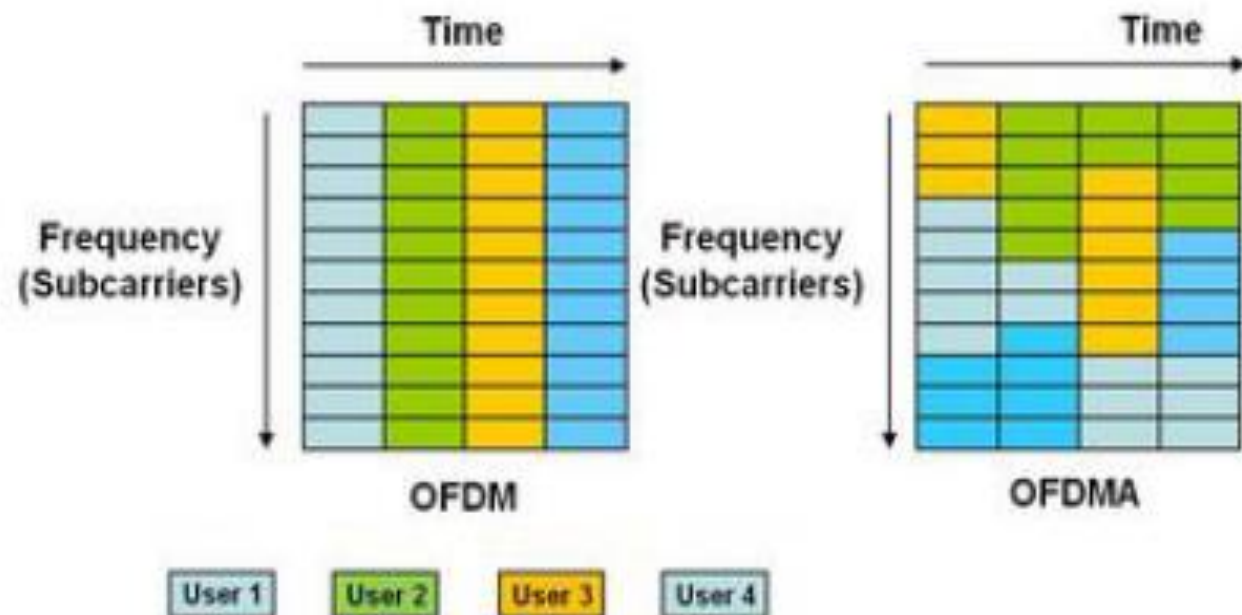
# OFDMA

OFDM : In OFDM, all subcarriers of the symbol are used for providing data to a specific user

OFDMA : In OFDMA, the subcarriers of each symbol may be divided between multiple users thus enabling better use of radio resources

OFDM = Orthogonal Frequency Division Multiplexing

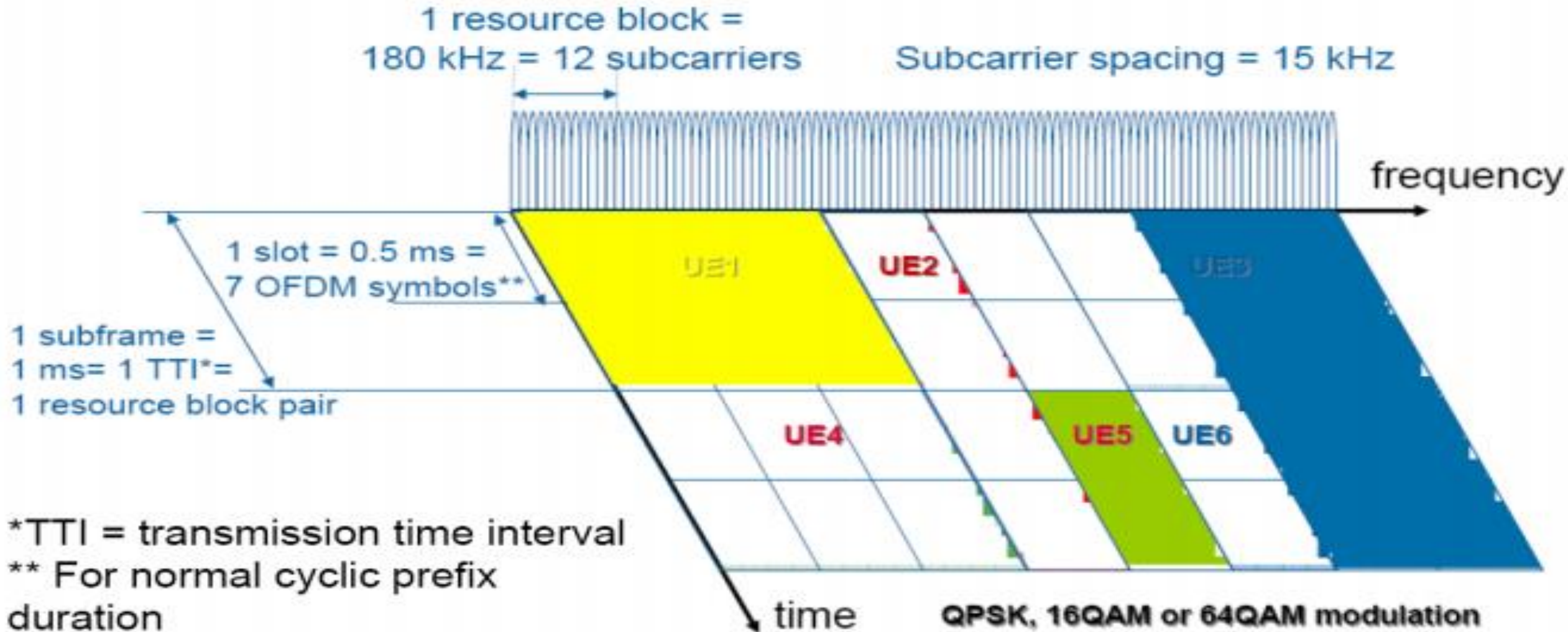
OFDMA = Orthogonal Frequency Division Multiple Access



OFDMA's dynamic allocation enables better use of the channel for multiple low-rate users and for the avoidance of narrowband fading and interference



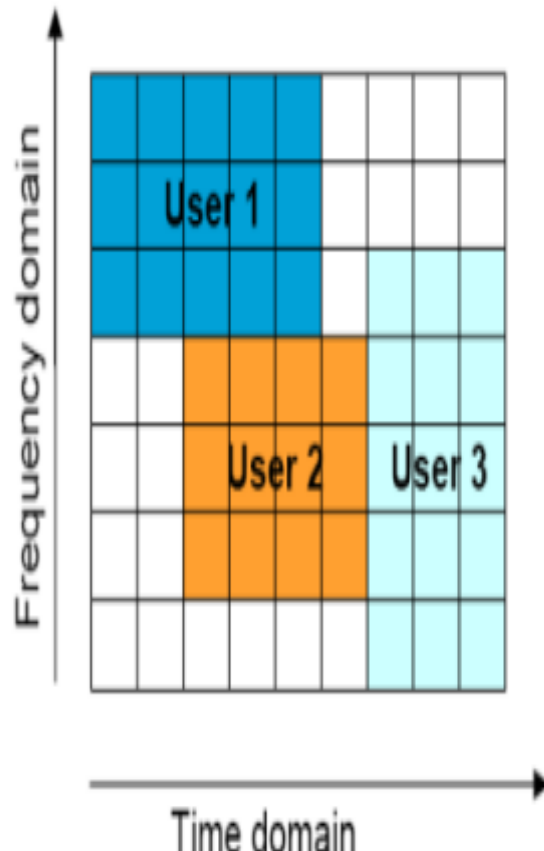
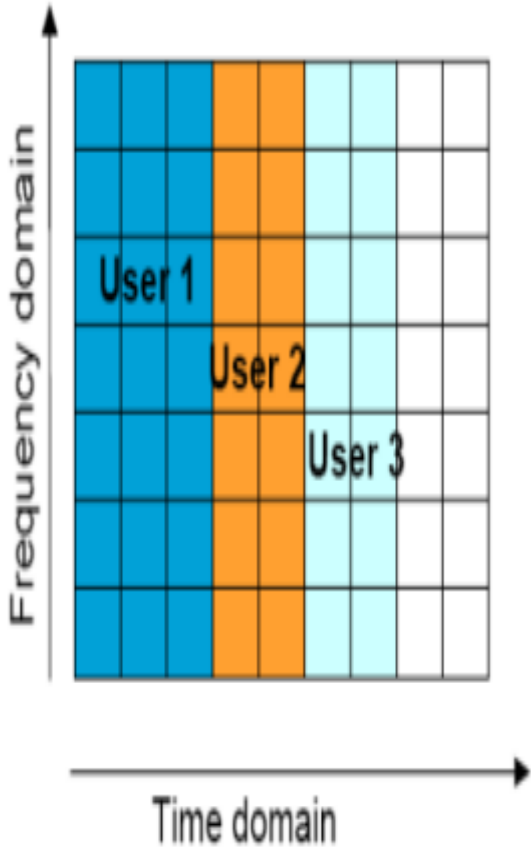
## OFDMA Time-Frequency Multiplexing



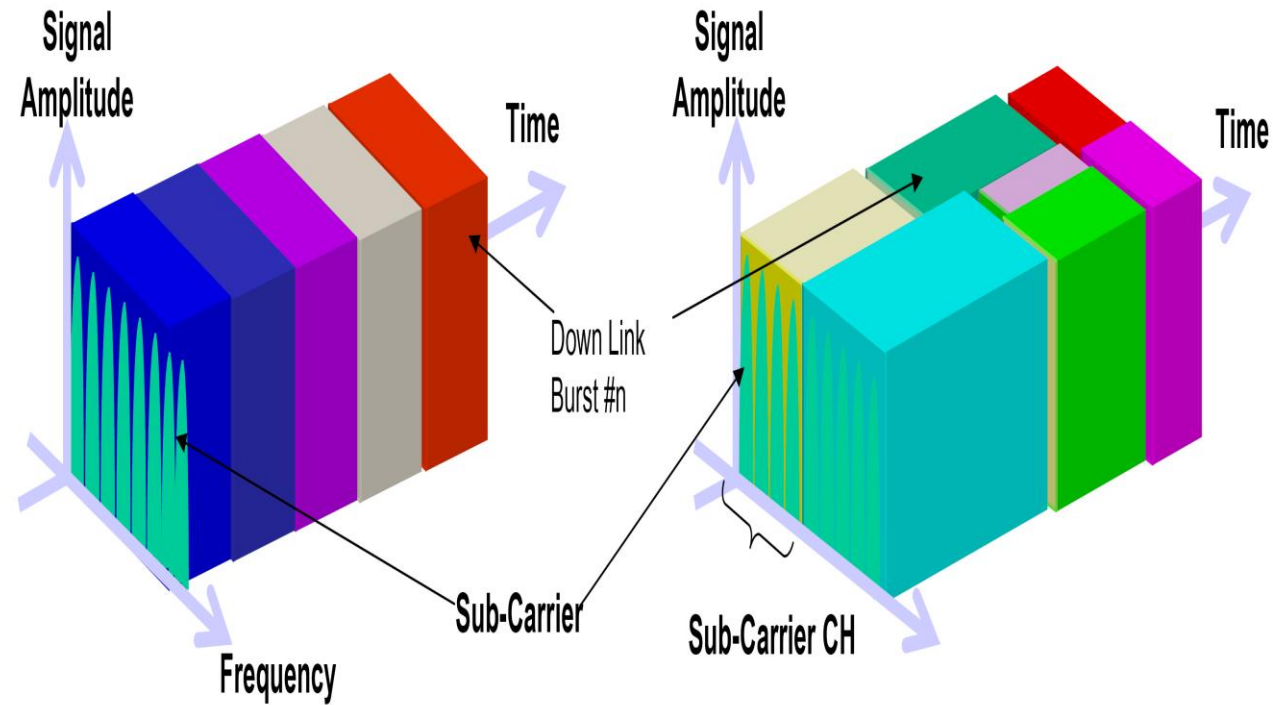
# Perbedaan OFDM dan OFDMA

OFDM allocates users in time domain only

OFDMA allocates users in time and frequency domain



OFDM dengan TDD



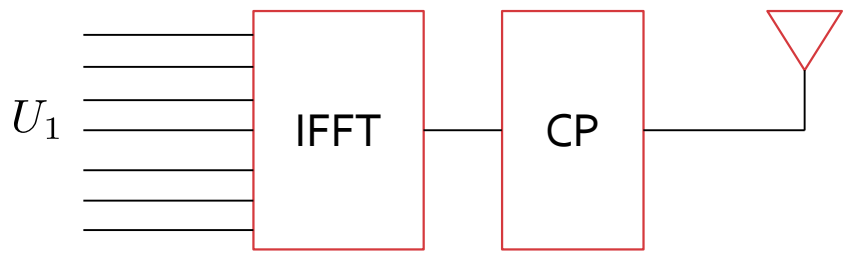
## OFDM

- Semua subcarrier dialokasikan untuk satu user
- Jika dengan TDD bisa untuk beberapa user
- Misal : 802.16-2004

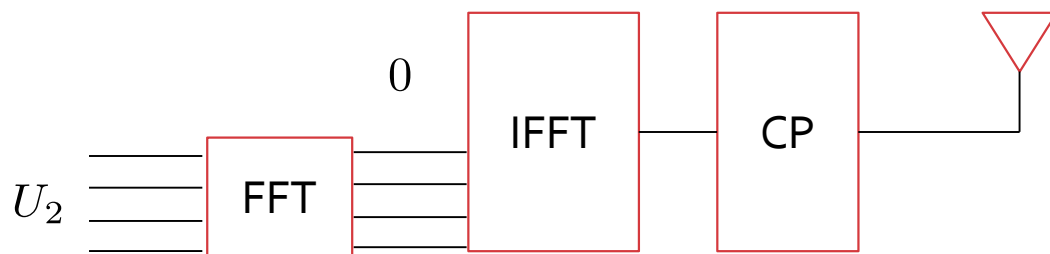
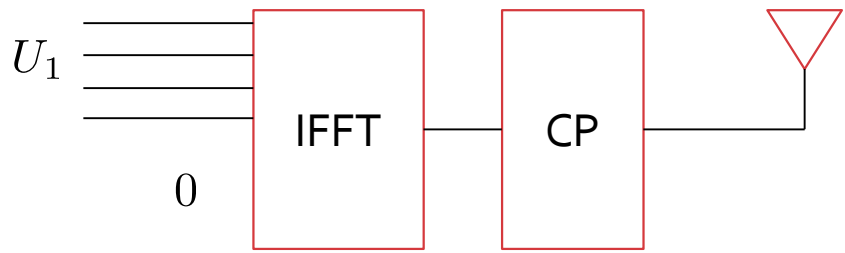
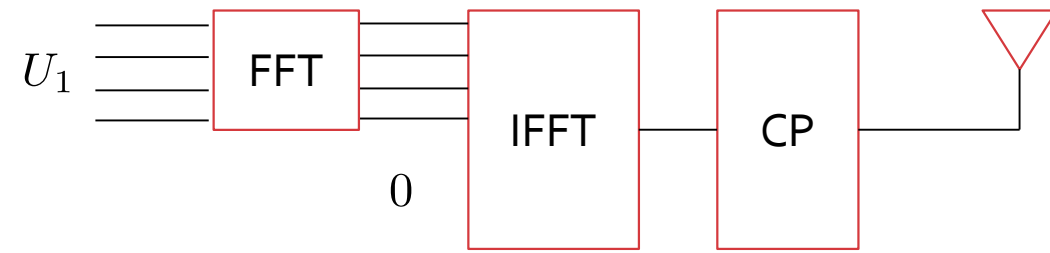
## OFDMA

- Subcarrier dialokasikan secara fleksibel untuk banyak user tergantung pada kondisi radio.
- Misal : 802.16e-2005 dan 802.16m

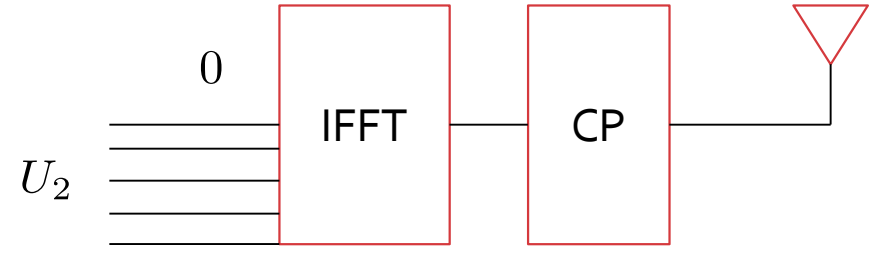
# OFDM, OFDMA, dan SC-FDMA



OFDM



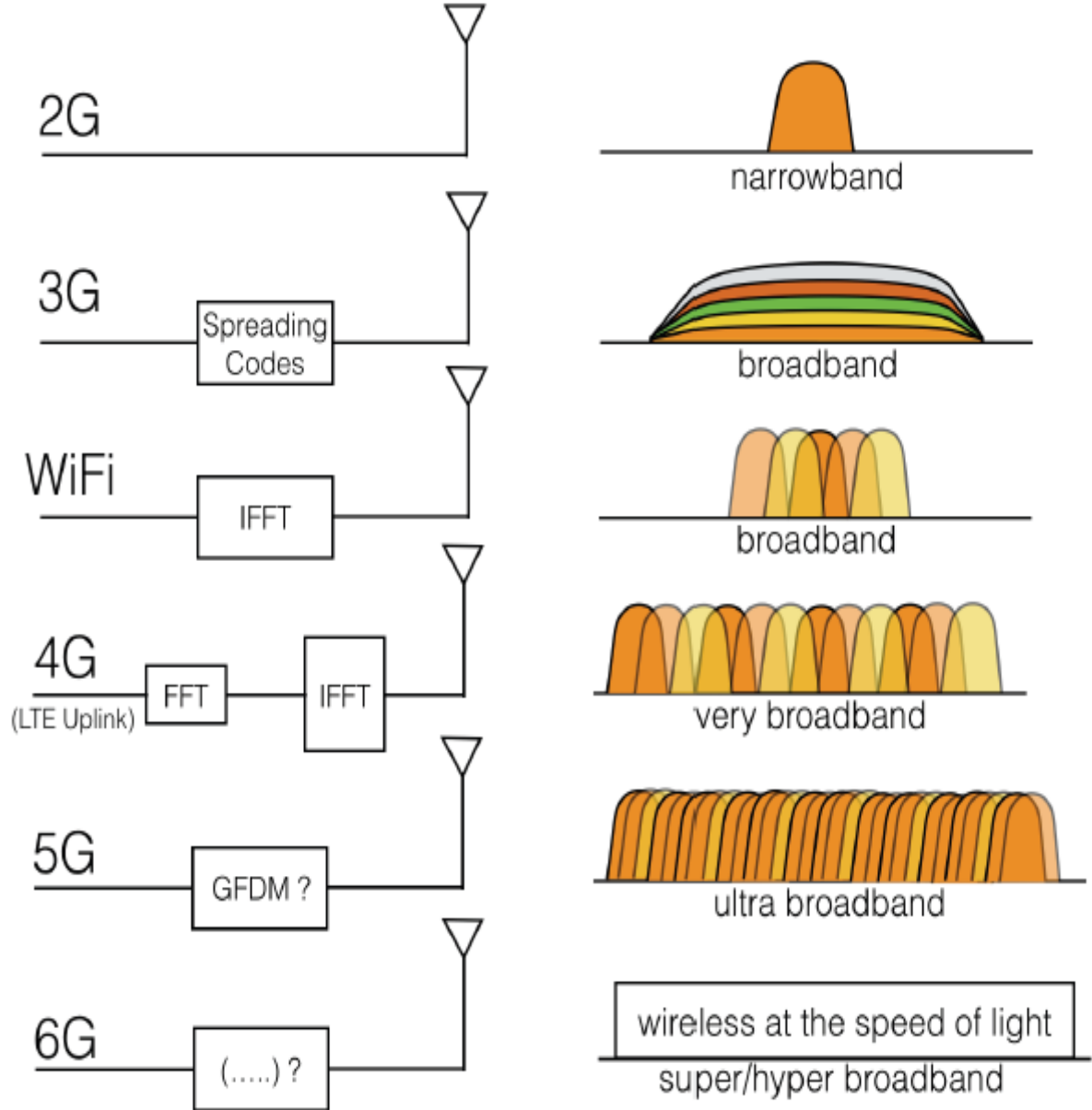
SC-FDMA



OFDMA

- OFDM dan OFDMA memiliki peak-to-average Power (PAPR) yang besar (buruk) → boros power
- SC-FDMA memiliki PAPR yang rendah (baik)
- SC-FDMA dipakai pada Uplink 4G

# Generasi Teknik Multiple Akses



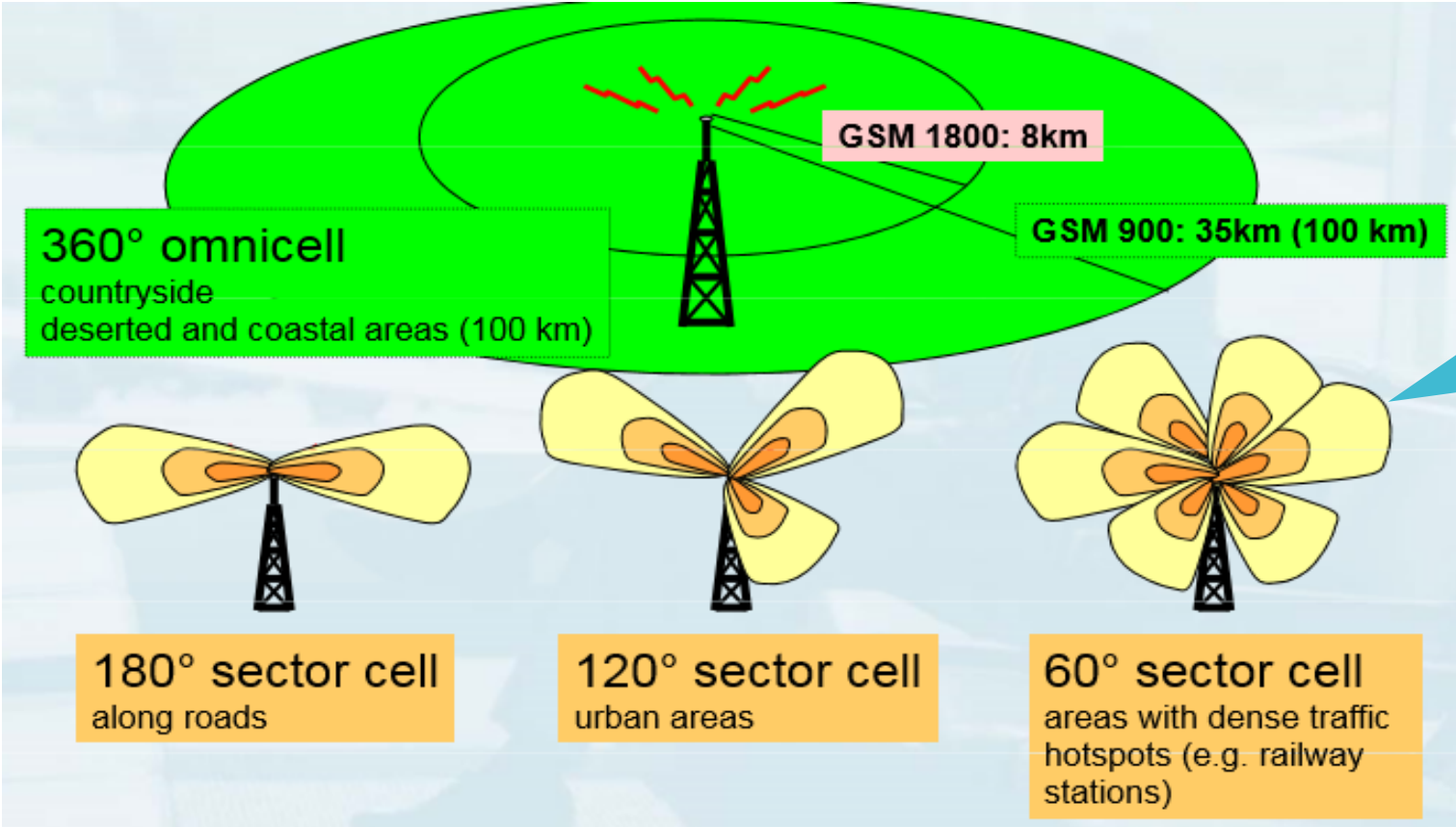
(c) Khoirul Anwar, 2016



# Manajemen Wilayah Cakupan (Coverage Area)



# Implementasi Sel



Sel diimplementasikan dengan antenna yang memiliki pola radiasi dan *beamwidth* tertentu

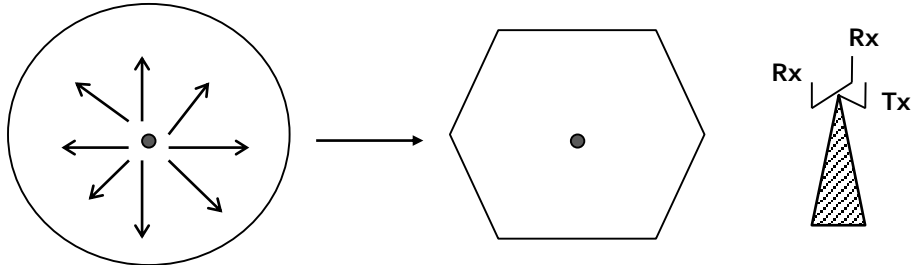
Parameter antenna penting yg menentukan coverage sel:

1. Beamwidth → menentukan pola pancaran
2. Gain (dB)
3. Tilting

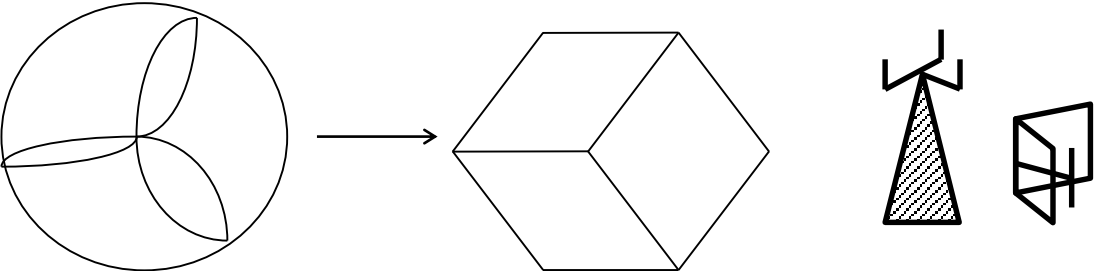
$$\text{Gain} = \eta_{\text{eff}} \frac{4\pi}{B} \approx \eta_{\text{eff}} \frac{4\pi}{\theta_{1/2} \cdot \phi_{1/2}}$$

# Konfigurasi BTS

**Omnidirectional**

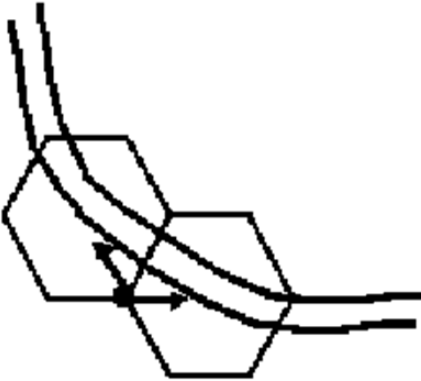
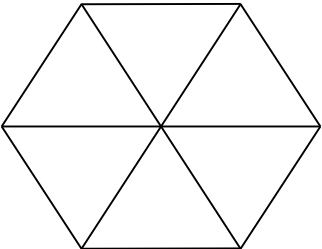


**Sectoring 120°**



**2-sector sectorized cell**

**Sectoring 60°**



**2-sector**

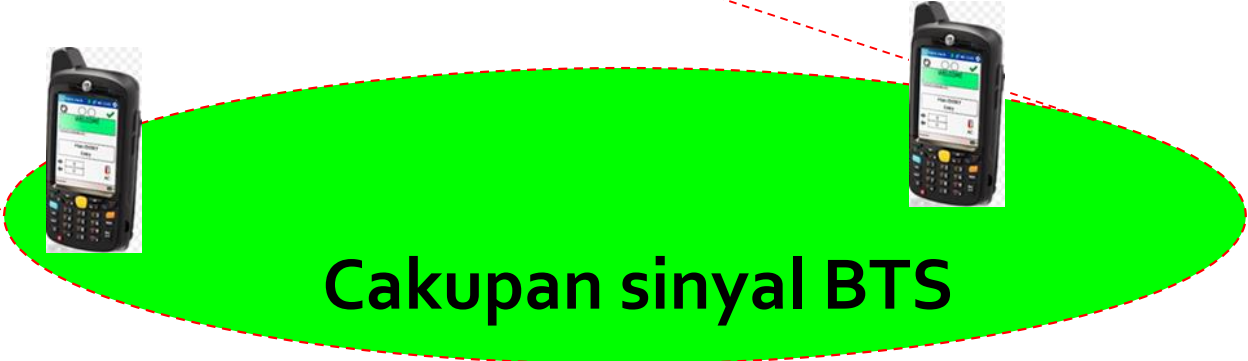
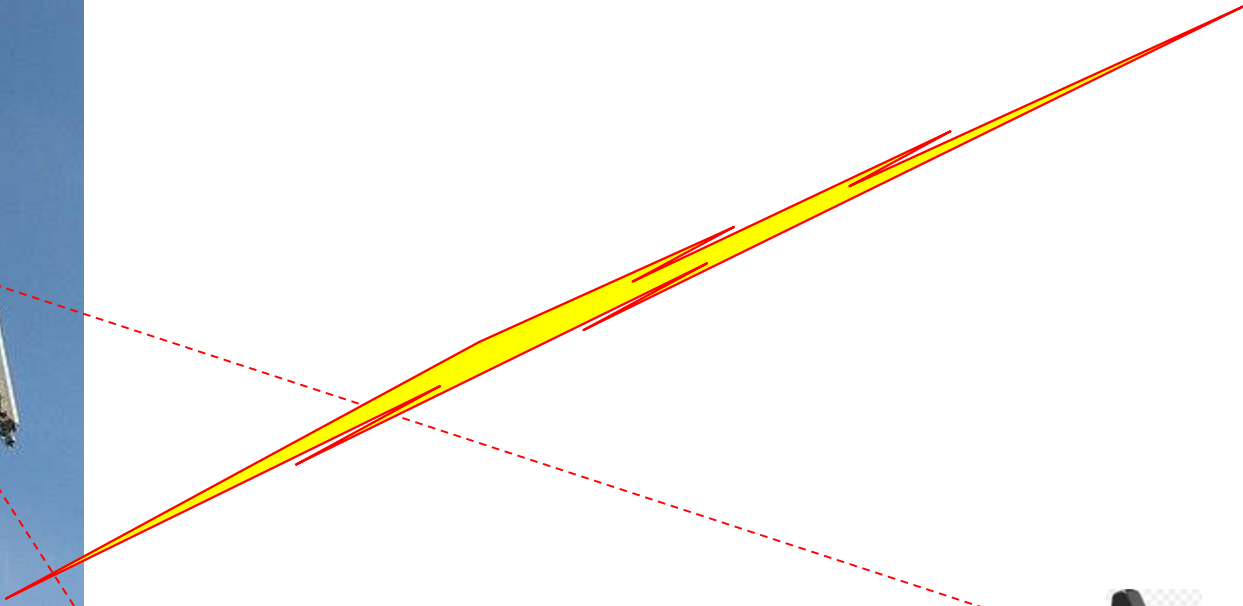
# Ilustrasi Infrastruktur Fisik BTS-BSC



**BTS**



**BSC**

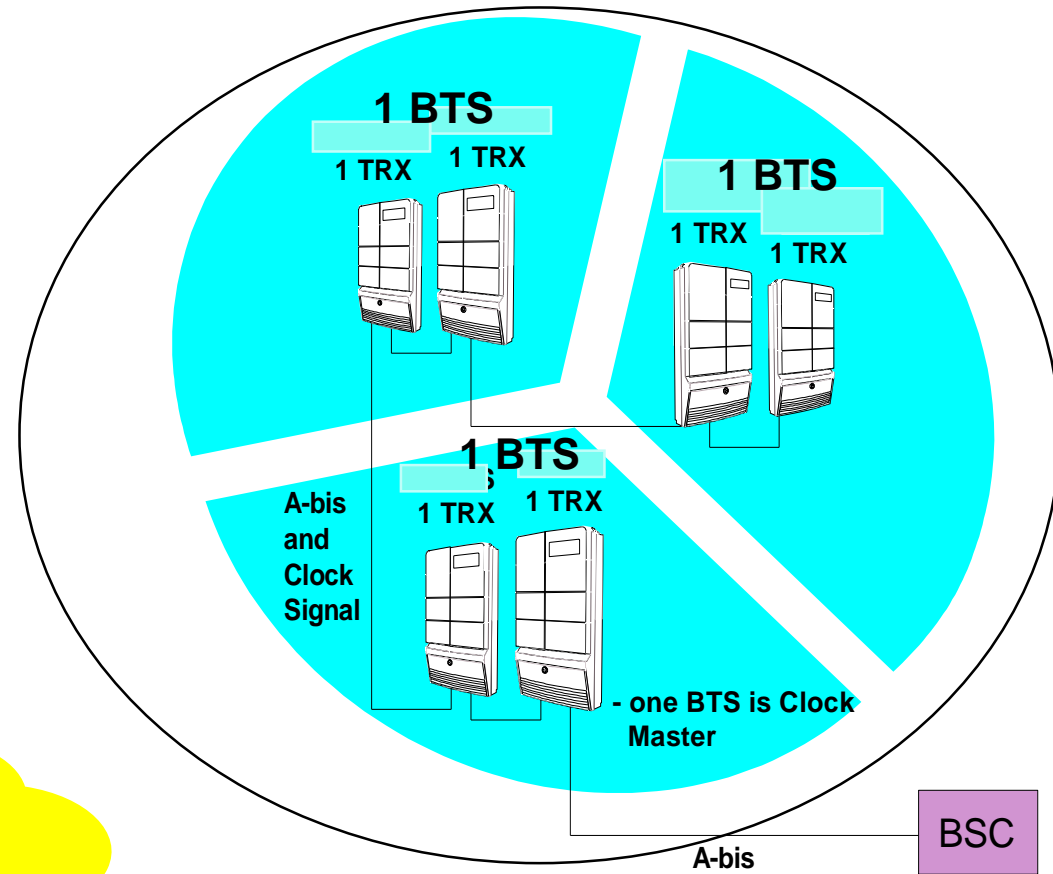


**Cakupan sinyal BTS**



# Contoh Konfigurasi BTS Trisektor 2/2/2

Maksudnya 1 site terdiri 3 sector (3 cell), masing-masing sector 2 kanal RF



# Radiasi Antena membentuk *coverage* sel

Loss  
propagasi

Sudut *tilting* (kemiringan)

Feeder =  
saltran

$$P_{r(MS)}(dBm) = P_{Tx(BTS)}(dBm) - L_{feeder}(dB) + G_{antena}(dBi) - L_p(dB)$$

Pola radiasi  
antena

Coverage  
Sel

Tx



*End of Modul #1*