

Antena dan Propagasi (TTH3G3)



Dosen :

Yussi Perdana Saputera, ST., MT.

Modul ke 6

PENGUKURAN ANTENA

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

2020

**“Kalau bukan anak bangsa ini
yang membangun bangsanya, siapa lagi?
Jangan saudara mengharapkan orang lain
yang datang membangun bangsa kita”
(BJ Habibie)**



Organisasi

Modul 6 *Pengukuran Antena*

- A. Pendahuluan
- B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena
- C. Teknik-Teknik Pengukuran Antena
- D. Pengukuran Diagram Arah dan Diagram Fasa
- E. Pengukuran Gain, Direktifitas, dan Efisiensi
- F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, dan Distribusi Arus
- G. Pengukuran Polarisasi Antena
- H. Pengukuran Temperatur Antena

Tujuan Pengukuran Antena

- ❑ Untuk melihat karakteristik dari antena yang telah didesain. Karena tidak semua jenis antena mudah untuk dianalisis, ada banyak juga antena yang tidak dapat diteliti secara analitis disebabkan karena struktur dan metoda pencatumannya yang sangat rumit.
- ❑ Untuk menguji data-data teoritis yang didapat dari hasil sintesa dan analisis

A. Pendahuluan

A. Pendahuluan

Pada bagian sebelumnya, telah menganalisa, mensintesa, dan menghitung karakteristik dari antenna. Ada beberapa macam sebenarnya metoda analisa antenna. Namun demikian, ada banyak juga antenna yang tidak dapat diteliti secara analitis disebabkan karena struktur dan metoda pencatuannya yang sangat rumit.

Dalam beberapa tahun belakangan ini, dikembangkan metoda-metoda analisa yang khusus seperti ***Teori Difraksi Geometris*** dan ***Metoda Momen***, tetapi tetap saja ada banyak antenna yang tidak dapat dianalisis dengan cara itu.

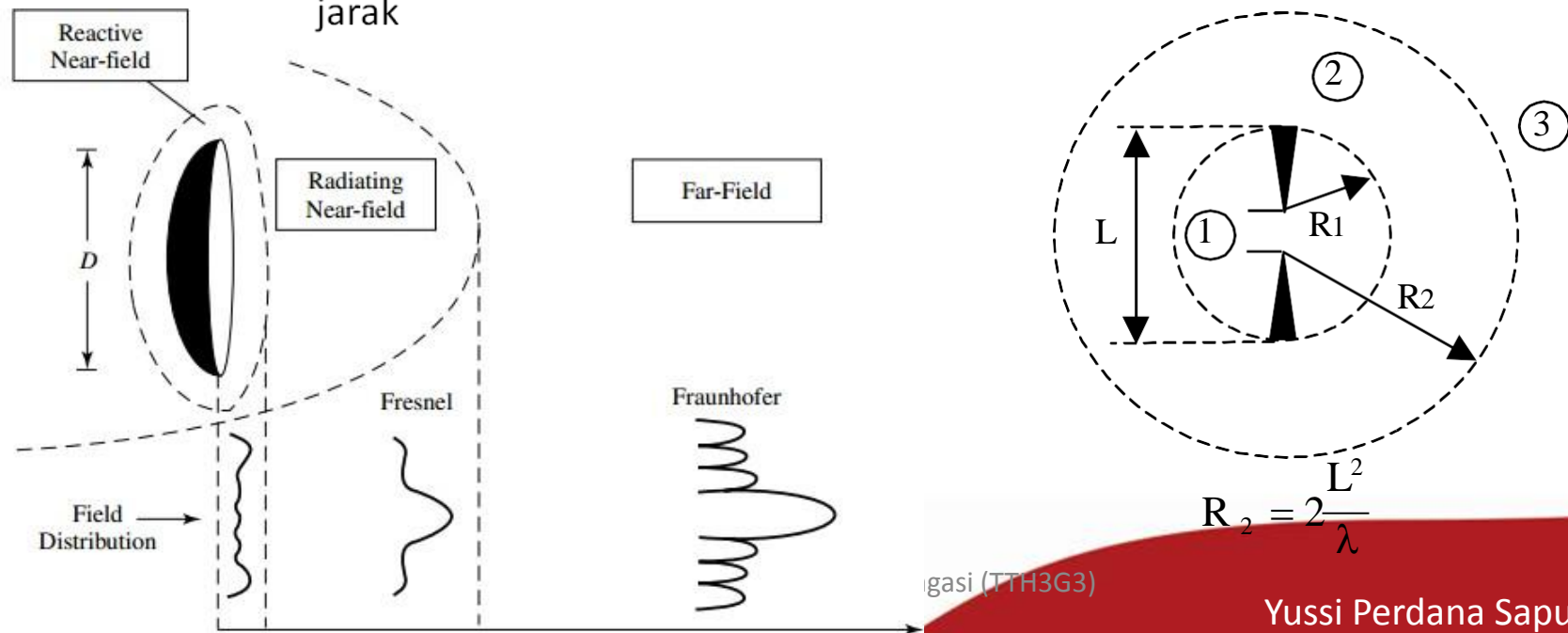
Karena itulah, kemudian diperlukan ***Pengukuran Antena***, yang hasil-hasilnya dipakai untuk menguji data teoritis

A. Pendahuluan

Daerah 1: Daerah antenna/Reactive near-field, benda-benda di daerah ini saling mempengaruhi dengan antenna (impedansi dan pola pancar) → distribusi medan tergantung jarak

Daerah 2: Daerah medan dekat / daerah Fresnell, di daerah ini medan listrik dan magnet belum transversal penuh → Distribusi medan masih tergantung jarak

Daerah 3: Daerah medan jauh/ daerah Fraunhofer, di daerah ini, medan listrik dan magnet transversal penuh dan keduanya tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang → Distribusi medan tidak tergantung dari jarak



Kesulitan - kesulitan dalam Pengukuran Antena

- Untuk antena besar, diperlukan pengukuran diagram arah yang terlalu jauh. Persoalannya adalah bahwa pantulan dengan berbagai benda-benda di sekitar daerah pengukuran akan sulit dihindari
- Sering tidak praktis untuk memindahkan antena dari tempat operasi ke tempat pengukuran
- Untuk sistem pengukuran outdoor, umumnya akan bergantung pada cuaca saat pengukuran
- Teknik pengukuran membutuhkan peralatan dan biaya yang sangat mahal
- Untuk antena tertentu seperti **Phased Array** (Susunan dengan pengaturan fasa), mengukur karakteristik antena memerlukan waktu yang cukup lama

$$r > \frac{2L^2}{\lambda}$$

Sebagian dari kesulitan-kesulitan yang dihadapi tersebut dapat dipecahkan dengan :

- Pemakaian teknik tertentu, seperti pengukuran medan dekat untuk prediksi medan jauh (Nearfield-Farfield Measurement)
- Pengukuran dengan model diskalakan
- Pemakaian peralatan khusus, misalnya : Otomatisasi dan komputerisasi, serta pemakaian ruang tanpa gema (Anechoic Chamber)

Karakteristik antena yang diukur adalah , :

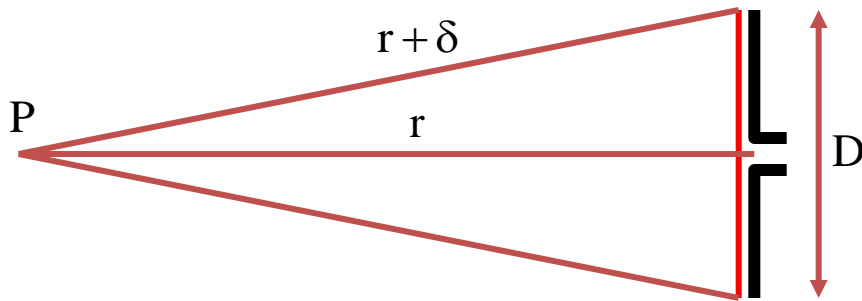
- Diagram arah dan diagram fasa
- Gain dan directivitas
- Efisiensi
- Impedansi, SWR, dan Bandwidth
- Distribusi arus
- Polarisasi
- Temperatur antena

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena

Kebanyakan antena diukur sebagai penerima, sehingga diperlukan persyaratan ideal pengukuran, yaitu : **Medan gelombang datar uniform** (*Uniform Plane Wave*), **beda fasa** dan **amplitudo**

I. Beda fasa dari medan yang diterima di tiap titik elemen antena **diinginkan = 0**,



D = dimensi fisik antena

P = titik observator

r = jarak travelling gelombang dari tengah antena

$r + \delta$ = jarak travelling gelombang dari tepi antena

$$\text{Beda fasa} = \frac{2\pi}{\lambda} \delta = 360^\circ \times \frac{\delta}{\lambda}$$

Dari Phytagoras, didapatkan :

$$(r + \delta)^2 = r^2 + \frac{D^2}{4}$$

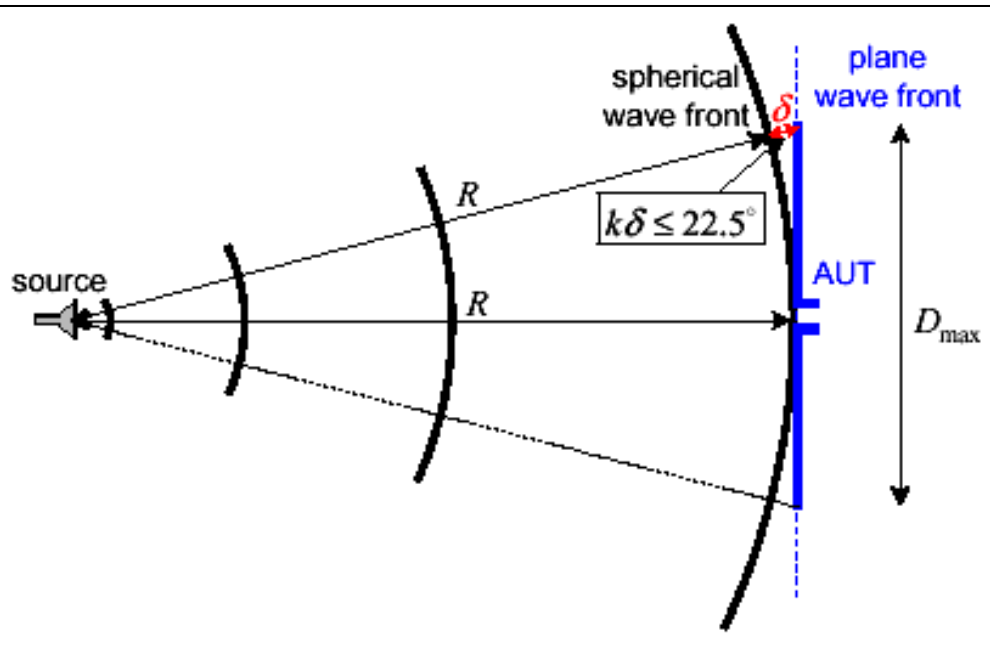
$r \ll D$
 $\delta \ll r$

$$r \approx \frac{D^2}{8\delta}$$

$$\delta \approx \frac{D^2}{8r}$$

Dari rumusan yang didapatkan, beda fasa = 0 akan dicapai pada jarak r tak berhingga (Tidak mungkin diaplikasikan) **→ Perlu toleransi !!**

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena



Sehingga, kemudian....

Cutler, King, dan Koch merekomendasikan toleransi beda fasa sebesar **22,5°** atau ,

$$\delta = \frac{\lambda}{16}$$

Sehingga, jarak minimum pengukuran antena adalah :

$$r \approx \frac{D^2}{8\delta}$$



$$\delta = \frac{\lambda}{16}$$

atau

$$r_{\min} \approx \frac{2D^2}{\lambda}$$

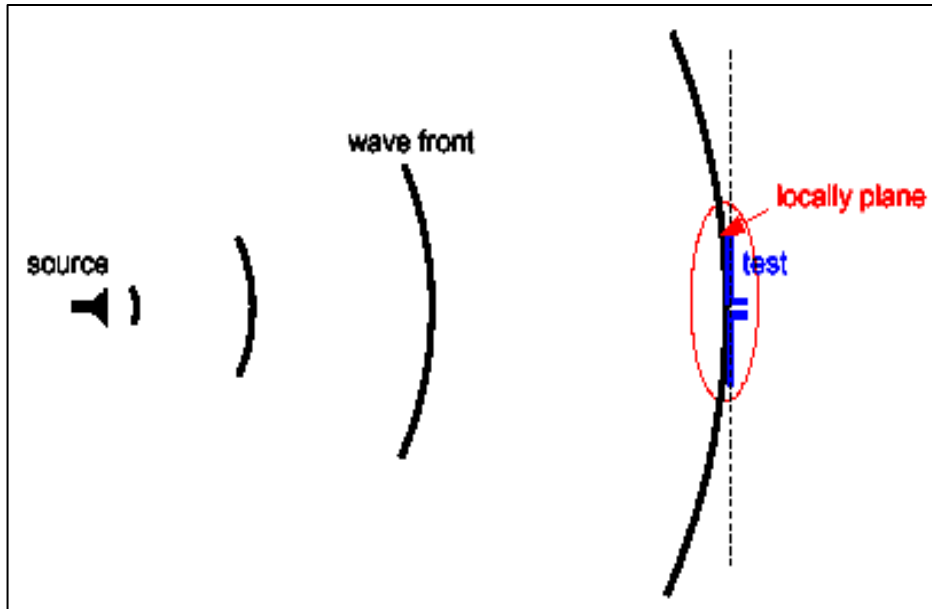
$$r_{\min} \approx \frac{kD^2}{\lambda}$$

Asumsi jarak ini sering dipakai sebagai persyaratan medan jauh !!

Sebagai rumusan umum jika diinginkan toleransi beda fasa lainnya

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena

II. Amplitudo dari kuat medan yang diterima di tiap titik elemen antenna **diinginkan uniform**



- Lengkung (taper) amplitudo harus cukup kecil
- Ripple amplitudo harus cukup kecil
- Polarisasi silang harus ***High Purity***
- Pada range pengukuran outdoor, variasi kuat medan dapat disebabkan oleh interferensi gelombang langsung dan gelombang pantul dari tanah atau objek lain

Variasi medan hendaknya $\leq 0,25 \text{ dB}$

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena

III. Hal berikutnya yang harus diperhatikan, untuk menghindari kesalahan ukur

Keinginan untuk mencapai :

- Frekuensi sistem stabil
- Kriteria medan jauh dipenuhi
- Lingkungan bebas pantulan / refleksi
- Lingkungan bebas noise dan interferensi benda sekeliling
- Impedansi dan polarisasi yang sesuai
- Antena diarahkan sesuai/berimpit dgn sumbu utama

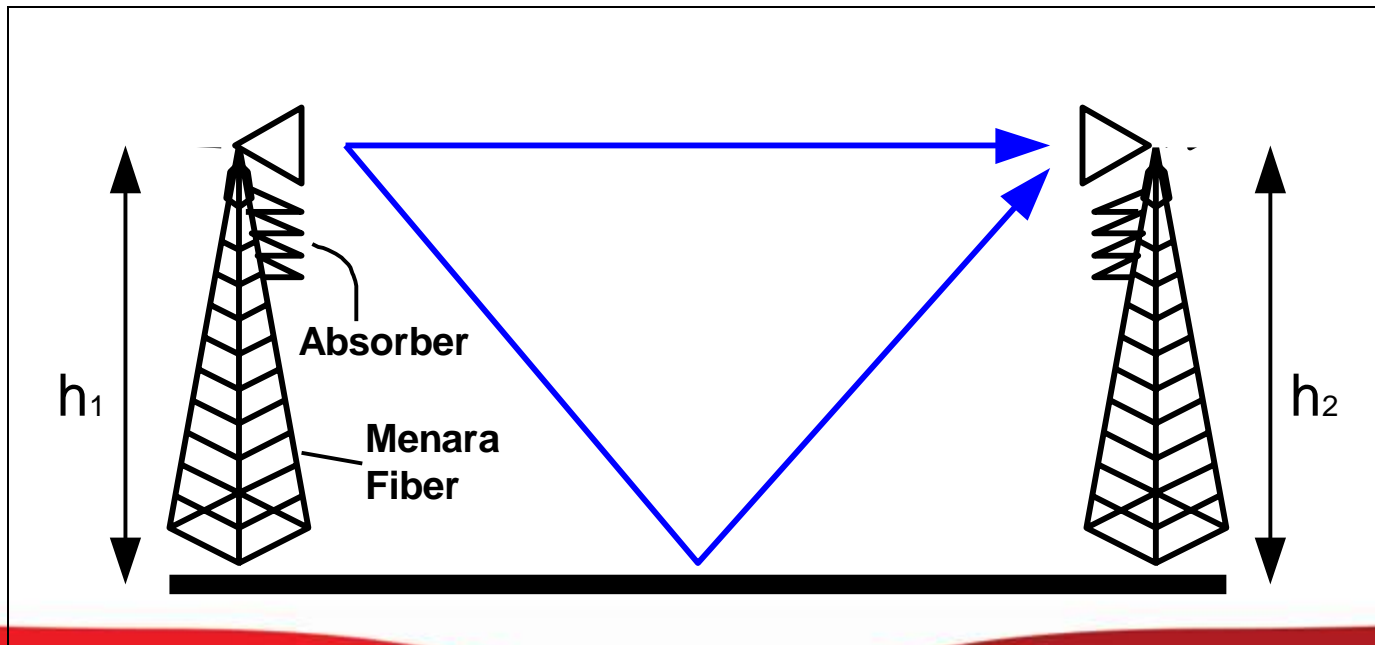
Namun kondisi ideal di atas sangat sulit dicapai karena kondisi-kondisi yang melekat saat pengukuran, yaitu :

- Pengukuran antena sering selalu dipengaruhi **pantulan gelombang yang tidak diinginkan**
- Pengukuran ideal akan **memerlukan jarak ukur yang terlalu besar**
- **Sangat kompleks** jika melibatkan sistem antena keseluruhan (Misal : pengukuran antena pada pesawat)
- Pengukuran Outdoor memberikan kondisi **lingkungan EM yang tidak terkontrol**
- Pengukuran Indoor tidak mengakomodasikan **pengukuran antena-antena besar**
- Secara umum **teknologi pengukuran antena sangat mahal**

B. Persyaratan Umum Pengukuran Antena

Untuk mengurangi pengaruh refleksi, terutama yang berasal dari pantulan tanah :

- Menara dibuat sangat tinggi
- Penggunaan *absorber* pada menara
- Bahan menara terbuat dari *fiber glass*
- Pada antena dengan gain sangat tinggi → beam ke tanah lemah



C. Teknik-Teknik Pengukuran Antena

Berkaitan dengan lingkungan saat pengukuran, terdapat 2 macam **Medan ukur** (pada referensi yang lain disebut *Antenna Range*), **yaitu :**

(1) Medan Refleksi (*Reflection Ranges*)

- Medan langsung dan pantul membentuk penurunan yang kecil simetris ke tepi
- Desain medan ukur refleksi cukup kompleks dan tergantung pada koefisien refleksi tanah. Parameter desain utamanya adalah menentukan ketinggian **AUT** (*Antenna Under Test*)

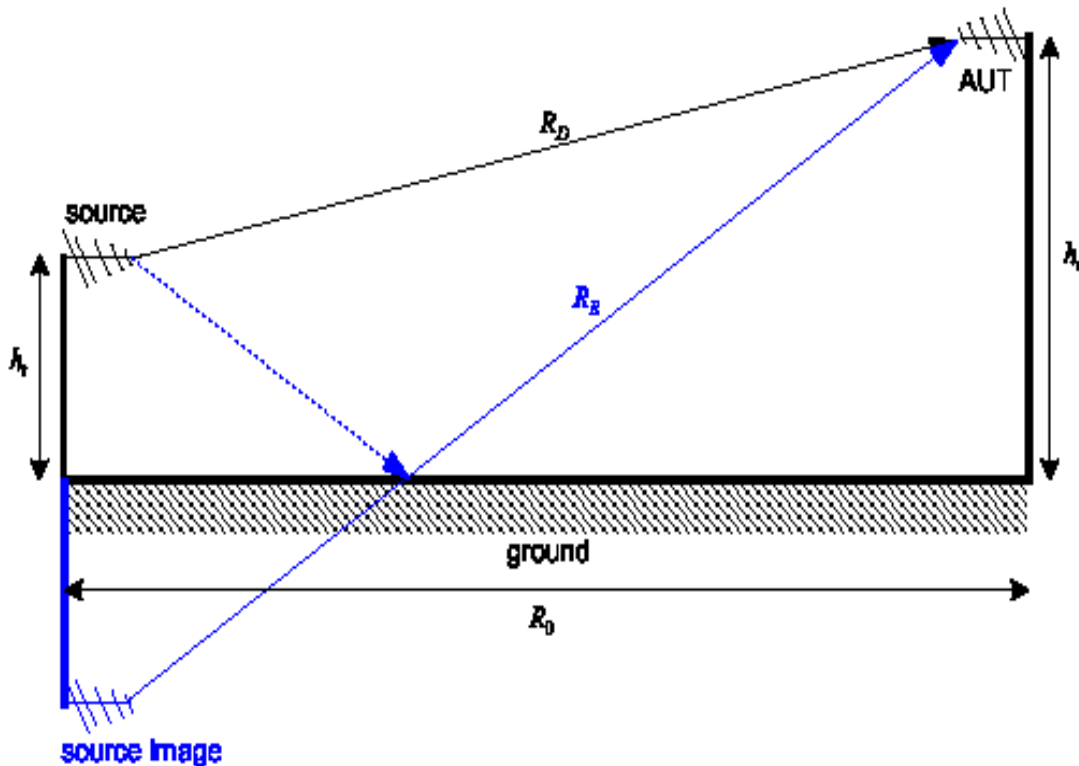
(2) Medan Ruang Bebas (*Free Space Ranges*)

Terdiri dari

- ***Outdoor Free Space Ranges***
 - a. Medan ditinggikan (*Elevated Range*)
 - b. Medan dimiringkan (*Slant Range*)
- ***Indoor Free Space Ranges***
 - a. *Anechoic Chamber*
 - b. *Compact Antenna Test Range* (CATR)
- ***Near Field - Far Field Method***

C. Teknik-Teknik Pengukuran Antena

Medan Refleksi (*Reflection Ranges*)...

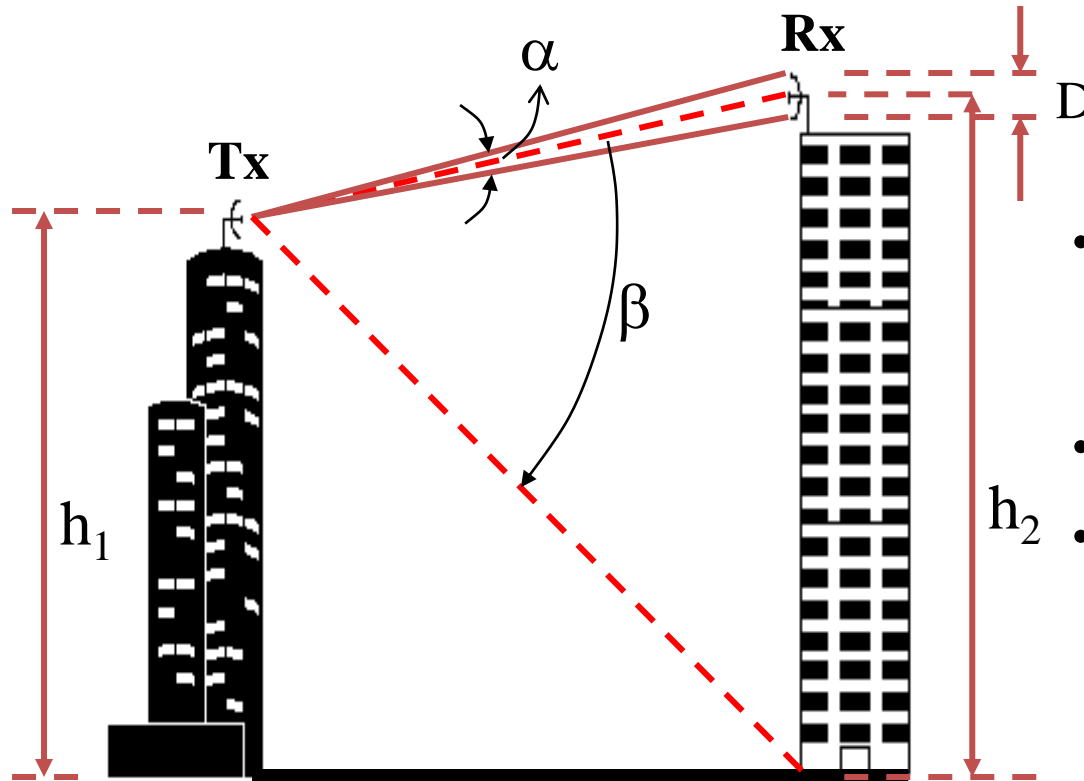


- Medan refleksi didesain sedemikian hingga gelombang pantul menjadi interferensi yang bersifat **konstruktif**, dan daerah tes AUT adalah daerah gelombang datar serbasama (*uniform plane wave*)
- Desain medan ukur refleksi cukup kompleks dan tergantung pada koefisien refleksi tanah. Parameter desain utamanya adalah menentukan ketinggian AUT (*Antenna Under Test*), sedangkan ketinggian antenna sumber biasanya diketahui

Detail pengukuran dengan medan refleksi dapat dilihat pada paper berikut :

L.H. Hemming and R.A. Heaton, “**Antenna gain calibration on a ground reflection range**,” *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-21, pp. 532-537, July 1977.

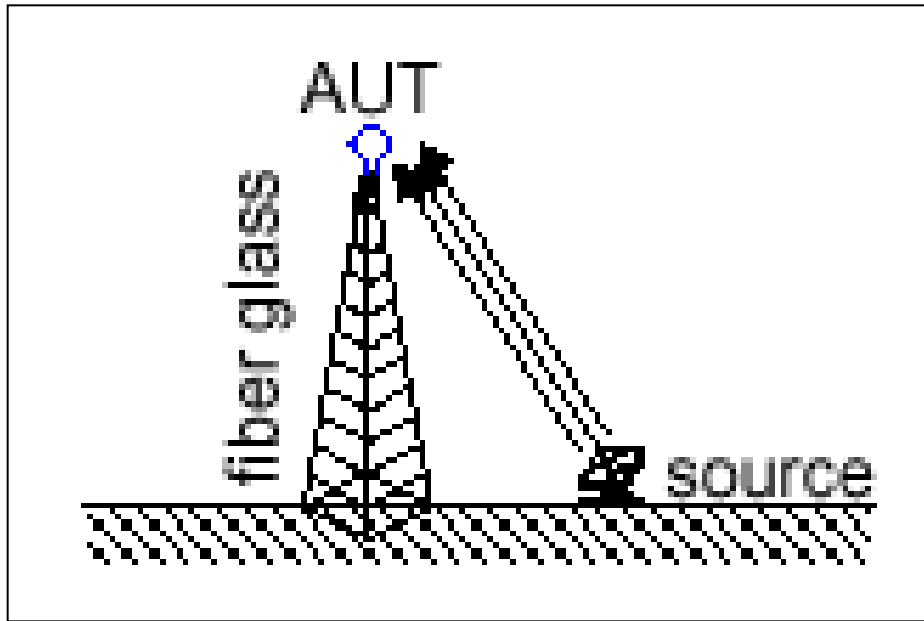
Medan Ditinggikan (*Elevated Ranges*)...



Kriteria dan persyaratan umum :

- Antena umumnya ditempatkan pada menara atau bangunan yang tinggi
- Kondisi *Line Of Sight* tercapai
- Antena sumber memiliki gain yang tinggi / side lobe rendah , sehingga energi gelombang tidak ada yang diarahkan ke permukaan bumi
- Diasumsikan bumi datar (*smooth earth*)

Medan Dimiringkan (*Slant Ranges*) ...

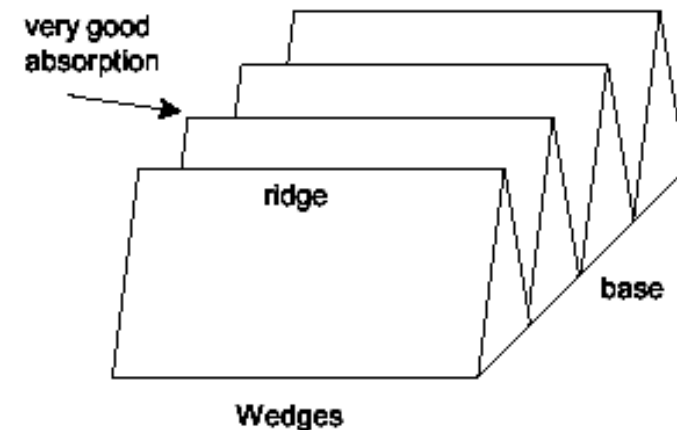
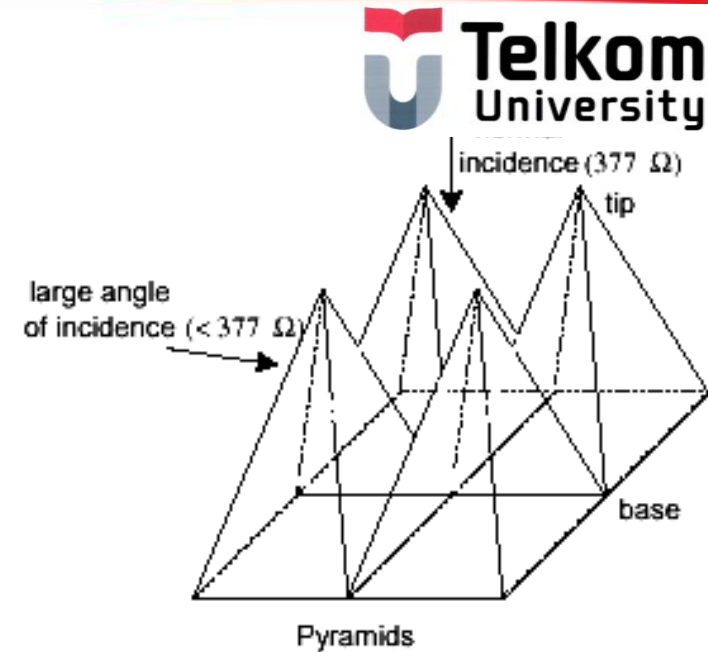
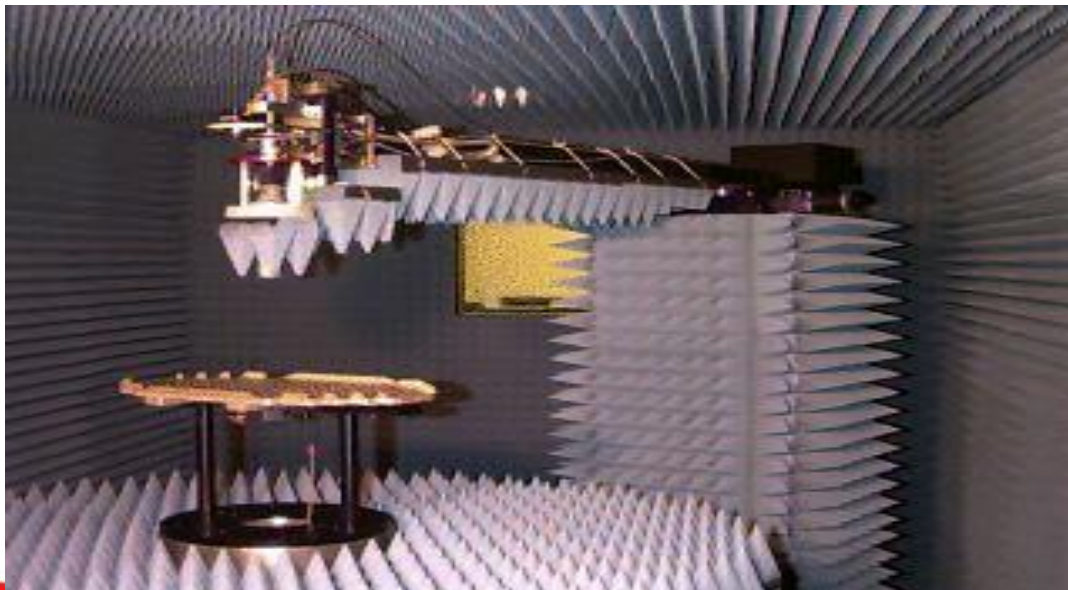


Kriteria dan persyaratan umum :

- AUT (*Antenna Under Test*) ditempatkan pada ketinggian tetap diatas *non conducting tower* (Misal : terbuat dari fiberglass)
- Antena sumber harus memiliki null ke arah tanah (atau sidelobe cukup kecil)
- Memerlukan situasi daerah terbuka untuk meminimisasi pantulan dari bangunan-bangunan

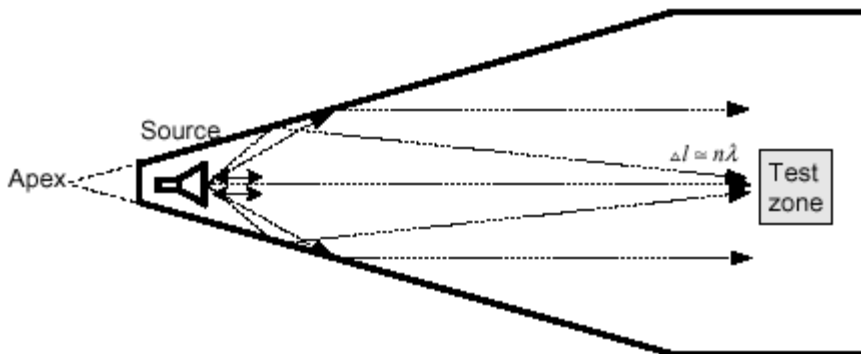
C. Teknik-Teknik Pengukuran Antena **Anechoic Chamber ...**

- **Anechoic Chamber** adalah ruang tanpa gema yang populer untuk pengukuran terutama untuk antena gelombang mikro.
- Anechoic chamber memberikan ketepatan pengukuran dan lingkungan elektromagnetika yang terkontrol, serta berfungsi sebagai suatu sangkar Faraday sehingga mencegah interferensi EM dari dalam dan/ke luar ruangan.

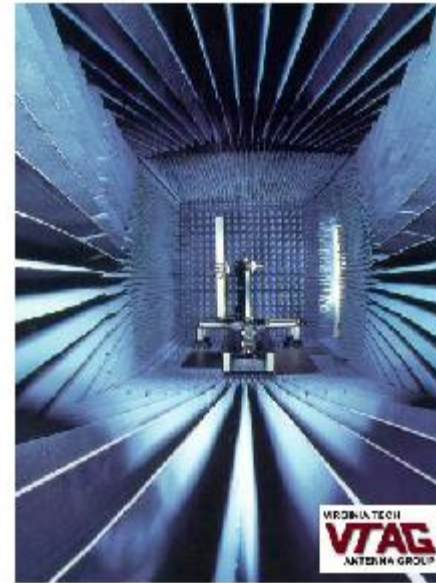


C. Teknik-Teknik Pengukuran Antena

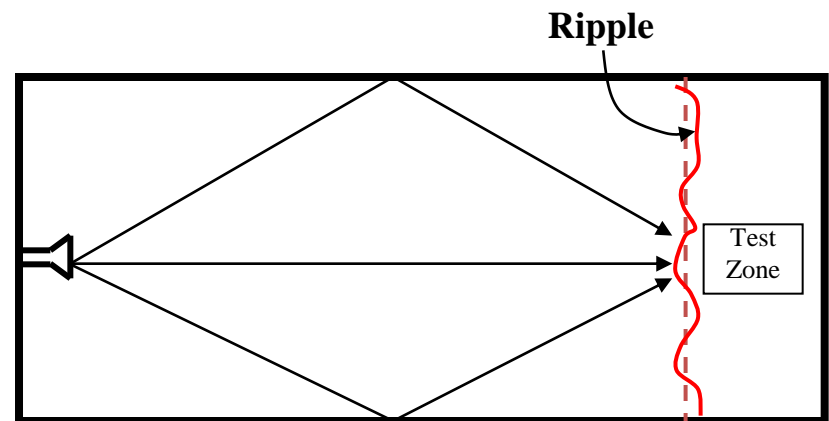
- Anechoic chamber pertamakali dikembangkan selama Perang Dunia II oleh Jerman dan Amerika Serikat. Pembuatan anechoic chamber menjadi mungkin setelah materi penyerap gelombang RF ditemukan dan tersedia secara komersial
- 2 macam tipe anechoic chamber adalah :
 - a. *Tapered chamber* (menyempit)
 - b. *Rectangular chamber* (persegi)



Tapered chamber

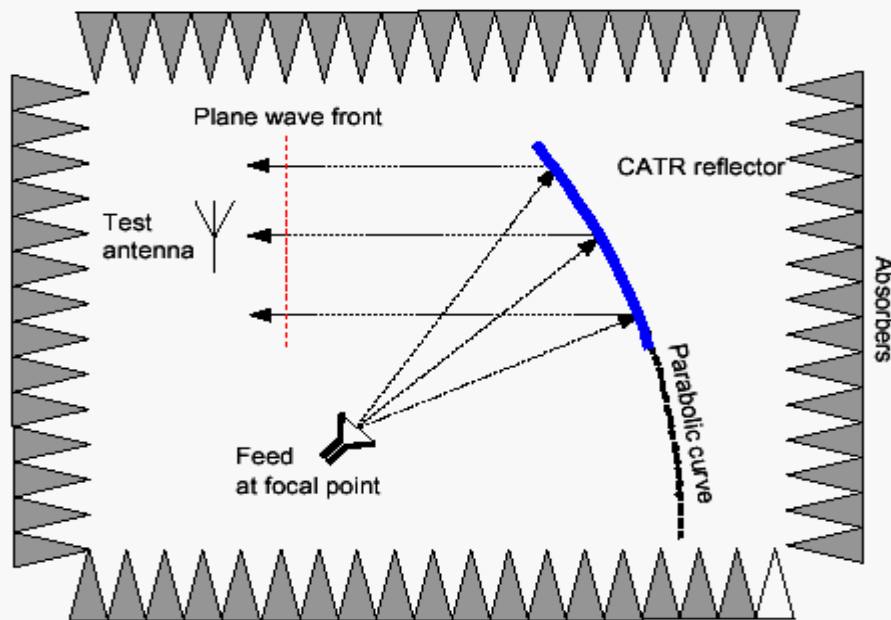


Anechoic Chamber ..



Rectangular chamber

Compact Antenna Test Range (CATR) ...



Batasan yang dimiliki anechoic chamber adalah jarak untuk memenuhi syarat medan jauh. Hal ini diatasi oleh 2 pendekatan :

- Pembuatan **CATR** yang memungkinkan pembangkitan *uniform plane wave* pada jarak yang sangat dekat menggunakan pemantul parabola
- Transformasi medan dekat ke medan jauh (*near field - far field method*)

Paraboloidal sebagai pemantul gelombang harus dibuat sepresisi mungkin dengan dimensi 3 atau 4 kali dimensi antena yang diukur untuk memberikan karakteristik *uniform plane wave* yang baik.

Daerah pengukuran antena (disebut *quite zone*) yang dicapai CATR umumnya antara 50-60 % dari ukuran reflektor. Sedangkan phase error kurang dari 10%, dan deviasi ripple dan amplitudo taper kurang dari 1 dB

Near Field - Far Field (NF/FF) Method ...

- Antenna Under Test pada **Mode Radiasi**.
- Amplituda medan, fasa, dan polarisasi diukur pada medan dekat, selanjutnya data medan dekat tersebut ditransformasikan ke pola medan jauh dengan teknik analisis matematis yang diimplementasikan pada software komputer
- Pada metoda ini, probe ukur bergerak pada bidang datar, silinder atau bidang bola. Pola medan jauh akan didapatkan dengan ***Fast Fourier Transform***
- Lihat paper-paper berikut untuk mempelajari metoda NF/FF :
 - R.C. Johnson, H.A. Ecker, and J.S. Hollis, “*Determination of far-field antenna patterns from near-field measurements*,” *Proc. IEEE*, vol. 61, No. 12, pp. 1668-1694, Dec. 1973.
 - D.T. Paris, W.M. Leach, Jr., and E.B. Joy, “*Basic theory of probe compensated near-field measurements*,” *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-26, No. 3, pp. 373-379, May 1978.
 - E.B. Joy, W.M. Leach, Jr., G.P. Rodrigue, and D.T. Paris, “*Applications of probe compensated near-field measurements*,” *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-26, No. 3, pp. 379 - 389, May 1978.
 - A.D. Yaghjian, “*An overview of near-field antenna measurements*,” *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-34, pp. 30-45, January 1986.

Pengukuran model diskalakan

- Pada pemakaian di kapal laut, kapal terbang, pesawat ruang angkasa yang besar dan sebagainya, jika dilakukan pengukuran sesungguhnya maka struktur bisa sangat besar sehingga antena tidak bisa dipindahkan ke medan ukur untuk di ukur.
- Selain itu pemindahan akan menghilangkan atau mengganti keadaan lingkungan yang berlainan dengan kondisi sebenarnya. Untuk memenuhi syarat teknis, maka biasanya dilakukan pengukuran setempat.
- Suatu teknik yang dapat dilakukan untuk melaksanakan pengukuran antena yang berhubungan dengan struktur yang sangat besar adalah dengan **modelling skala geometris**. Pemakaian modelling ini bertujuan untuk :
 - (1) Dengan medan ukur yang kecil, dapat diakomodasikan pengukuran yang dapat direlasikan dengan struktur yang sangat besar
 - (2) Memungkinkan dilakukannya kontrol eksperimental terhadap pengukuran,
 - (3) Minimisasi biaya yang berhubungan dengan struktur yang sangat besar, dan studi parameter-parameter eksperimental yang sesuai

Modelling skala geometris dengan suatu faktor p , yaitu $p > 1$ atau $p < 1$ memerlukan skala berikut :

Parameter yg diskalakan		Parameter yg tetap	
panjang	$L' = L p$	permitivitas	ϵ
waktu	$t' = t / p$	permeabilitas	μ
panjang glb	$\lambda' = \lambda / p$	kecepatan gelombang	v
kapasitansi	$C' = C / p$	impedansi	Z
daerah gema	$A_c' = A_c / p$	gain	G
frekuensi	$f' = f p$		
konduktivitas	$\sigma' = \sigma p$		

Dalam praktek, sering dipakai $p > 1 \rightarrow \sigma' \approx \text{tetap}$

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

Pengukuran diagram arah dilakukan pada suatu permukaan bola dengan **radius konstan**. Sedemikian, bahwa diagram arah dapat kita duga adalah 3 dimensi. Namun akuisisi pola 3D adalah tidak praktis, sehingga potongan orthogonal diagram arah 2D lebih sering ditampilkan.

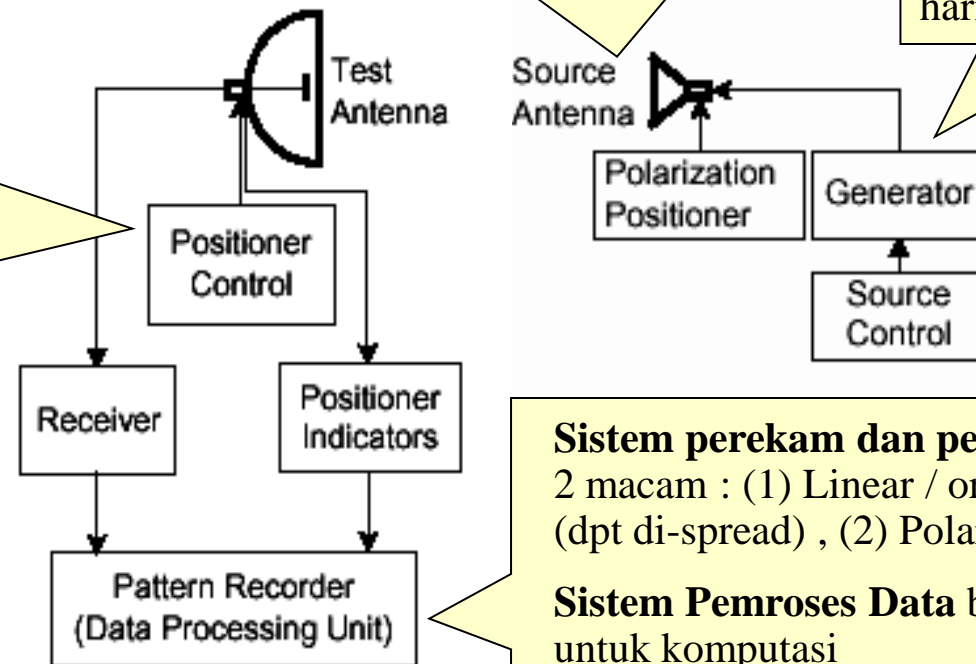
Sistem pengukuran diagram arah medan

Sistem penempatan dan pengarahannya :
berupa suatu penyangga yang dapat diputar (azimuth dan elevasi), dikontrol, dengan indikator posisi

Sistem penerima :
bisa sederhana berupa detektor langsung, atau cukup kompleks (heterodyne+PLL, dsb)

Antena sumber / antena referensi :
 $f < 1 \text{ GHz}$: Log periodik / dipole $\lambda/2$ $f > 400 \text{ MHz}$: Parabola / Horn dengan bandwidth lebar

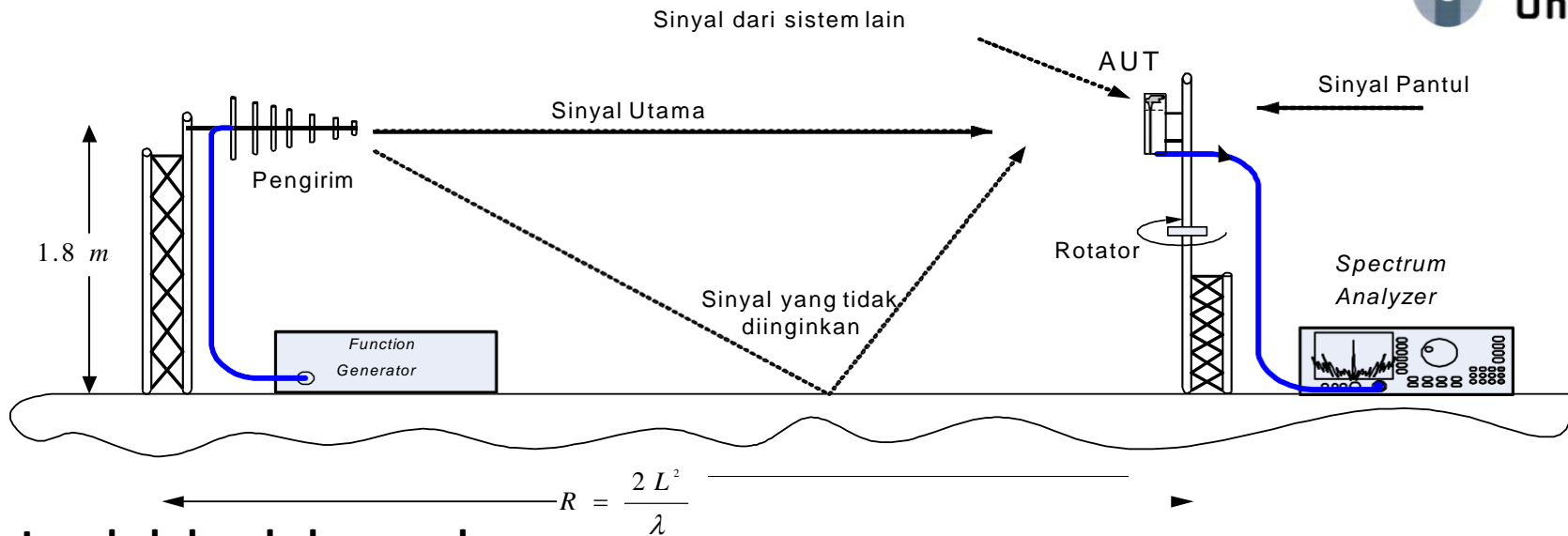
Pemancar :
Frekuensi stabil dan dapat dikontrol, spektrum murni (spurious dan harmonisa kecil)



Sistem perekam dan pencatat, ada 2 macam : (1) Linear / orthogonal (dpt di-spread) , (2) Polar

Sistem Pemroses Data berfungsi untuk komputasi

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa



Langkah-langkah pengukuran:

- Hubungkan antenna pemancar ke *sweep generator* dan *Antenna Under Test* (AUT) dihubungkan ke *spectrum analyzer*
- Pengukuran dilakukan di medan jauh antenna
- AUT diputar-putar secara azimuth atau elevasi per 10°
- Catat level terima yang terbaca pada *spectrum analyzer*. Semakin kecil resolusi sudut pemutaran, maka akan semakin terlihat pola radiasinya. Hasil pengukuran dicatat sebanyak dua kali dalam rentang waktu yang sama, tujuan dari ini adalah untuk mencari nilai rata-rata akibat dari fluktuasi level daya yang terus berubah-ubah akibat *multipath*. Hasil rata-rata yang didapatkan akan dinormalisasikan terhadap daya yang terbesar. Normalisasi ini kemudian diplot dan digambarkan sebagai pola radiasi normal dalam skala logaritmis, ini dapat dilihat dalam skala nilai terbesar adalah 0 dB.

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

- **Pada pengukuran diagram arah**, tiap titik ukur diidentifikasi sebagai (θ, ϕ) dalam koordinat bola dengan R dibuat konstan, sedangkan antenna ditempatkan pada koordinat $(0,0,0)$
- **Pengukuran lengkap diagram arah** meliputi pengukuran diagram arah medan listrik dan medan magnet, serta masing-masing diagram fasanya.

Diagram arah medan

$$E_{\theta} = f_1(\theta, \phi)$$

$$E_{\phi} = f_2(\theta, \phi)$$

$$H_{\theta} = f_3(\theta, \phi)$$

$$H_{\phi} = f_4(\theta, \phi)$$

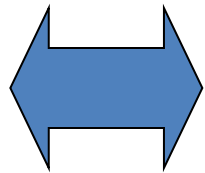


Diagram arah fasa

$$\delta_{\theta} = g_1(\theta, \phi)$$

$$\eta_{\phi} = g_2(\theta, \phi)$$

$$\zeta_{\theta} = g_3(\theta, \phi)$$

$$\gamma_{\phi} = g_4(\theta, \phi)$$

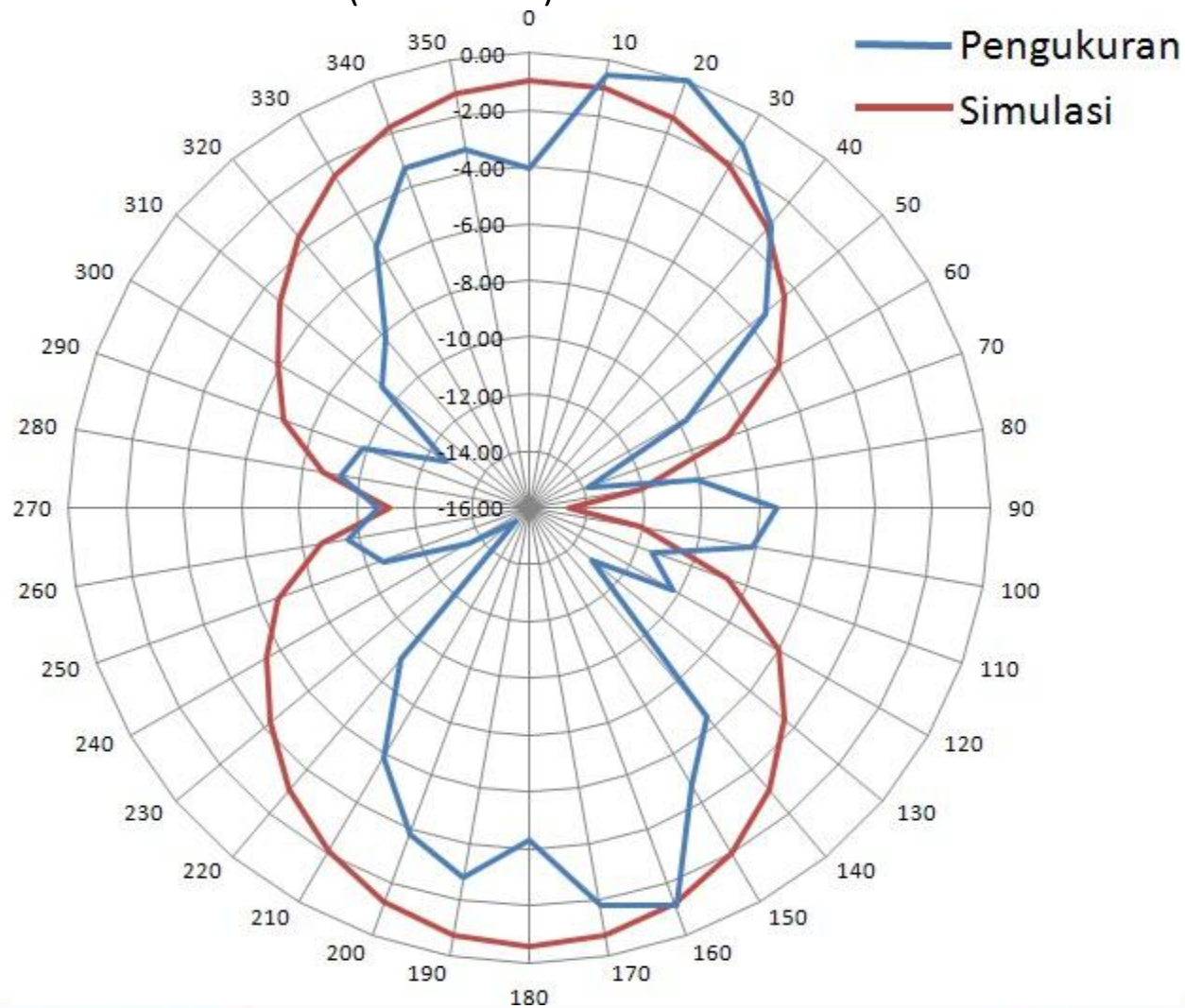
- **Diagram arah sesungguhnya 3D**, tetapi ditampilkan potongan 2D. Biasanya akan dipilih 2 bidang saja yang mewakili untuk menyatakan E dan H dominan.

Misal :

- Pada ϕ konstan ($0 \leq \phi \leq 2\pi$), dengan θ variabel (0 s/d π)
- Pada θ konstan ($0 \leq \theta \leq \pi$), dengan ϕ variabel (0 s/d π)

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

Pengukuran Pola Radiasi C(ontoh Hasil)



D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

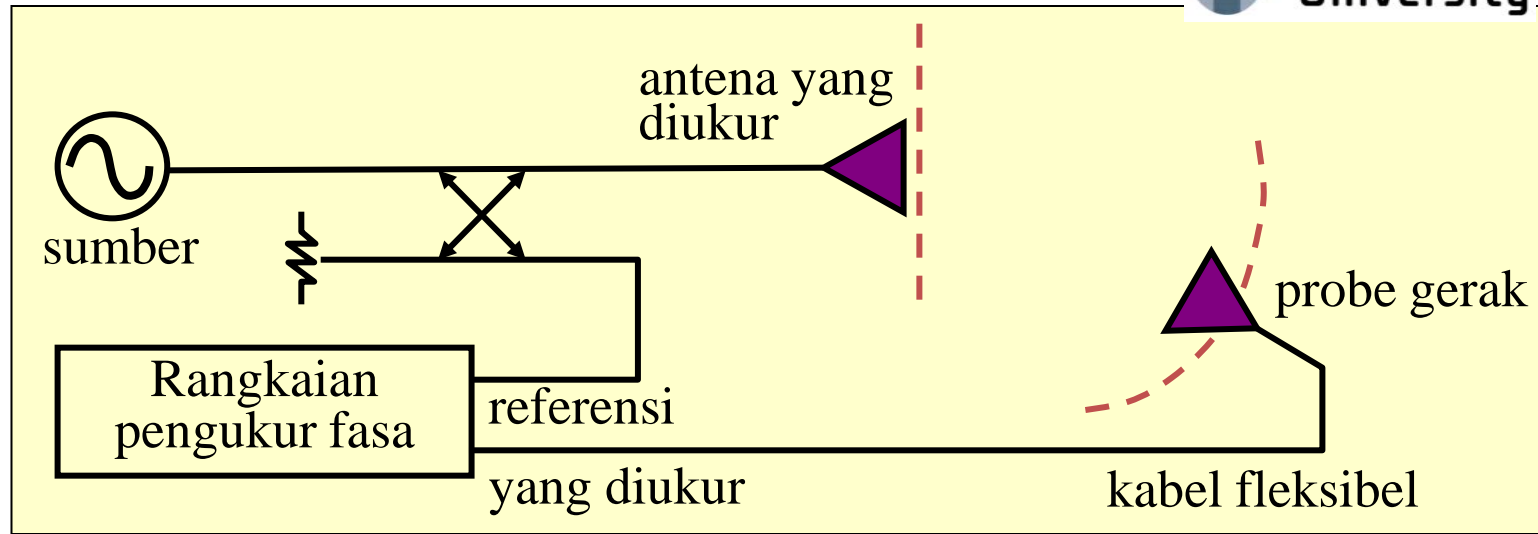
- **Pada pengukuran diagram fasa**, ada 2 macam sistem dasar yaitu :
(1) sistem dengan sinyal referensi yang didapat dari sumber melalui saluran transmisi, (2) sistem yang memakai referensi berupa sinyal yang diterima dari antena yang tetap dan didekatkan antena yang diukur.
- **Pada sistem pertama**, dipakai untuk pengukuran medan dekat atau medan yang berjarak tidak jauh dari sumber. Sedangkan sistem kedua dipakai untuk pengukuran medan jauh. Diagram kedua sistem ini dapat dilihat pada halaman berikutnya.
- **Pengukuran diagram fasa** dilakukan dengan memutar antena yang diukur, sedangkan antena yang tetap bertindak sebagai referensi. Rangkaian pengukur fasa dapat berbentuk sistem heterodyne 2 kanal.



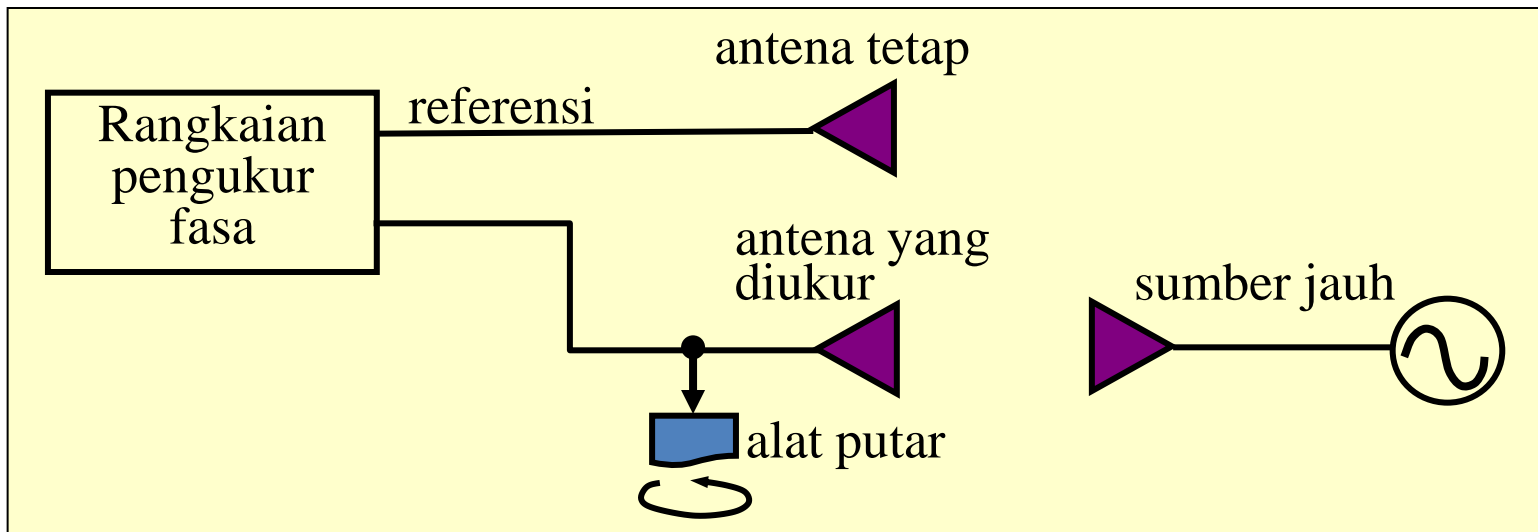
**Pengukuran
diagram fasa**

D. Pengukuran Diagram Arah Medan dan Diagram Arah Fasa

(a) Medan dekat



(b) Medan Jauh



**Sudah Pusing?..., kalau belum,
Mari kita lanjutkan.....**



Questions?



E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

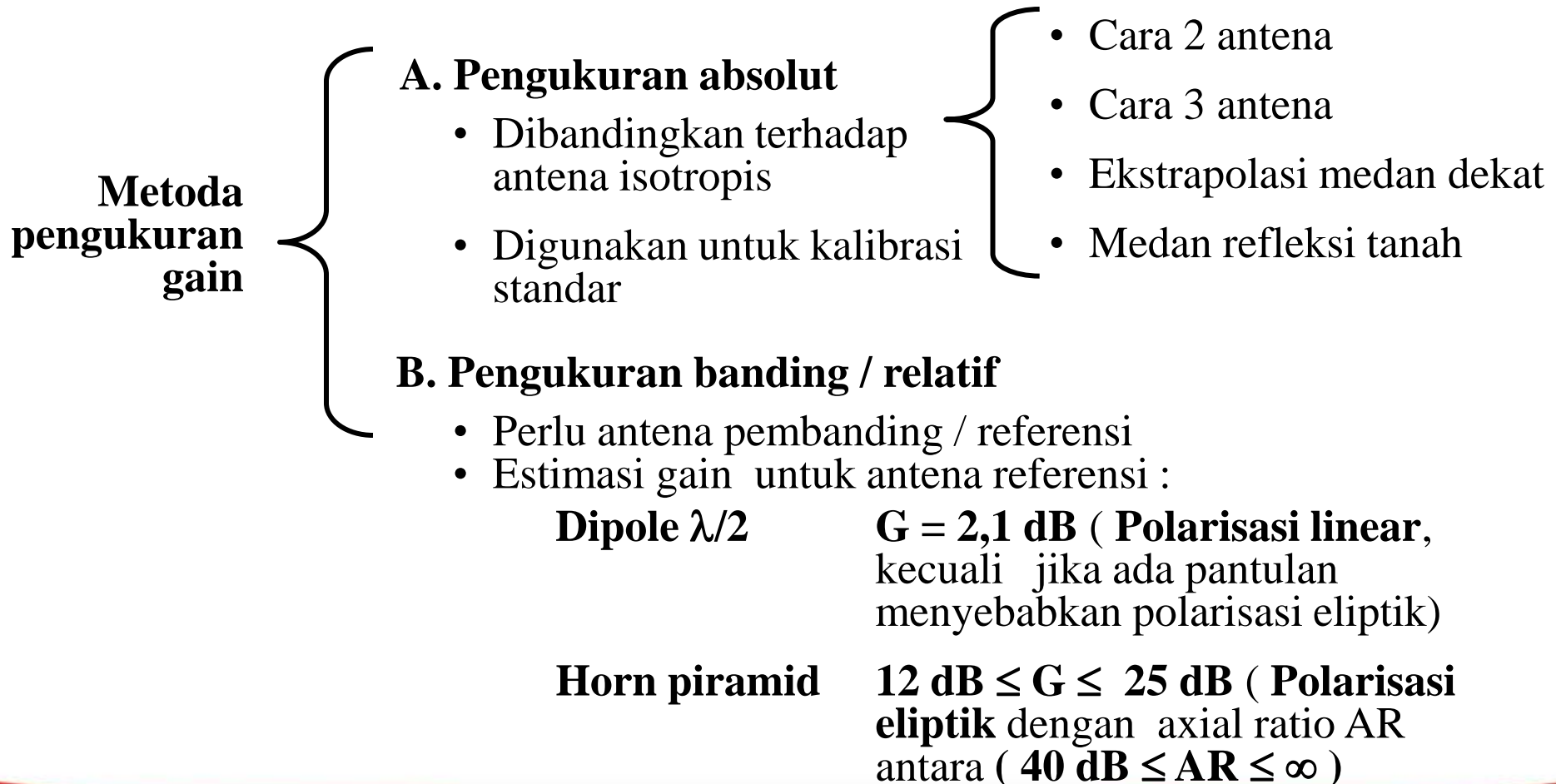
I. Pengukuran Gain

- **Pengukuran gain**, secara esensial membutuhkan persyaratan yang sama seperti pada pengukuran diagram arah, namun tidak terlalu sensitif terhadap pantulan dan interferensi EM
- Untuk frekuensi di atas 1 GHz digunakan **medan ukur ruang bebas** (*free space range*), sedangkan untuk frekuensi antara 0,1 sampai 1 GHz digunakan **medan ukur refleksi** (*ground reflection range*)
- Pada frekuensi di bawah 0,1 GHz, dimensi antenna menjadi sangat besar dan umumnya gain langsung diukur pada tempat operasinya. Sedangkan untuk frekuensi di bawah 1 MHz (umumnya untuk groundwave), gain tidak biasa diukur dan yang diukur adalah medan listrik yang dihasilkannya.
- Gain, direktivitas, dan efisiensi memiliki hubungan rumus yang sudah kita kenal :

$$\text{Gain} = \eta_{\text{eff}} \times \text{Direktivitas}$$

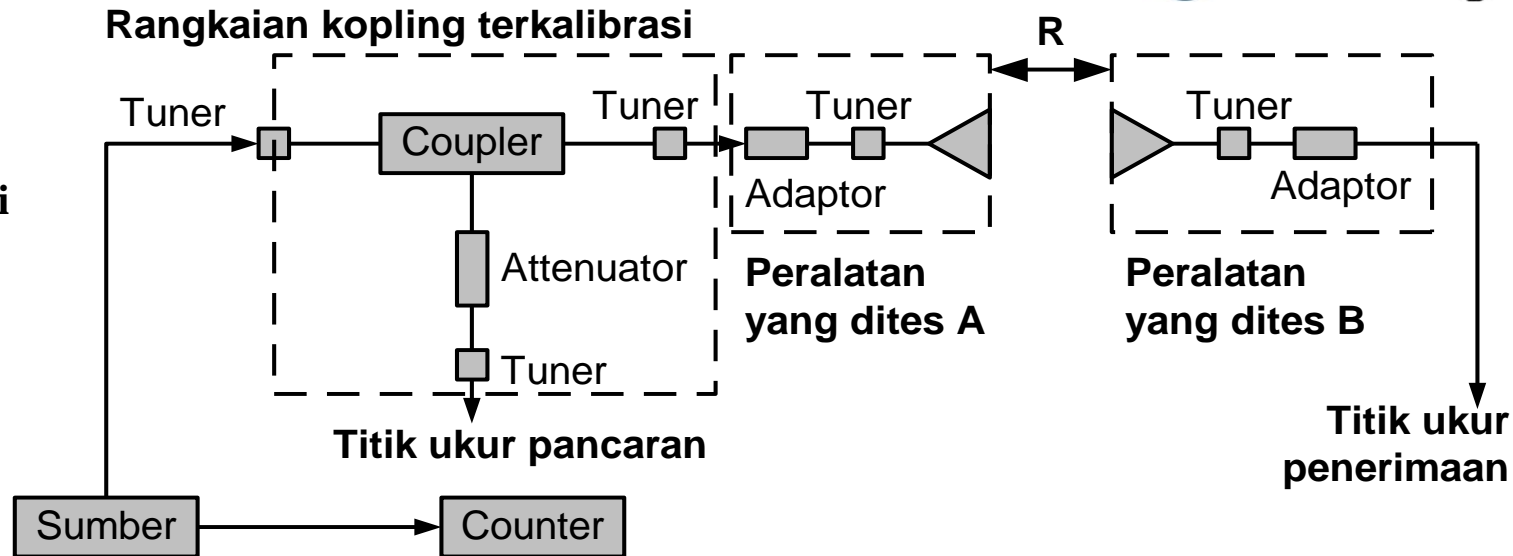
Metoda Pengukuran Gain

Metoda yang dipakai untuk mengukur gain antenna ada beberapa macam, yaitu :

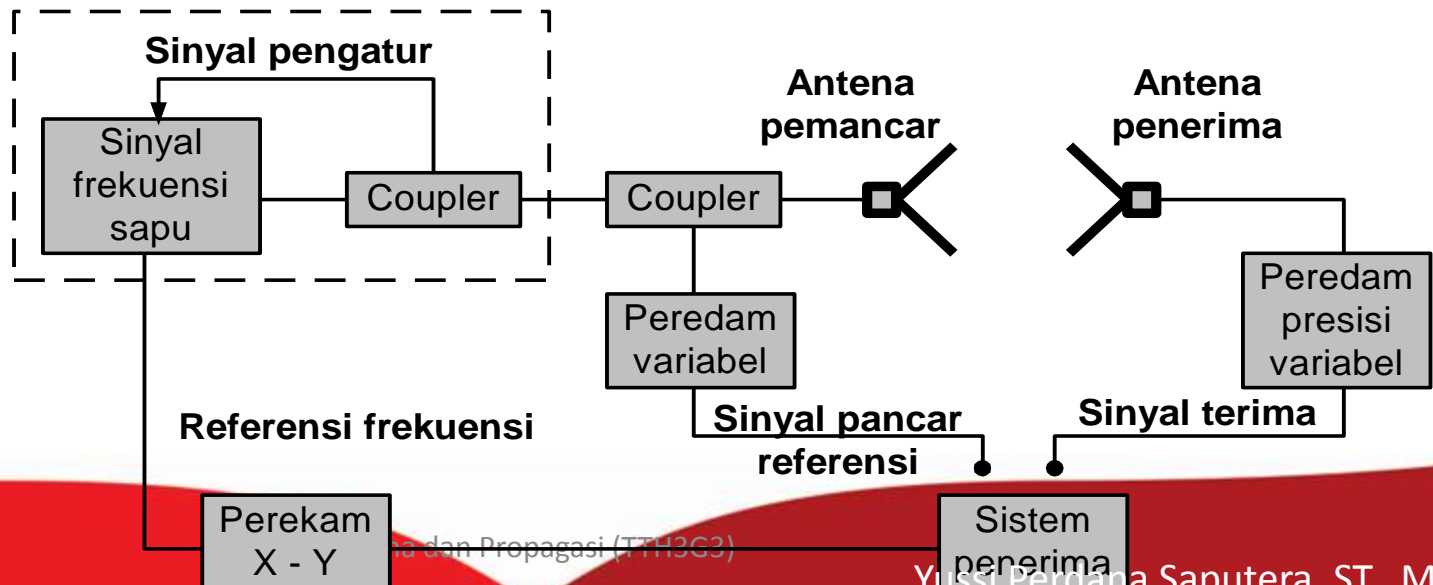


E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

- (a) Pengukuran gain absolut frekuensi tunggal
Jika $BW \ll$



- (b) Pengukuran gain absolut frekuensi sapu
Jika $BW \gg$



Metoda 2 Antena (*Two-Antenna Method*)

- Sering juga disebut sebagai metoda resiprositas (*reciprocity method*)
- **Prinsip dasar :**
Membandingkan daya yang masuk ke antena Tx dengan daya yang diterima antena Rx dengan konsep Transmisi Friis, setelah jarak antara kedua antena diketahui
- Antena yang digunakan adalah 2 buah antena identik, satu digunakan sebagai antena pemancar dan satu digunakan sebagai antena penerima

$$W_R = W_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

$$G_T = G_R = G$$

$$G = \sqrt{\frac{W_R}{W_T}} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)$$

$$G_{(dBi)} = \frac{1}{2} \left[20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log \frac{W_R}{W_T} \right]$$

E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

Metoda 3 Antena (*Three-Antenna Method*)

- Digunakan jika antena yang diukur tidak identik
- **Prinsip dasar :**
Membandingkan 3 kombinasi daya yang masuk ke antena Tx dengan daya yang diterima antena Rx dengan konsep *Transmisi Friis*, setelah jarak antara kedua antena diketahui
- Diukur 3 kombinasi antena (1-2), (1-3), dan (2-3)
- Yang diukur adalah : jarak R , λ , dan perbandingan antara daya terima dengan daya kirim

Antena#1 ke Antena#2

$$G_1 + G_2 = \left[20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log \frac{W_{R2}}{W_{T1}} \right]$$

Antena#1 ke Antena#3

$$G_1 + G_3 = \left[20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log \frac{W_{R3}}{W_{T1}} \right]$$

Antena#2 ke Antena#3

$$G_2 + G_3 = \left[20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log \frac{W_{R3}}{W_{T2}} \right]$$

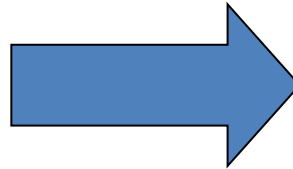
Metoda 3 Antena (*Three-Antenna Method*)

- **Sehingga** kita akan dapatkan kombinasi persamaan berikut :

$$G_1 + G_2 = A_{(\text{dBi})}$$

$$G_1 + G_3 = B_{(\text{dBi})}$$

$$G_2 + G_3 = C_{(\text{dBi})}$$



3 persamaan dengan 3 variabel yang tidak diketahui, dapat mudah diselesaikan :

$$G_1 = \frac{A + B - C}{2} (\text{dBi})$$

$$G_2 = \frac{A - B + C}{2} (\text{dBi})$$

$$G_3 = \frac{-A + B + C}{2} (\text{dBi})$$

E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

Pengukuran Gain (Metode Perbandingan Gain (Gain-comparison Method))

- Sering juga disebut sebagai ***Gain Transfer Method***
- **Prinsip dasar:** Memerlukan antenna referensi yang nilai gainnya sudah pasti diketahui
- Prosedur ini memerlukan 2 kali pengukuran. Pertama antenna yang diukur ditempatkan sebagai penerima dengan polarisasi yang sesuai dan daya yang diterima dicatat. Kemudian antenna referensi diukur juga dengan cara yang sama (polarisasi, orientasi, dan posisi)
- Maka gain absolut terhadap isotropik:

$$G_{\text{AUT}} [\text{dBi}] = G_{\text{REF}} [\text{dBi}] + 10 \log \left(\frac{W_{\text{RX}}}{W_{\text{REF}}} \right) [\text{dBreff}]$$

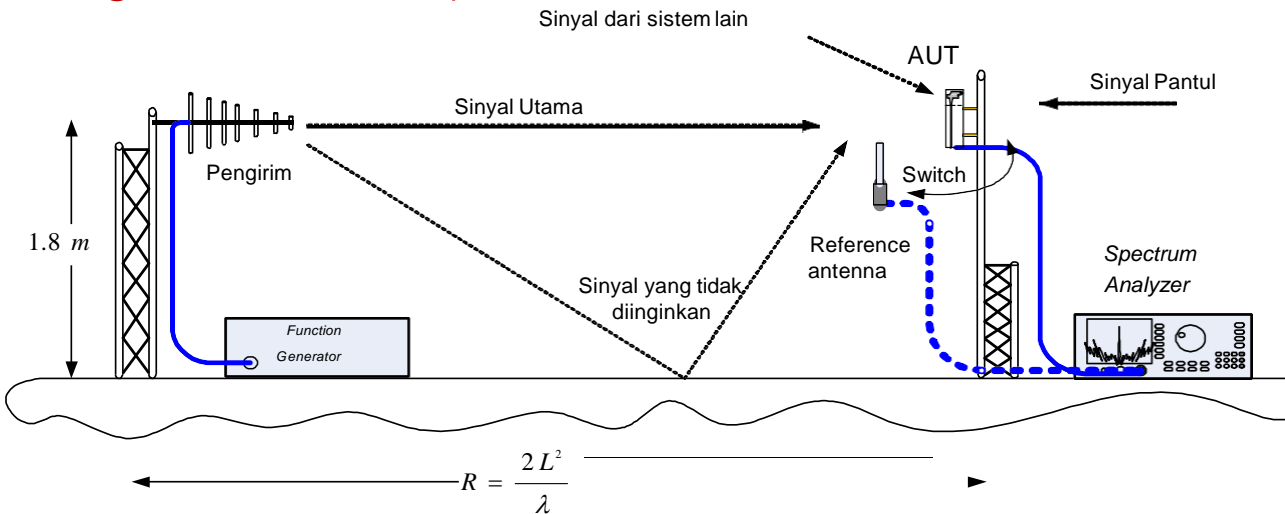
W_{REF} = daya terima antenna referensi

W_{RX} = daya terima AUT Antena dan Propagasi (TTH3G3)

G_{REF} = gain antenna referensi absolut terhadap isotropik (diketahui)

E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

Pengukuran Gain (Langkah-langkah Pengukuran Gain)



dimana :

$G_{AUT(dBm)}$ = gain antenna yang diukur

$P_{AUT(dBm)}$ = level daya terima AUT

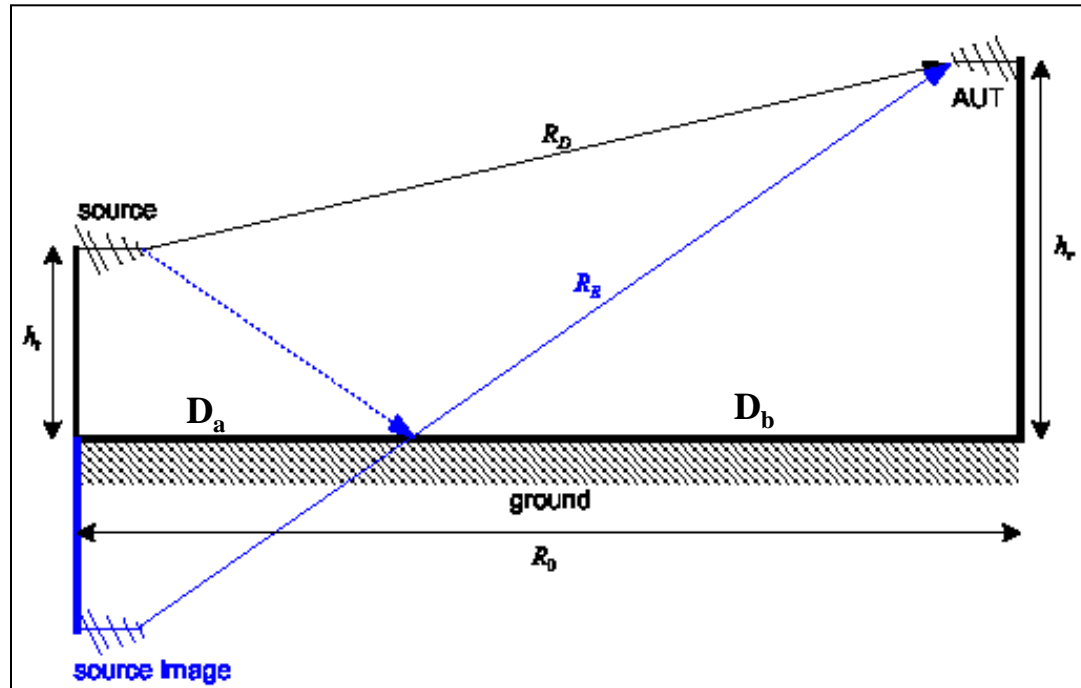
$P_{REF(dBm)}$ = level daya terima antenna referensi

Prosedur pengukuran gain antenna adalah sebagai berikut :

- Antena uji ditempatkan sebagai penerima yang akan menerima daya pancaran dari pemancar. Arahkan pada sumbu utama pola pancarnya. Catat daya yang terbaca pada *spectrum analyzer* (dBm).
- Ganti antenna uji dengan antenna referensi (misal antenna *sleeve dipole* $\lambda/2$ dengan gain 2,14 dBi). Catat daya yang terbaca pada *spectrum analyzer*.
- Bandingkanlah kedua hasil, kemudian *gain* antenna hasil pengukuran dihitung dengan persamaan :

$$\text{dBi} \quad G_{AUT(dBi)} = (P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBm)}) + 2.14$$

Metoda Medan Refleksi Tanah (*Ground Reflection Method*)



- Adalah teknik pengukuran yg dipakai untuk antenna frekuensi < 1 GHz dengan berkas agak lebar
- Memperhitungkan pengaruh refleksi bumi
- Dapat dipakai metoda 2 antenna atau 3 antenna
- **Syarat :**
Polarisasi horisontal, karena refleksi pada polarisasi horisontal sangat bervariasi.
Sehingga, antenna vertikal akan diukur secara horisontal

E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

- **Metoda medan refleksi tanah hanya dipakai** pada antena dengan **polarisasi linier** dan untuk antena loop harus dilakukan modifikasi
- **Pada medan refleksi tanah** : diukur parameter-parameter daya derima, daya kirim, dan jarak untuk 2 keadaan, yaitu saat medan maksimum dan minimum, sehingga gain akan dapat dihitung.

max	▲	min
h_r		h_r'
h_t		h_t'

**Medan
maksimum**

$$G_a + G_b = 20 \log \frac{4\pi R_D}{\lambda} + 10 \log \frac{W_r}{W_t} - 20 \log \left(D_a D_b + \frac{r R_D}{R_R} \right)$$

**Medan
minimum**

$$r = \left(\frac{R_R R_R'}{R_D R_D'} \right) \left(\frac{R_D \sqrt{\left(\frac{W_r}{W_r'} \right) (D_a' D_b')} - R_D' \sqrt{D_a D_b}}{R_R \sqrt{\left(\frac{W_r}{W_r'} \right)} + R_R'} \right)$$

Metoda Ekstrapolasi Medan Dekat

Metoda ekstrapolasi adalah metoda pengukuran gain absolut yang dapat dilaksanakan dengan metoda 3 antena dan dikembangkan untuk mereduksi kesalahan-kesalahan karena medan antena, lintasan ganda, dan karena ketidak-identikan antena. Metoda ini dapat pula mengukur polarisasi asal paling banyak hanya satu antena yang berpolarisasi sirkular.

Pada cara ekstrapolasi medan dekat : *Antenna Under Test* (AUT) berlaku sebagai **pemancar** dan probe ukur penerima ditempatkan sangat dekat dengan apertur antena pemancar (AUT).

Cara ini meng-asumsikan bahwa semua daya yang terpancar melalui apertur A_p . Sedangkan hasil ukur $E(x,y)$ dapat diekstrapolasi untuk meneliti karakteristik medan jauhnya

Pada metoda ini, diperlukan pengukuran amplitudo dan fasa jika diinginkan gain dan polarisasi. Sedangkan jika hanya gain, maka cukup hanya amplitudo saja yang diukur.

Metoda Ekstrapolasi Medan Dekat...

Gain absolut thd isotropik diperoleh dari relasi **BRACEWELL** :

$$G = \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \frac{1}{\frac{1}{A_p} \iint_{A_p} \left[\frac{E(x, y)}{E_{av}} \right] \left[\frac{E(x, y)}{E_{av}} \right]^* dx dy}$$

dengan,

$E(x, y)$ = medan listrik di koordinat (x, y) pada apertur

A_p = apertur fisik AUT

$*$ = konjugat kompleks

$$E_{av} = \frac{1}{A_p} \iint_{A_p} E(x, y) dx dy$$

Metoda Perbandingan Gain (*Gain-comparison Method*)

- Sering juga disebut sebagai *Gain Transfer Method*
- **Prinsip dasar :**
Memerlukan antenna referensi yang nilai gainnya sudah pasti diketahui
- Prosedur ini memerlukan 2 kali pengukuran. Pertama antenna yang diukur ditempatkan sebagai penerima dengan polarisasi yang sesuai dan daya yang diterima dicatat. Kemudian antenna referensi diukur juga dengan cara yang sama (polarisasi, orientasi, dan posisi)
- Maka gain absolut terhadap isotropik :

$$G_{\text{AUT}} [\text{dBi}] = G_{\text{REF}} [\text{dBi}] + 10 \log \left(\frac{W_{\text{RX}}}{W_{\text{REF}}} \right) [\text{dBref}]$$

W_{REF} = daya terima antenna referensi

W_{RX} = daya terima AUT

G_{REF} = gain antenna referensi absolut terhadap isotropik (diketahui)

II. Pengukuran Direktivitas

- **Direktivitas** biasanya diperoleh dari perhitungan jika fungsi diagram arah diketahui dan fungsi itu didekati dengan membuat kurva diagram arah atas dasar pengukuran. Dengan menghitung lebar berkas misalnya dengan komputer, maka **pengarahan D** dapat dihitung dari :

$$D = \frac{4\pi}{B}$$

dengan

$$B = \frac{\iint f(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi}{f(\theta, \phi)_{\max}}$$

- Dari definisi,

$$\frac{f(\theta, \phi)}{f(\theta, \phi)_{\max}} = \text{fungsi intensitas radiasi ternormalisasi terhadap sudut ruang } \theta \text{ dan } \phi \text{ (daya per radian persegi)}$$

maka, dapat diperoleh dari kuat medan listrik

$$B = \iint P_n(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

$$P_n = \frac{E_\theta^2 + E_\phi^2}{(E_\theta^2 + E_\phi^2)_{\max}}$$

$P_n(\theta, \phi)$ adalah “ *normalized power pattern* ”

E. Pengukuran Gain, Direktivitas, dan Efisiensi

Pengukuran Direktivitas...

- **Untuk diingat kembali,** jika $f(\theta, \phi)$ diketahui, maka lebar berkas B akan dapat dihitung.
- **Sedangkan untuk antena unidirectional dan $D > 10$,** lebar berkas dapat didekati dari rumus :

$$B \approx \theta_{1/2} \times \phi_{1/2}$$

- **Untuk polarisasi sirkular dan eliptis,** maka pengukuran dilakukan 2 kali, sehingga :

$$D = D_{\theta} + D_{\phi}$$

dengan syarat pada polarisasi liniernya terdapat polarisasi silang
< - 4 dB

III. Pengukuran Efisiensi

- **Efisiensi** biasanya dihitung setelah gain G dan direktivitas D didapat dari hasil pengukuran yang sudah dilakukan. Efisiensi dinyatakan oleh rumus berikut :

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{G}{D}$$

- **Untuk antenna sederhana,** efisiensi didapat dari perhitungan :

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{R_r}{R_A}$$

R_r tahanan pancar (dari perhitungan)

R_A impedansi antenna / terminasi (dari pengukuran)


- **Untuk antenna terpasang,** rugi-rugi termasuk rugi-rugi oleh keadaan sekeliling

F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, & Distribusi Arus

I. Pengukuran Impedansi (dan SWR)

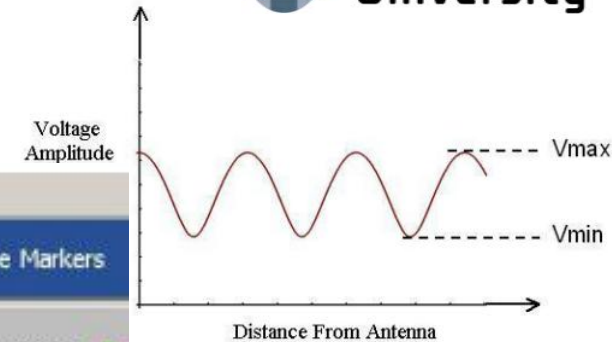
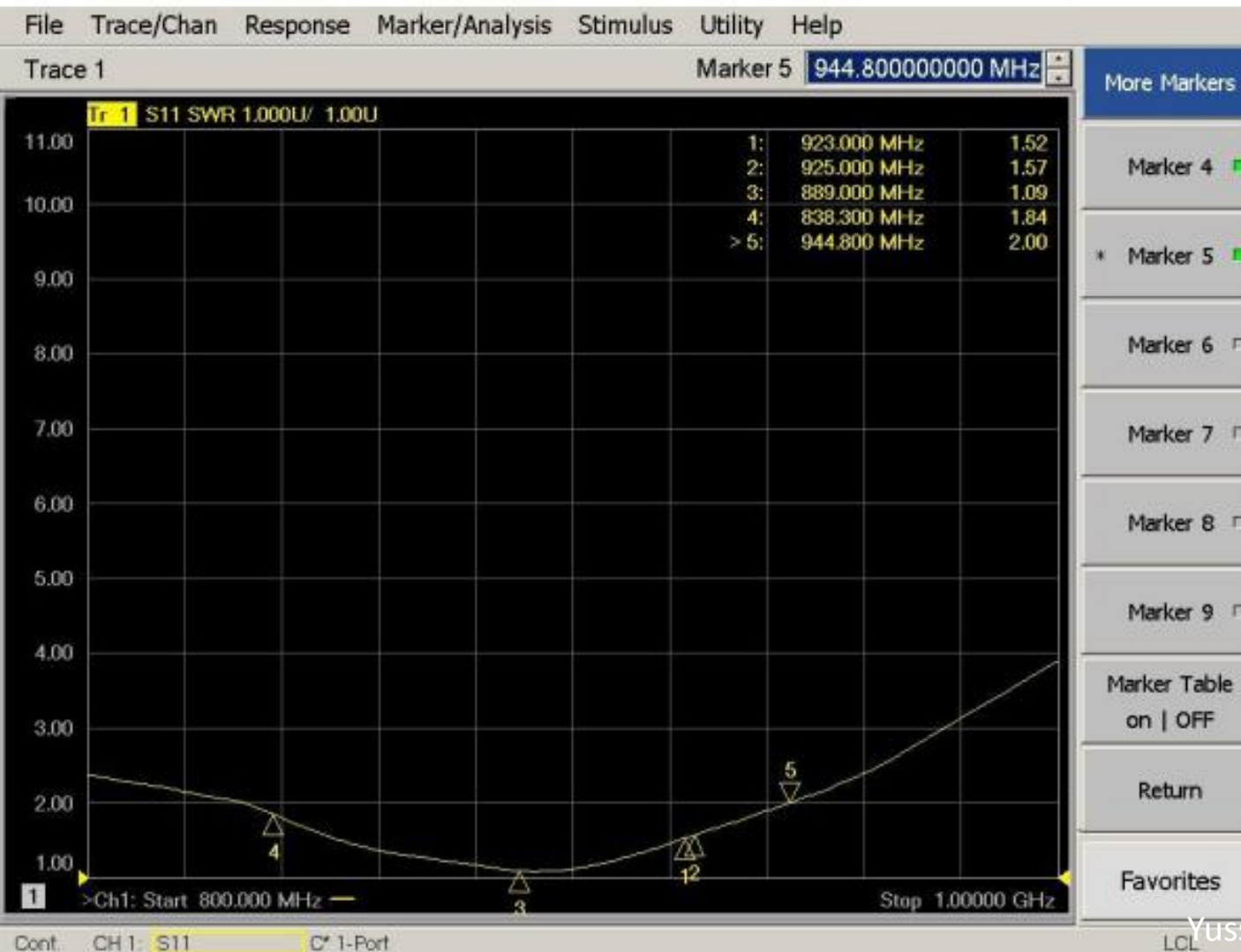
Pengukuran Impedansi dapat harus tetap memenuhi syarat bahwa antenna bebas dari pengaruh sekitarnya (ingat konsep impedansi gandeng) sedemikian, alat ukur pada pengukuran langsung akan memiliki jarak terhadap antenna yang diukur.

Impedansi dapat diukur dengan 2 macam cara, yaitu :

- 
- (1) **Dari pengukuran SWR / Koefisien Refleksi** serta jarak minimum pertama
 - (2) **Pengukuran langsung** dengan menggunakan jembatan atau dengan *Network Analyzer* (Umumnya akan lebih presisi)

F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, & Distribusi Arus

I. Pengukuran Impedansi (dan SWR)



Pengukuran

(1) Pengukuran Impedansi (Melalui Pengukuran SWR / Koefisien Refleksi)

Impedansi antenna dihitung dari koefisien refleksi yang terukur pada terminal antenna. Di bawah ini adalah kaitan beberapa pengukuran dengan pengukuran impedansi

Pengukuran

Ukur :

- V_{\max}
- V_{\min}
- Fasa koefisien pantul

Standing Wave Ratio

$$SWR = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|}$$

Impedansi Antena

$$Z_A = Z_0 \frac{1 + \bar{\Gamma}}{1 - \bar{\Gamma}} \bigg|_{\bar{\Gamma} = |\bar{\Gamma}| \angle \theta_{\Gamma}}$$

Koefisien Pantul

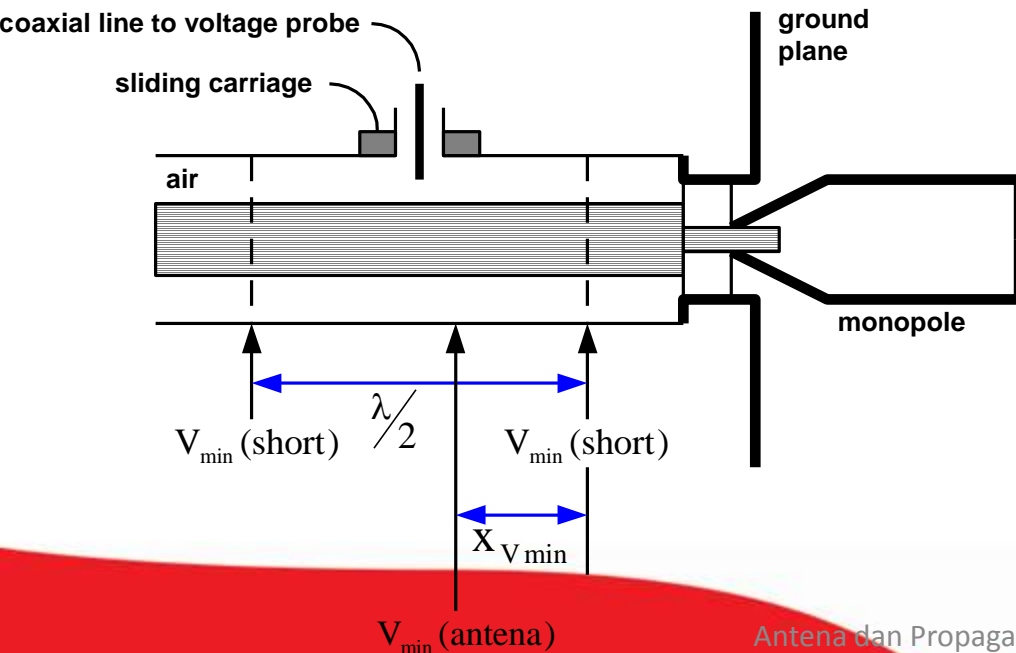
$$|\bar{\Gamma}| = \frac{SWR - 1}{SWR + 1}$$
$$\theta_{\Gamma} = 720^{\circ} \times \left(\frac{d_{vm}}{\lambda} - \frac{1}{4} \right)$$

Sensor koefisien refleksi dapat berupa *Slotted Coax Line* atau berupa *Directional Coupler*. Sedangkan pengukuran koefisien refleksi dihitung dari distribusi tegangan yang diukur sepanjang perangkat tersebut

(1) Slotted Coax Line

- Instrumen sederhana dan murah
- Ada bocoran medan pada celah
- Tidak praktis untuk frekuensi sapu

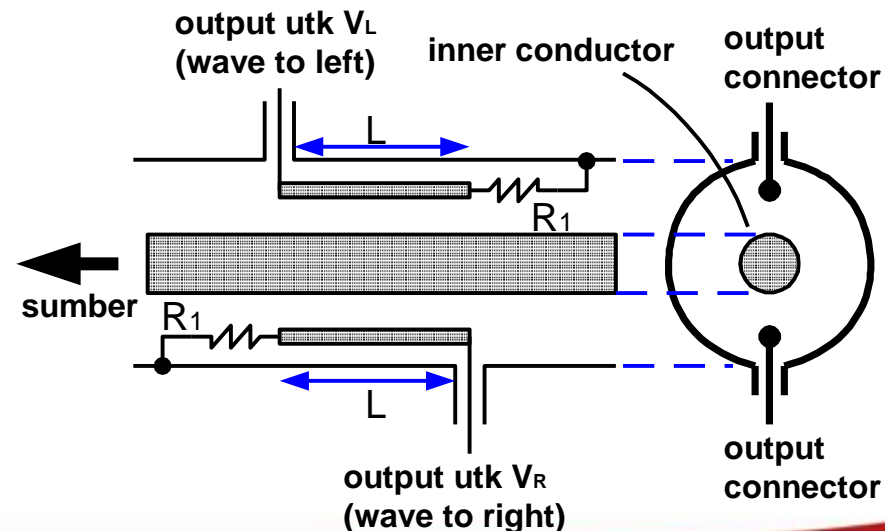
Slotted coax line



(2) Directional Coupler

- Praktis untuk frekuensi sapu
- Tidak ada bocoran medan pada celah
- Perlu instrumen yang rumit dan mahal

Directional Coupler



Pada slotted coax line, pengukuran dilakukan 2 kali :

- **Ketika antena dilepas**, dibuat **short circuit** pada terminal beban sehingga dapat dicari 2 posisi tegangan minimum ($V_{\min}(\text{short})$) yang berurutan. Jarak antara kedua posisi tegangan minimum yang berurutan adalah $\frac{1}{2}\lambda$
- Ketika antena dipasang, dapat dicari posisi tegangan minimum $V_{\min}(\text{ant})$ di dalam *slotted line* , maka :

x_{vm} = Selisih jarak antara $V_{\min}(\text{ant})$ I dgn $V_{\min}(\text{short})$ I

dan

$$\theta_{\Gamma} = 720^{\circ} \times \left(\frac{x_{vm}}{\lambda} - \frac{1}{4} \right)$$

λ = panjang gelombang di dalam slotted line

$$\lambda = \frac{v}{f} = k \frac{c}{f} \quad \text{dengan} \quad k = \text{velocity factor}$$

(2) Pengukuran Impedansi (Cara Langsung)

Pengukuran Impedansi harus tetap memenuhi syarat bahwa antenna bebas dari pengaruh sekitarnya, sehingga pengukuran impedansi harus dua kali , yaitu

- Pengukuran impedansi antenna bersama-sama dengan saluran transmisi, Z_{A+K}
- Pengukuran saluran transmisi saja yang dihubung singkat , Z_{KS}

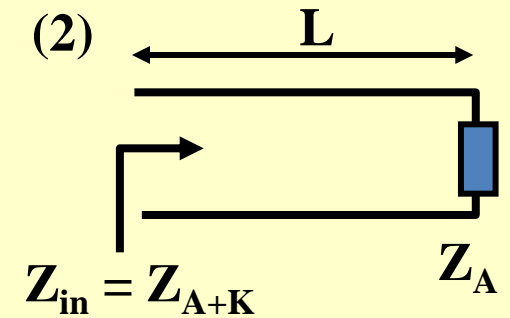
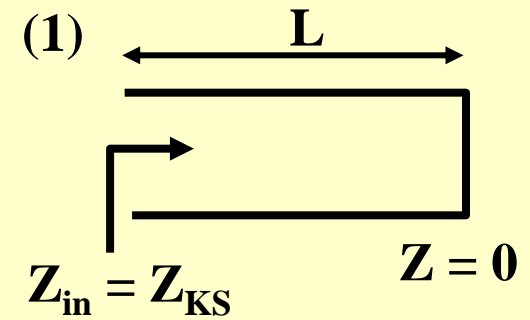
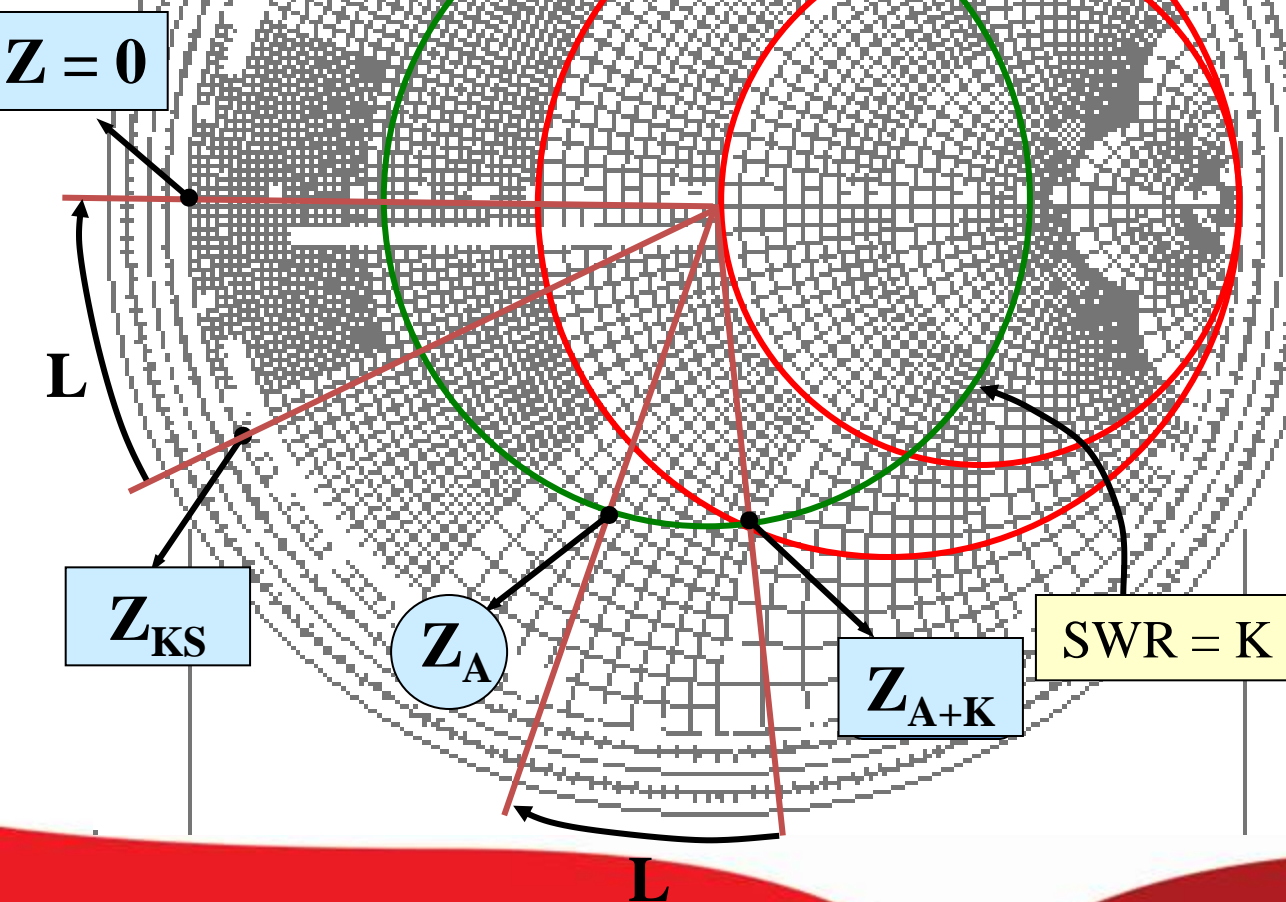
Harus diperhatikan juga panjang gelombang dalam saluran transmisi. Umumnya kecepatan gelombang dalam saluran transmisi , $v \neq c$.

Sehingga,

$$\lambda = \frac{v}{f} = k \frac{c}{f}$$

k = velocity factor

Pengukuran Impedansi Cara Langsung

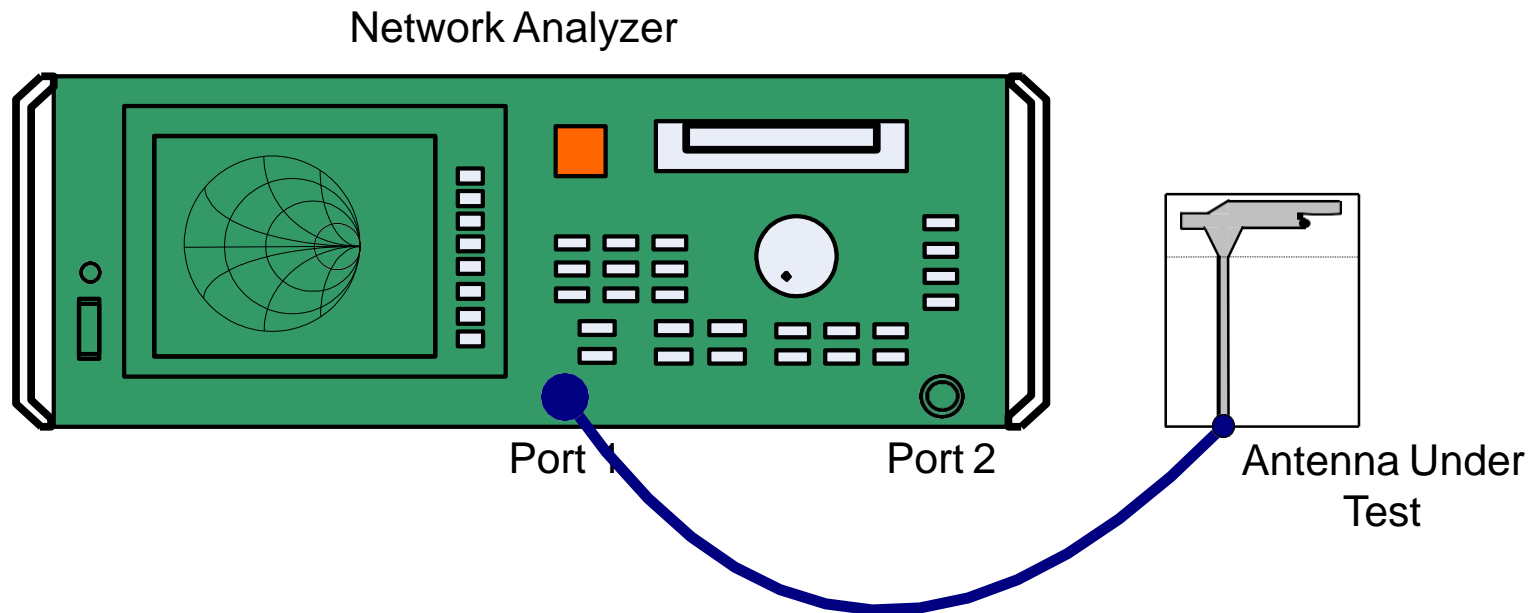


Dengan memutar impedansi Z_{A+K} pada lingkaran SWR yang tetap melalui sudut dan arah yang sama dengan pemutaran Z_{KS} , maka akan didapat impedansi antenna, Z_A

F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, & Distribusi Arus

(2) Pengukuran Impedansi (Cara Langsung)

Pengukuran Impedansi harus tetap memenuhi syarat bahwa antenna bebas dari pengaruh sekitarnya.



F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, & Distribusi Arus

(2) Pengukuran Impedansi (Cara Langsung)

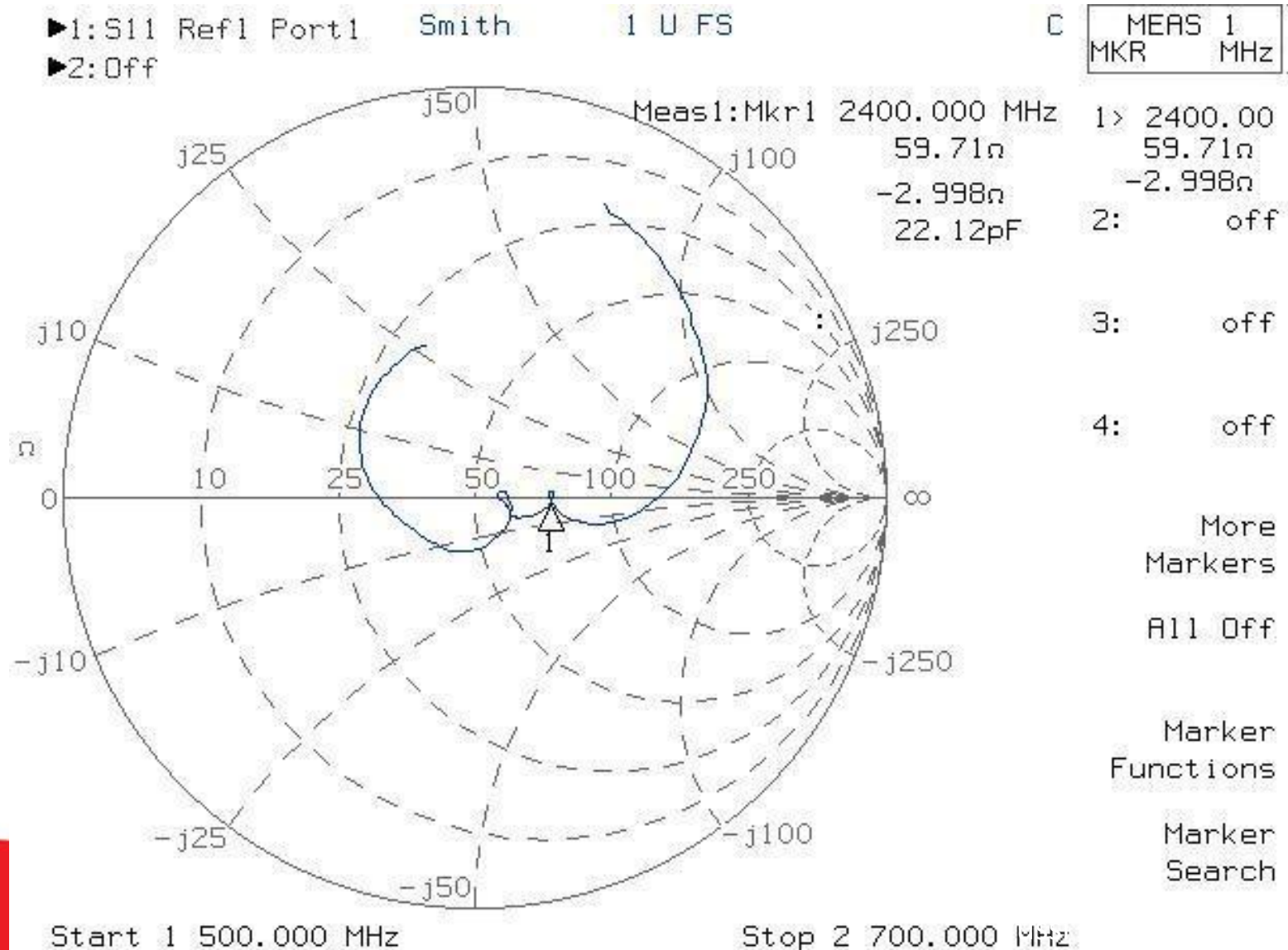
Prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut :

- ☐ Kalibrasi *network analyzernya* beserta kabel koaxial yang dipergunakan dengan *calibration kit* yang tersedia sehingga nilai return loss mendekati nol untuk semua frekuensi. Langkah kalibrasi ini sangat penting untuk mendapatkan nilai validitas pengukuran sebaik mungkin.
- ☐ Hubungkan antena AUT (*antenna under test*) ke *network analyzer*.
- ☐ Tampilkan masing-masing parameter yang ingin diketahui melalui tombol *format*, kemudian catat serta rekam grafik hasil pengukuran tersebut.
- ☐ Untuk VSWR didapatkan fungsi grafik SWR terhadap frekuensi, sedangkan Impedansi input didapatkan fungsi grafik *smith chart* yang menggambarkan fungsi impedansi terhadap frekuensi

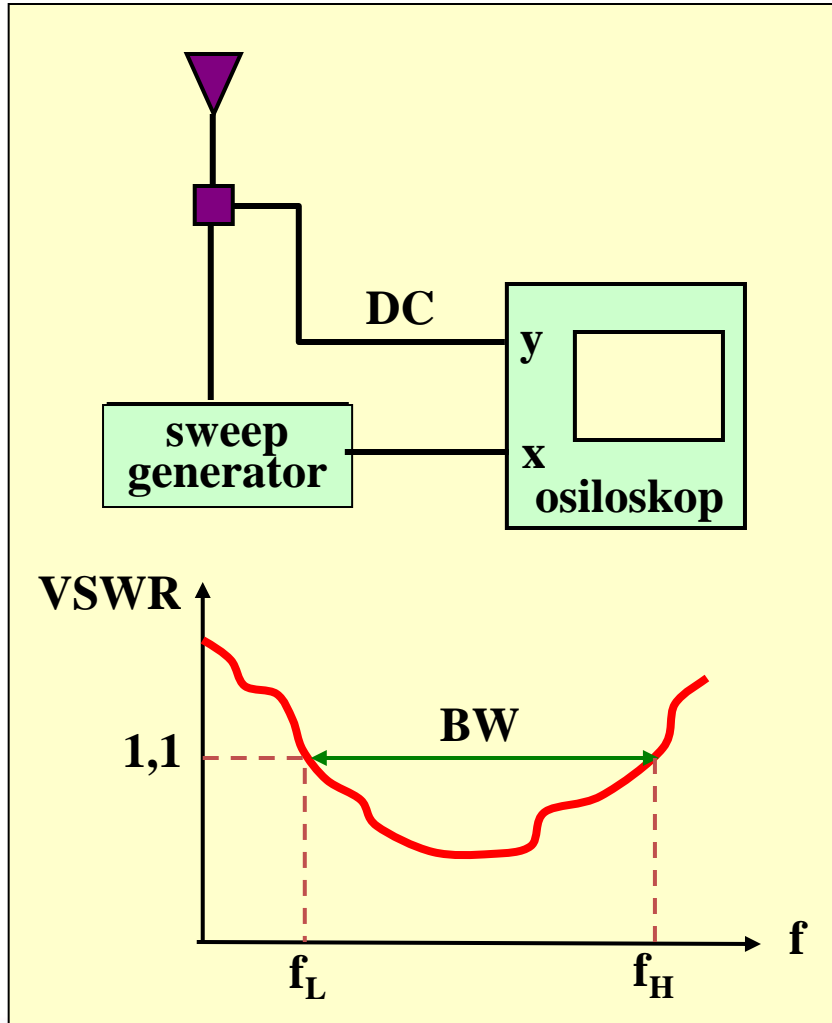
F. Pengukuran Impedansi, SWR, Bandwidth, & Distribusi Arus

(2) Pengukuran Impedansi (Cara Langsung)

Contoh Tampilan layar NA pengukuran Impedansi



II. Pengukuran Bandwidth

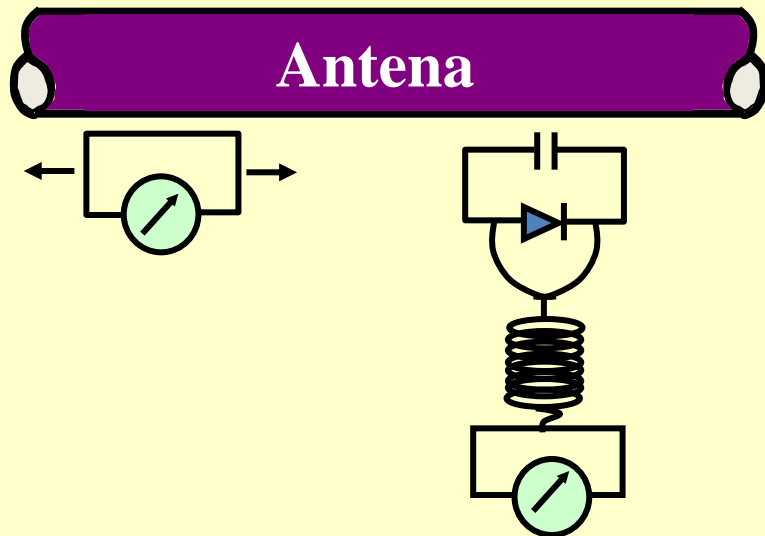


- **Pengukuran bandwidth** dilakukan dengan sebelumnya melakukan pengukuran SWR pada range frekuensi tertentu dengan menggunakan *Sweep Generator* dan *Osiloskop Lissajous*
- Bandwidth ditentukan berdasarkan batas maksimum VSWR yang sudah terdefinisi (1,1 ; 1,2 ; 1,35 ; atau 1,5)

II. Pengukuran Bandwidth



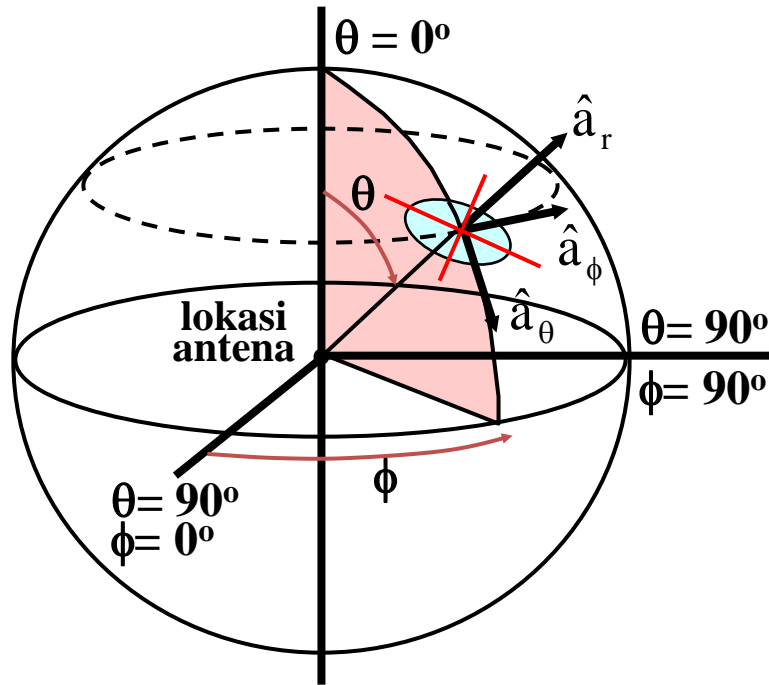
III. Pengukuran Distribusi Arus



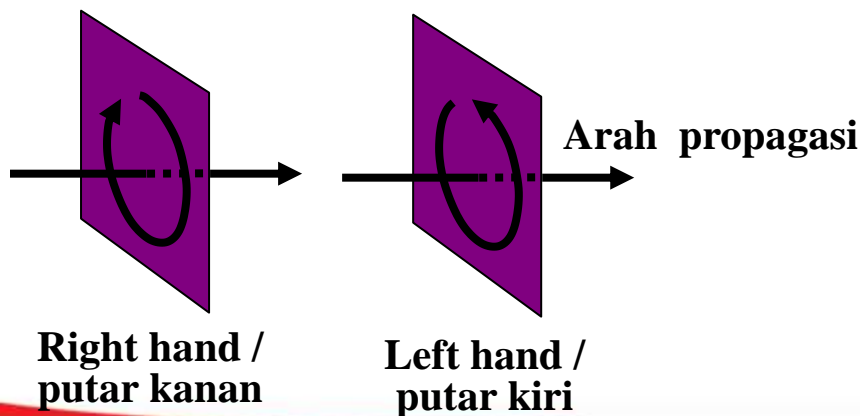
- **Pengukuran distribusi arus** kadang-kadang dilakukan untuk meramalkan / menghitung E, H, diagram arah, distribusi pada medan jauh maupun medan dekat
- Untuk antenna tertentu, kadang-kadang distribusi arusnya sulit diperkirakan, sehingga harus diukur.
- Ada beberapa teknik pengukuran yang dapat dipakai : salah satu cara yang sederhana adalah dipakai loop kecil untuk mencuplik arus dengan menempatkan loop tersebut didekat radiator (antena)
- **Syarat :**
 - Jarak sensor / loop ke konduktor harus tetap
 - Kadang-kadang perlu *choke* untuk isolasi

G. Pengukuran Polarisasi Antena

G. Pengukuran Polarisasi Antena



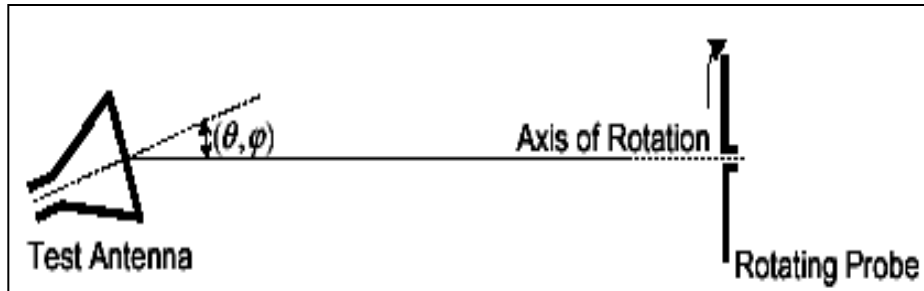
- **Polarisasi didefinisikan** sebagai “ *Kurva yang dijejaki oleh kuat medan listrik sesaat yang dipancarkan oleh antena pada frekuensi tertentu pada bidang tegak lurus arah radial* “, seperti ditunjukkan gambar di samping !
- **Polarisasi biasanya berbentuk ellips** dan pada sistem koordinat bola dibentuk oleh komponen medan listrik di arah θ dan ϕ (E_θ dan E_ϕ)
- Umumnya karakteristik polarisasi antena ditentukan oleh : (1) **Perbandingan sumbu** (*axial ratio* : AR), (2) **Arah putar** (CW atau CCW) , (3) **Right Hand (RH)** atau **Left Hand (LH)**, dan (4) **Sudut condong** (tilt angle = τ)



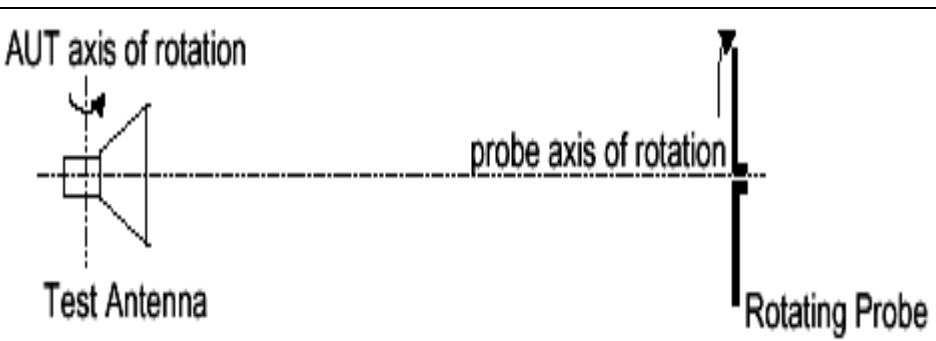
G. Pengukuran Polarisasi Antena

- **Harus diperhatikan**, bahwa umumnya polarisasi antena akan tidak sama untuk arah yang berbeda. Sedemikian, polarisasi akan tergantung pada sudut pengamatan.
- **Metode pengukuran polarisasi** dikategorikan atas 3 macam metode :
 - **Metode parsial** : Sederhana, tetapi tidak memberikan informasi lengkap dan peralatan yang dibutuhkan cukup konvensional
 - **Metode perbandingan** : Memberikan informasi lengkap dan membutuhkan standar polarisasi
 - **Metode absolut** : Memberikan informasi lengkap dan tidak membutuhkan standar polarisasi
- **Metode yang dipilih** dalam mengukur polarisasi tergantung kepada : macam antena yang diukur, ketelitian yang disyaratkan, waktu , dan dana yang tersedia.

G. Pengukuran Polarisasi Antena



(Polarization pattern method)



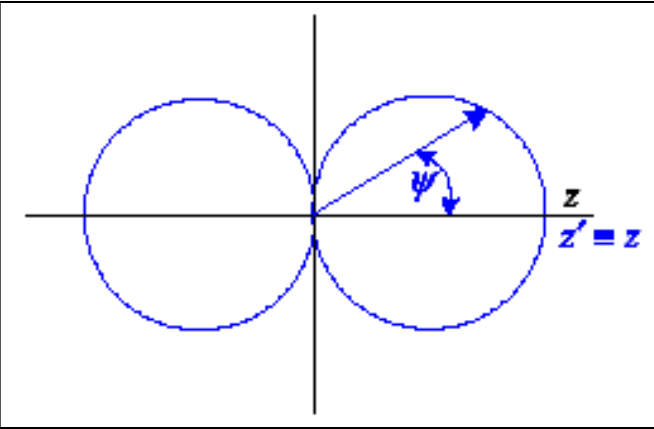
(Axial ratio pattern method)

Axial ratio pattern method termasuk salahsatu dari metoda parsial.

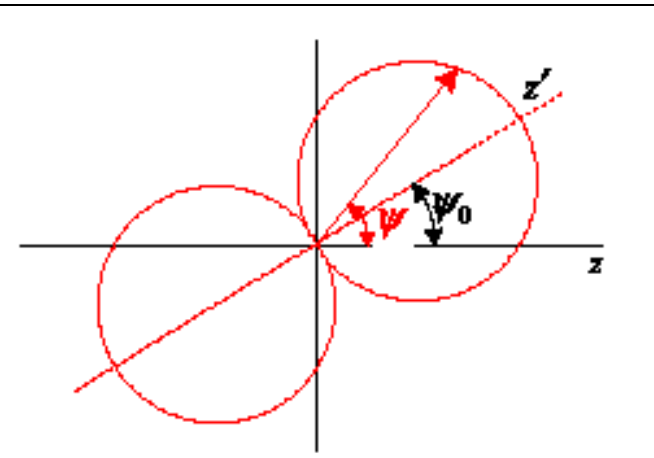
- Salah satu metoda parsial yang cukup populer adalah **Polarization-Pattern Method** yang menghasilkan parameter polarisasi ellips (*axial ratio* dan *tilt angle*)
- Pada metode ini, AUT dapat berada pada receiving mode atau transmitting mode. Sedangkan probe harus terpolarisasi linear (misalnya : dipole) dan pola pancarnya sudah diketahui dengan baik.
- Arah radiasi dispesifikasikan oleh sudut (θ dan ϕ)
- Sinyal pada output probe tergantung dari 2 faktor, yaitu : (1) **Polarisasi antena** , dan (2) **Sudut rotasi probe**.
- **Level sinyal** diukur dan direkam, **versus sudut rotasi**. Sehingga pola polarisasi didapatkan dengan memperhatikan arah radiasi.

G. Pengukuran Polarisasi Antena

• Polarisasi Linear



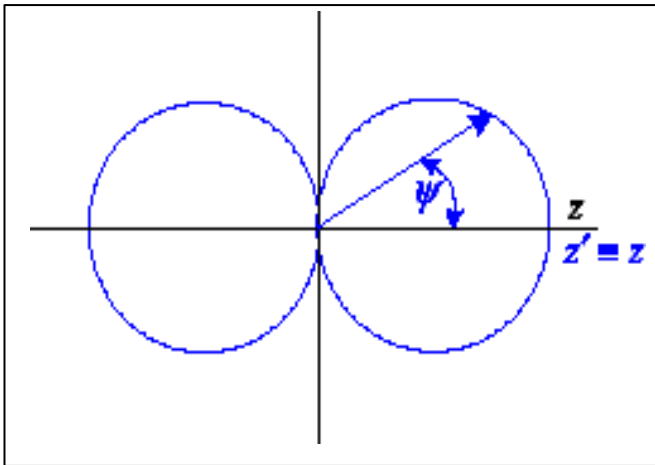
Misalkan probe terpolarisasi linear sepanjang sumbu-z, dan radiasi antena diasumsikan pada sumbu-z', maka hasil pengukuran pada gambar disamping ini memperlihatkan bahwa **AUT terpolarisasi linear**



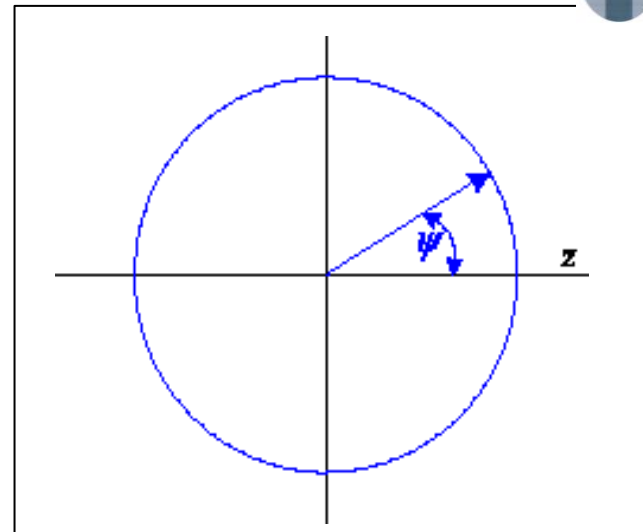
Polarization-pattern method
tidak memberikan informasi
mengenai arah rotasi

G. Pengukuran Polarisasi Antena

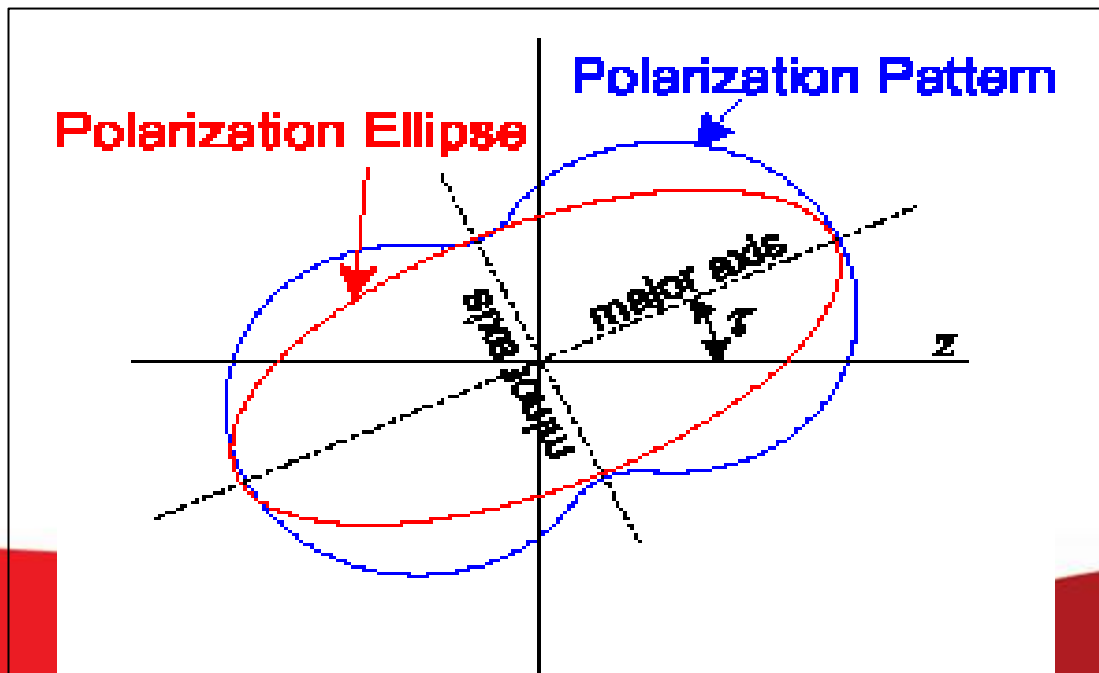
- **Polarisasi Linear**



- **Polarisasi Sirkular**

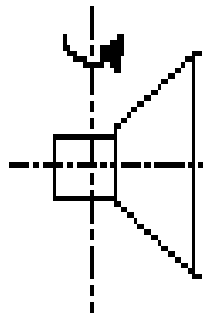


- **Polarisasi Eliptik**



G. Pengukuran Polarisasi Antena

AUT axis of rotation



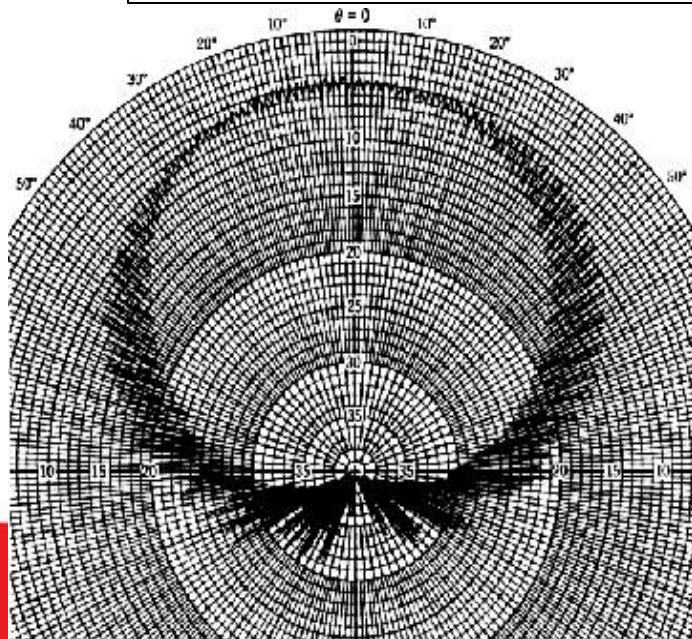
Test Antenna

probe axis of rotation



Rotating Probe

Axial ratio - pattern method termasuk salah satu dari metoda parsial.



Contoh hasil pengukuran polarisasi. Gambar menunjukkan polarisasi mendekati polarisasi sirkular

- **Temperatur antena** menyatakan daya derau yang diterima antena, yaitu :

$$T_A = \frac{W_n}{k B_N}$$

Dimana,

T_A Temperatur antena , (°K)

W_n Daya derau yg diperoleh dari terminal antena penerima

k Konstanta Boltzman, ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Joule / °K)

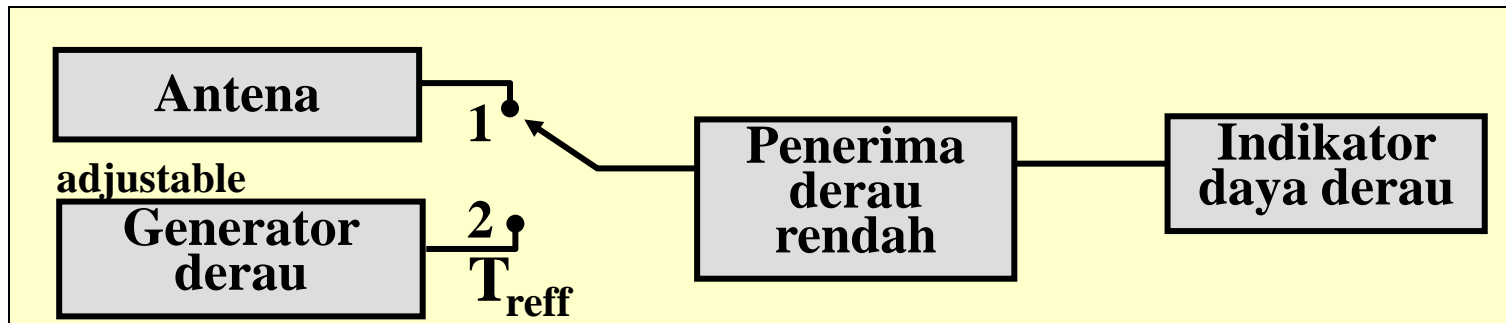
B Lebar bidang frekuensi sistem

- **Karena** derau yang diterima antena bergantung kepada arah antena, maka pada pengukuran temperatur antena lobe utama diarahkan kepada arah / zenith yang “kosong” atau sumber derau yang besar (mis. matahari, pusat galaksi, dll) tidak terletak pada lobe utama antena

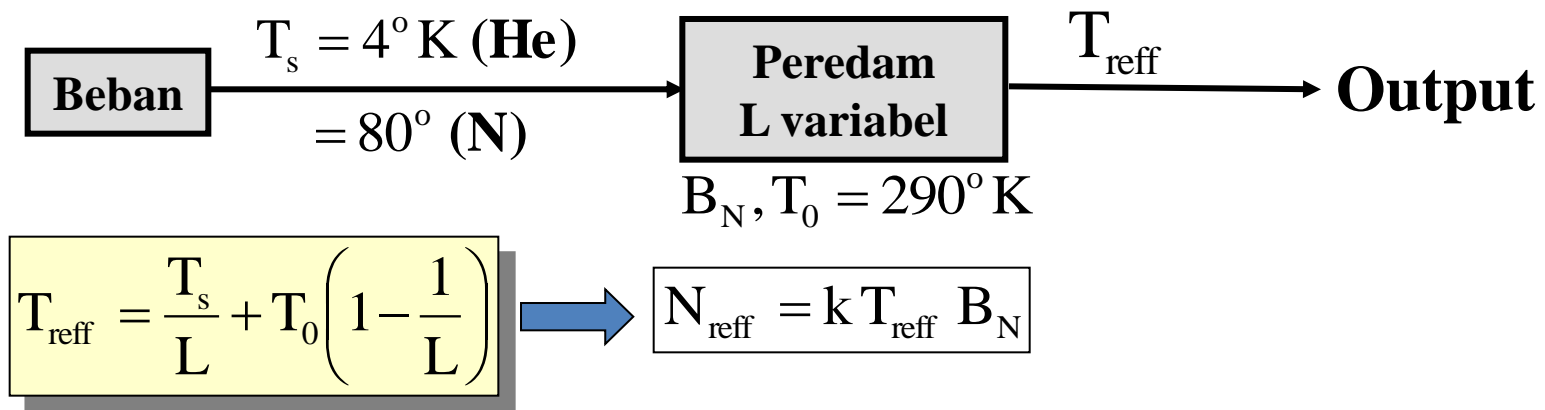
H. Pengukuran Temperatur Antena

H. Pengukuran Temperatur Antena

Metoda pengukuran dapat dilihat sebagai berikut. Disini generator derau sebagai pembanding. Pembacaan indikator dibuat sama, dalam keadaan penerima terhubung ke antena dan ke generator derau. Yaitu saklar **S** pada posisi 1 dan 2, sehingga : **Temperatur antena = Temperatur generator derau**



Adjustable Noise Generator



Jika, $1 < L < \infty$, maka $T_s < T_{\text{reff}} < T_0$

**Sudah Pusing?..., kalau belum,
Mari kita lanjutkan.....**



Questions?



