

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Saluran Transmisi Telekomunikasi

saluran transmisi (penghantar) yaitu menyalurkan sinyal atau informasi dari satu titik (pengirim) ke titik lainnya (penerima), dan juga menjaga keutuhan sinyal tersebut.[4] Saluran transmisi merupakan setiap bentuk hubungan secara listrik, baik berupa kawat penghantar, kabel dan lain-lain yang menghubungkan suatu sumber sinyal ke beban. Jika sepasang kawat penghantar itu dianggap terlalu panjang, maka dapat mengekivalenkan penghantar tersebut sebagai sekumpulan induktor dan kapasitor.[10]

media transmisi dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

1. Media fisik : adalah kabel (wired), yang lebih umum disebut dengan saluran transmisi (transmission line)
2. Media non-fisik : merupakan udara (yang lebih dikenal dengan wireless)

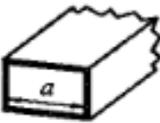
saluran transmisi berfungsi sebagai berikut:

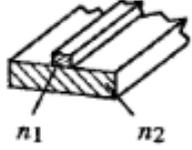
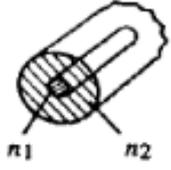
- a. Saluran Informasi (sinyal)
- b. Sebagai Induktor
- c. Sebagai Kapasitor
- d. Sebagai Resonator
- e. Sebagai Transformer
- f. Sebagai Insulator (VHF)

Untuk frekuensi yang lebih tinggi lagi (gelombang mikro), digunakan saluran khusus yang dikenal sebagai “Pemandu Gelombang” (Wave Guides).[4]

2.2 Jenis Media Saluran Transmisi

Tabel 2. 1 jenis saluran transmisi, bentuk dasar, penggunaan serta frekuensi kerja

Tipe	Bentuk	Penggunaan	Besaran sinyal	Frekuensi kerja
Kabel paralel ganda	<p><i>unshielded</i></p>  <p><i>shielded</i></p> 	Transmisi energi dan sinyal	Menggunakan arus dan tegangan	Frekuensi kerja dari nol sampai tak terhingga. Tetapi ke atas dibatasi oleh peredaman yang sangat tinggidan munculnya higher order modes (gelombang pengganggu)
Kabel koaxial		Transmisi energi dan sinyal serta elemen rangkaian		
Penghantar pipih (strip line)		Transmisi sinyal dan elemen rangkaian		
Penghantar multi konduktor (tiga fasa)		Transmisi energi		
Waveguide		Transmisi sinyal dan elemen rangkaian	Medan listrik dan magnet. Arus dan tegangan tak bermanfaat	Mulai frekuensi cut off tertentu

Penghantar dielektris pipih		Elemen rangkaian dan penyambung optik	Medan listrik dan magnet. Arus dan tegangan tak bermanfaat	Secara teoritis untuk semua frekuensi
Fiber optics		Transmisi sinyal optik	Medan listrik dan magnet. Arus dan tegangan tak bermanfaat	Secara teoritis untuk semua frekuensi

2.3 Kabel Coaxial RG58(Coaxial Line)

saluran tidak seimbang (*unbalanced line*), dimana salah satu kawat penghantarnya digunakan sebagai pelindung bagi kawat penghantar yang lain dalam satu sumbu yang sama. Kabel koaksial RG58A / U 50 Ohm cocok untuk aplikasi daya rendah dan dalam rentang frekuensi yang lebih rendah, Seperti Komunikasi UHF pada CB 477MHz.[7]



Gambar 2.1 Kabel Coaxial RG58 A/U

Inti konduktor berupa serabut tembaga dalam 19 untaian , masing-masing 0.18mm. Bahan polyethylene dielektrik (PE) menjadi isolator dari inti konduktor. Di lapisan berikutnya adalah keping tembaga sebagai penghantar luar dan pada lapisan paling luar berupa jaket PVC, 4.95mm.

Spesifikasi Teknik :

- Minimum bengkokan pada radius 12.7mm dengan berat 3kg per 100 meter.
- Suhu Operasional -40 ° C sampai +85 ° C

Spesifikasi listrik :

- Impedansi 50 Ohm
- Nominal Kapasitansi 93,5 pF / m
- Kecepatan perambatan 66% Di bawah ini tabel respon frekuensi yang mengakibatkan pelemahan sinyal untuk setiap 100 meter kabel koaksial RG58 A/U[7]



Gambar 2.2 konektor N dan Konektor SMA

Konektor tipe N 50 Ohm Bekerja pada frekuensi 12 GHz atau lebih dan SMA 3,5 mm atau APC - 3.5 , WSMA , 2.92 mm. Bekerja pada frekuensi 12 GHz atau lebih. SMA (miniatur A) konektor dirancang oleh Bendix Scintilla Corporation dan merupa kan salah satu yang paling umum digunakan konektor RF / microwave.[7]

2.3.1 *Velocity Kabel RG*

Memang pada dasarnya *Coaxial* / kabel antenna akan *Match* atau resonansi pada frekuensi kerjanya apabila kabel tersebut mempunyai panjang dari kelipatan $1/2$ Lamda dari frekuensi kerjanya. Jika panjang kabel tersebut tidak sesuai dengan frekuensi kerjanya, maka anda akan mengalami kesulitan dalam usaha Macthing antenna. Nah di bawah ini merupakan Data *Velocity Factor* (Vf) Kabel Antena.

Kecepatan Faktor / *Velocity* (VF) Kabel Koaksial

CABLE COAXIAL	VF
RG-6/U PE (Belden 8215)	66.0
RG-6/U Foam (Belden 9290)	81.0
RG-8/U (PE (Belden 8237)	66.0
RG-8/U Foam (Belden 8214)	78.0
RG-8/U (Belden 9913)	84.0
RG-8X (Belden 9258)	82.0
RG-11/U Foam HDPE (Beld. 9292)	84.0
RG-58/U PE (Belden 9201)	66.0
RG-58A/U Foam (Belden 8219)	73.0
RG-59A/U PE (Belden 8241)	66.0
RG-59A/U Foam (Belden 8241F)	78.0
RG-174 PE (Belden 8216)	66.0
RG-174 Foam (Belden 7805R)	73.5
RG-213/U (Belden 8267)	66.0
LDF semua ver	88.0 dikenal dengan kabel <i>HELIAX</i>

(λ) adalah $C / \text{Freq} \times VF$ dimana C adalah Kecepatan rambat cahaya diruang hampa = $3 \cdot 10^8$, atau lebih mudahnya kita tuliskan nilai 300 dengan nilai Frekuensi dalam satuan MHZ untuk mempermudah dan menyederhanakan dalam menghitung panjang gelombang, Frekuensi kerja yang dimaksud dan VF adalah nilai faktor Kabel *Coaxial* dimana kecepatan rambat gelombang elektromagnetik pada kabel tentunya tidak sama pada setiap jenis kabel *coaxial*. Mengetahui karakter kabel *coaxial* yang kita gunakan sebagai penghantar transmisi ke antenna sangat diperlukan sekali karena pengaruhnya sangat besar terhadap daya pancar *transciever* yang akan dipergunakan. Setiap masing masing dari kabel akan

memiliki kerugian yang berbeda, semakin panjang kabel *coaxial* semakin besar kerugiannya dan semakin tinggi frekuensi semakin besar kerugian (biasanya dikenal dengan *matched loss* dengan ukuran db). *Transciever* dengan daya pancar 100 watt akan terpancarkan di antenna mungkin hanya 70 watt , 30 watt adalah kerugian yang dapat ditimbulkan oleh tipe kabel, tidak matchingnya kabel dan antenna pada frekuensi yang dipergunakan.

Untuk memaksimalkan daya pancar *transciever* hal yang harus anda perhatikan :

1. Tipe kabel yang akan dipergunakan.
2. Frekuensi dimana anda akan bekerja.
3. Antenna
4. *coaxial* dengan bahan isolator (antara *inner conductor* dengan *outer braid*) jenis foam/foamed lebih bagus dari pada jenis solid. *Line losses*nya lebih rendah.
5. *coaxial* dengan diameter yang lebih besar lebih baik (tapi lebih mahal) dibanding yang kecil. *Losses*nya lebih rendah.
6. *coaxial* dengan anyaman *conductor* luar (*braid*) yang lebih rapat, lebih baik (tapi lebih mahal) dibanding dengan yang *braid*nya jarang.
7. *coaxial* dengan merk terkenal umumnya lebih baik kualitasnya.
8. Kalau bisa hindarilah membeli *coaxial* bekas pakai.
9. Jangan pakai *coaxial* yang kulit (*jacket*) nya sudah retak-retak, atau sobek (kena cutter), tergerus atau *braid*nya putus-putus. Juga jangan pakai *coaxial* yang sudah tertekuk atau ada bekas terjepit.

2.3.2 Mengukur Panjang Kabel

Pilih kabel dengan impedansi 50 ohm dan *Velocity Factor* (VF)-nya tinggi. Semakin tinggi VF semakin kecil kerugian pada kabel. Setelah memilih kabel, harus men-trim/load kabel tersebut agar matching di frekuensi dimana akan bekerja. Mengukur panjang kabel bisa dapat menggunakan alat SWR atau NanoVNA dan apabila terdapat keterbatasan alat untuk mengukur panjang kabel juga dapat menggunakan teori, antara lain :

- **Cara pertama**

Panjang kabel : $(300/\text{frekuensi}) \times \text{velocity coaxial} \times \text{kelipatan bilangan ganjil}$

Contoh :

Frekuensi di 100 Mhz pakai kabel rg 58 kabel yang tersedia 14 meter :

$$(300/100) \times 0.66 \times 5 = 9.9 \quad (\text{terlalu panjang motongnya})$$

$$(300/100) \times 0.66 \times 7 = 13.86. \quad (\text{paling mendekati 14 meter})$$

Untuk jumpernya masih bisa pakai rumus yang sama.

Misal pakai RG8 yang tengahnya serabut maka $((300/100)/2) \times 0.66 = 99\text{cm}$

Secara teori panjang *coaxial* untuk jumper maka $1/2 \lambda \times \text{velocity}$, misal RG8 tengahnya serabut, frekuensi 100Mhz maka $((300/100)/2 \times 0.66)$ hasilnya 99cm bila dikalikan 30 maka menghasilkan 29.70 m, tetapi pada kenyataannya mungkin lebih atau kurang dari 29.7 m

Bisa saja jadi 29.55m atau 29.80m, mengingat *coaxial* tersebut belum tentu flat impedansinya dari ujung sampai dengan ujung.

Rumus tersebut berlaku untuk semua jenis *coaxial* apa saja.

- **Cara kedua**

Dengan cara mengukur panjang kabel berdasarkan kelipatan genap dari $1/4 \lambda$ (untuk kabel baru) :

misalnya : kabel *coaxial* Belden 9913 dengan VF 84% pada frekuensi 143.500 MHZ

$$(75/\text{frekuensi}) \times \text{VF} = \dots\dots\dots \text{meter}$$

$$(75/143.500 \text{ MHz}) \times 0,84 = 0,4390 \text{ m}$$

Anda memiliki ketinggian antenna 18 m dan dari tiang antenna ke radio anda dibutuhkan 4 m, berarti panjang kabel yang diperlukan adalah 22 meter, panjang kabel dengan matched loss-nya kecil adalah :

$$0,4390 \times 50 = 21,95 \text{ m}$$

Angka 50 adalah kelipatan terdekat dengan panjang kabel yang ada (22 meter). Setelah kabel tersebut telah anda potong sepanjang 21,95 m pasanglah konektor pada kedua ujung kabel (solder secara permanen salah satu ujung kabel

yang telah terpasang konektor, sedangkan ujung yang satunya lagi jangan disolder permanen, gunanya untuk mempermudah pemotongan kabel).

- **Cara ketiga**

Dengan cara mengukur panjang kabel berdasarkan kelipatan ganjil dari $1/2 \lambda$ (untuk kabel baru). Kalikan dengan angka ganjil sehingga panjang nya sesuai dengan kabel yang ada.

$$(150/143.500 \text{ MHz}) \times 0,84 = 0,8777$$

misalnya kabel yang ada adalah 22 meter, maka $22/0,8777=25,06551$

Maka ganjil terdekat adalah 25. Potong kabel pada panjang $0,8777 \times 25 = 21,94$ meter.

Untuk *mengematchkan* kabel *coaxial* bisa juga dengan pemancar. Caranya sebagai berikut :

- a. Siapkan pemancar 5 watt
- b. Kabel jumper yang sudah diukur pada frekuensi yang diinginkan
- c. Ujung jumper masuk ke pemancar dan ujungnya lagi masuk ke Input SWR
- d. *Output* SWR tutup dengan *conector* T dan salah satu ujung *conector* T tersebut tutup dengan *dumy load* tanpa jumper
- e. Ke ujung satu lagi *connector* T masukan kabel transmisi dan dip (potong) ujungnya sedikit-sedikit sampai dengan SWR rendah.

2.3.3 Mengukur (Menguji) & Memasang Kabel Coaxial

1. Siapkan sebuah Ohm-meter/Multimeter. Stel tombol selectornya pada posisi pengukur tahanan/resistansi dengan range tertinggi (misalnya X 100 k).
2. Kedua ujung *coaxial* dalam keadaan terlepas (tidak tersambung ke antenna, transmitter, dummy load atau SWR meter). Ukur tahanan diantara inner & outer. Tahanan / resistansi harus menunjukkan tidak terbatas (besar sekali / infinity). Jika tahanan yang terukur besarnya hanya beberapa ribu atau beberapa ratus ohm saja, maka periksalah di sekitar kedua ujung kabel. Periksa solderan pada connector maupun bagian serabut braidnya. Kemungkinan ada “satu dua” utas

serabutnya yang terhubung singkat / shorted ke inner *conductor*. Perbaiki ulang pemasangan *connector* tsb.

3. Jika pengukuran antara inner dan outer sudah memberikan hasil yang bagus, maka sekarang pindah tombol ohm meter ke range pengukuran terendah ($\times 1$). Kemudian silahkan ukur tahanan antara kedua ujung *coaxial*, keduanya sama-sama pada bagian innernya. Tahanannya harus terukur mendekati 0 (nol) ohm atau kurang dari 1 ohm.

4. Lakukan pengukuran dengan cara yang sama, tapi kali ini antara outer disalah satu ujung kabel dengan outer diujung lainnya. Tahanannya juga harus kurang dari 1 ohm.

5. Pengukuran berikutnya dilakukan dengan merangkaikan/memasang semua sistem yaitu TX – SWR meter – kabel *coax/line* – *Dummy load* (SWR terbaca 1:1).

2.4 Medan Elektromagnetik Saluran Transmisi Telekomunikasi

Medan listrik dan medan magnet akan selalu saling tegak lurus satu sama lain, dan gabungan anatara kedua medan tersebut dinamakan medan elektromagnetik. Tegangan, arus dan medan elektromagnetik saling memiliki pengaruh secara timbal balik satu sama lain, sehingga bila pada medan elektromagnetik mengalir mengikuti suatu kawat penghantar, serta bila karena sesuatu hal tegangan berubah, maka medan elektromagnetik akan mengikuti perubahan itu.

2.4.1 Impedansi Karakteristik

impedansi yang diukur diujung saluran transmisi yang panjangnya tak berhingga. Bila daya dirambatkan pada saluran transmisi dengan panjang tak berhingga, maka daya itu akan diserap seluruhnya di sepanjang saluran sebagai akibat bocornya arus pada kapasitansi antar penghantar dan hilangnya tegangan pada induktansi saluran. Besar impedansi karakteristik suatu saluran transmisi berbeda-beda dan nilainya ditentukan oleh ukuran fisik penampang dan bahan dielektrik yang digunakan sebagai isolator.[5] Impedansi karakteristik saluran tanpa rugi-rugi diberikan dengan persamaan berikut :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Dimana :

L = induktansi per satuan panjang (H/m)

C = kapasitansi per satuan panjang (F/m)

Berdasarkan pengukuran, impedansi karakteristik dinyatakan sebagai impedansi yang diukur di ujung suatu saluran transmisi dengan menganggap panjang saluran itu tak berhingga. Untuk kondisi ini, maka pemasangan beban sebesar Z_0 di ujung lain dari saluran dengan panjang berhingga tidak akan menimbulkan efek. Pada kondisi ini, impedansi karakteristik saluran transmisi dapat diperoleh dari perbandingan tegangan maju dan arus maju yang menuju ke beban pada ujung tak terhingga.[10]

$$\text{Impedansi karakteristik } (Z_0) = \frac{\text{Tegangan Maju}}{\text{Arus Maju}}$$

2.4.2 Panjang Gelombang

Panjang gelombang dari suatu gelombang elektromagnetik berbanding lurus dengan harga cepat rambat. Bila suatu sinyal frekuensi tinggi merambat pada suatu saluran transmisi dengan bahan dielektrik k , maka panjang gelombangnya akan tergantung juga pada harga k dari bahan dielektrik saluran menurut hubungan.[10]

$$\text{Panjang gelombang (meter)} = \frac{300 \times 10^6}{\sqrt{k \times \text{frekuensi(HZ)}}$$

Berikut adalah persamaan untuk menghitung panjang gelombang :

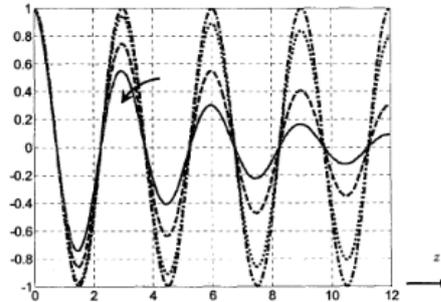
$$\lambda = \frac{C}{f}$$

Dimana :

C = kecepatan cahaya, yaitu 3×10^8 (m/s)

F = Frekuensi (Hertz)

2.4.3 Perambatan Gelombang



Gambar 2. 3 Bentuk sinyal-sinyal yang merambat pada suatu saluran transmisi yang mengandung kerugian yang berbeda-beda untuk α yang membesar

Gambar 2.3 menunjukan distribusi tegangan di bagian pertama di sepanjang kawat pada suatu titik bagian tertentu m misal pada t_0 ,

$$v_1(t = t_0, z) = \hat{V}_1 \cdot e^{-\alpha z} \cdot \cos(\omega t_0 - \beta z + \psi_1)$$

dengan membesarnya z , besar amplitudo secara monoton eksponensial mengecil dikarenakan faktor $e^{-\alpha z}$. jika nilai α membesar maka amplitudo tegangan akan dengan cepat mengecil, sehingga konstanta α dinamakan konstanta peredaman.[5]

Dalam cabang ilmu fisika, ada satu istilah yang dikenal dengan gelombang atau perambatan gangguan oleh air ke tepian. Misalnya suatu tetesan kecil di permukaan air yang tenang akan menimbulkan gangguan terhadap air tersebut. Menurut Prof. Yohanes Surya, Ph.D dalam bukunya yang berjudul *Getaran dan Gelombang* (2009), gangguan didefinisikan sebagai perambatan energi yang berpindah satu tempat ke tempat lainnya tanpa menyeret materi yang dilewatinya.

Untuk menghitung kecepatan jarak yang ditempuh oleh gelombang dalam setiap waktunya, dapat menggunakan rumus sebagai berikut yang dikutip dari buku *Kumpulan Rumus Fisika SMP* oleh Joni Zulkarnain.

$$v = \lambda / T \text{ atau } v = \lambda \times f \text{ atau } v = s / t$$

dimana :

V = cepat rambat gelombang (m/s²)

λ = panjang gelombang (m)

T = periode (s)

f = frekuensi (Hz)

s = jarak (m)

t = selisih waktu (s)

2.5 Refleksi dan faktor refleksi

Jika suatu sumber (generator) mengirimkan gelombang ke beban melalui suatu saluran transmisi, maka akan terjadi dua kemungkinan pada saat gelombang tersebut sampai pada beban, yaitu diterminasi di beban atau direfleksi (dipantulkan) lagi oleh beban ke sumber. Besarnya sinyal yang kembali menuju sumber ini tergantung pada bagaimana ketidaksamaan antara impedansi karakteristik saluran terhadap impedansi beban. Perbandingan level tegangan yang datang menuju beban dan yang kembali ke sumbernya lazim disebut koefisien refleksi dan dinyatakan dengan simbol Γ . Harga koefisien refleksi ini dapat bervariasi antara 0 (tanpa pantulan) sampai 1, yang berarti sinyal yang datang ke beban seluruhnya dipantulkan kembali ke sumbernya.[10]

$$r = \frac{V_{refleksi}}{V_{maju}}$$

Hubungan antara koefisien refleksi, impedansi karakteristik dan impedansi beban dapat ditulis:

$$r = \frac{Z_l - Z_o}{Z_l + Z_o}$$

Dimana : Z_o = impedansi karakteristik saluran (Ω) , Z_L = impedansi beban (Ω)

2.5.1 Kasus beban matching

Sebuah sumber listrik dihubungkan dengan saluran transmisi yang memiliki impedansi gelombang Z_o yang pada ujung saluran transmisi ini dihubungkan sebuah beban dengan nilai impedansinya sama dengan impedansi gelombang saluran transmisi tersebut $Z_L = Z_o$. Dengan menggunakan hukum Ohm maka perbandingan tegangan dan arus pada posisi beban diberikan persamaan berikut :

$$\frac{V_e}{I_e} = Z_l = Z_o \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

V_e = Tegangan pada posisi beban (volt)

I_e = Arus pada posisi beban (Ampere)

Z_L = Impedansi Beban (Ohm)

Z_o = Impedansi Karakteristik (Ohm)

Sehingga :

$$V(z) = V_e \cdot e^{\gamma(l-z)} = V_e \cdot e^{\gamma l} \cdot e^{-\gamma z}, \text{ dan} \quad (2.2)$$

$$I(z) = \frac{V_e}{Z_o} \cdot e^{\gamma(l-z)} = \frac{V_e}{Z_o} \cdot e^{\gamma l} \cdot e^{-\gamma z} \quad (2.3)$$

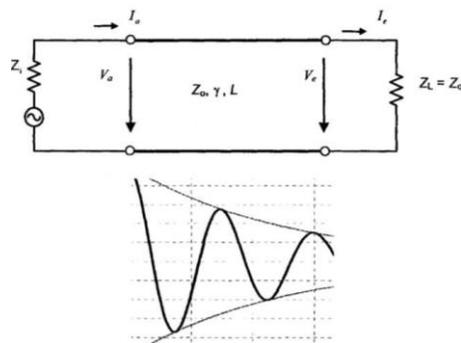
Dimana :

V_1 = Tegangan Integrasi positif (volt)

V_2 = Tegangan Integrasi negatif (volt)

$V(z)$ = Tegangan Impedansi (volt)

$I(z)$ = Arus Impedansi (volt)



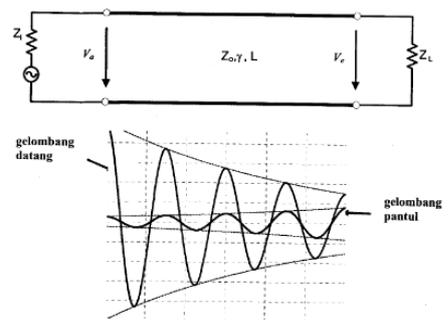
Gambar 2. 4 Saluran Transmisi dan Impedance Matching

Jadi kasus matching hanya memiliki sebuah gelombang yang merambat ke arah beban, tak ada gelombang yang ter-refleksi balik. Gelombang ini merambat keluar dari sumber energi. Impedansi beban menyerap semua energi yang datang kepadanya tanpa sedikitpun terpantulkan. Gelombang yang merambat di dalam saluran transmisi, selalu melihat impedansi yang besarnya adalah impedansi gelombang dari saluran itu, yang secara matematis diformulasikan dengan perbandingan tegangan arus di sana adalah Z_o . Jika pada

ujung akhir saluran transmisi dipasangkan sebuah impedansi beban yang besarnya sama dengan besar impedansi saluran transmisi, maka gelombang tetap melihat impedansi yang sama pada ujung akhir saluran tersebut, gelombang itu melihat beban sebagai keberlanjutan dari saluran transmisi, sehingga saluran transmisi memiliki panjang yang tidak terhingga dan semua energi tersalurkan ke sana.[5]

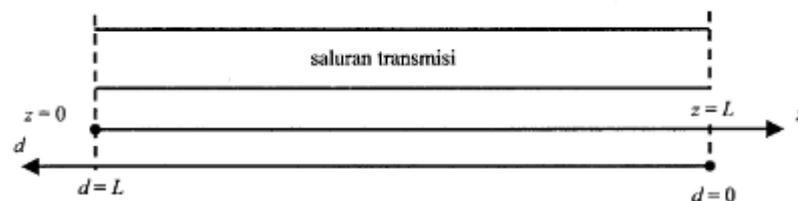
2.5.2 Kasus Beban Secara Umum

Pada kasus pembebanan secara umum ($Z_L \neq Z_0$) akan terbentuk gelombang tegangan dan arus yang direfleksikan oleh beban, balik kembali kearah sumber seperti pada gambar 2.5



Gambar 2. 5 gelombang datang dan gelombang pantul (amplitudo yang lebih kecil) secara umum, pada suatu momen waktu tertentu

2.5.3 Pola gelombang berdiri (Standing Wave Pattern)

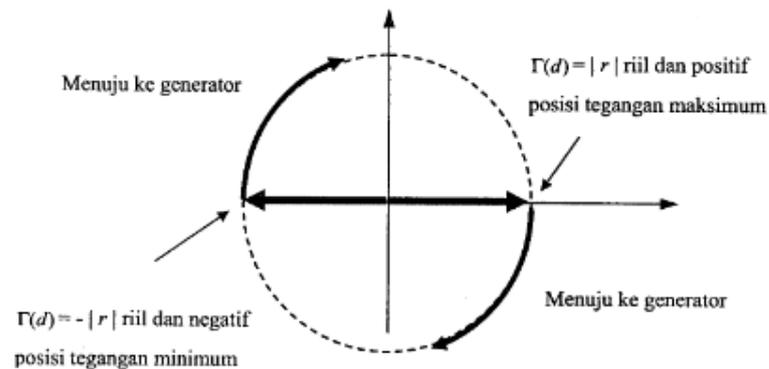


Gambar 2. 6 Hubungan kordinat d (berawal di ujung akhir saluran transmisi) dengan koordinat z (berawal di ujung awal saluran transmisi)

Pola gelombang berdiri memberikan gambaran akan selubung atas dari tegangan dan arus yang merupakan fungsi waktu, yang berisolasi sepanjang saluran transmisi. Dengan kata lain, pola gelombang berdiri memberikan nilai

maksimum yang bisa dicapai tegangan dan arus disetiap titik pada saluran transmisi. Pola ini memberikan gambaran interferensi gelombang secara jelas, dengan menunjukkan posisi maksimum dan minimum yang terjadi secara berulang disetiap jarak setengah panjang gelombang, maksimum dan minimum disebabkan oleh interferensi konstruktif dan destruktif antara gelombang datang dan refleksi.

Pola gelombang tegangan berdiri pada dua kasus khusus open dan short :

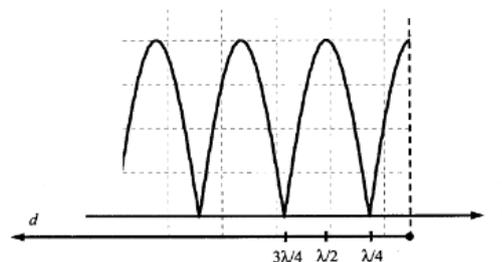


Gambar 2. 7 posisi tegangan maksimum dan minimum dibidang Gauss kompleks

Beban terbuka (open) : $r = 1$ ($|r| = 1$ dan $\varphi_r = 0$)

Dengan $|r| = 1$ tegangan maksimum adalah $|V(d)|_{\max} = |Z \cdot I_e|$ dan tegangan minimum $|V(d)| = 0$.

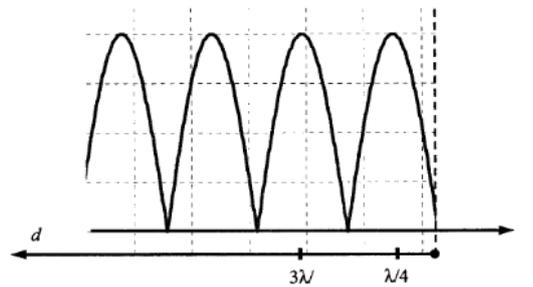
Pada beban ($d = 0$), pola gelombang tegangan berdiri akan maksimum, menuju ke generator, pola tegangan akan mengecil, dan minimal pada pola $d = \lambda / 4$ (setengah putaran), kembali membesar, dan maksimal pada $d = \lambda / 2$ (satu putaran penuh).



Gambar 2. 8 pola gelombang tegangan berdiri pada beban open

Beban hubungan singkat (short) : $r = -1$ ($|r| = 1$ dan $\varphi = \pi$)

Dengan $|r| = 1$ tegangan maksimum dan minimum sama seperti kasus di atas.



Gambar 2. 9 pola gelombang tegangan berdiri pada beban short

Selain menggunakan faktor refleksi gelombang pantul, ada besaran lain yang dipergunakan untuk mengkuantifikasikan fenomena pantulan ini, yaitu VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), sebagai perbandingan tegangan maksimal dengan tegangan minimal.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|r|}{1-|r|} \dots\dots\dots (2.12)$$

Atau

$$|r| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \dots\dots\dots (2.13)$$

Tabel 2. 2 Hubungan Faktor Refleksi dan VSWR

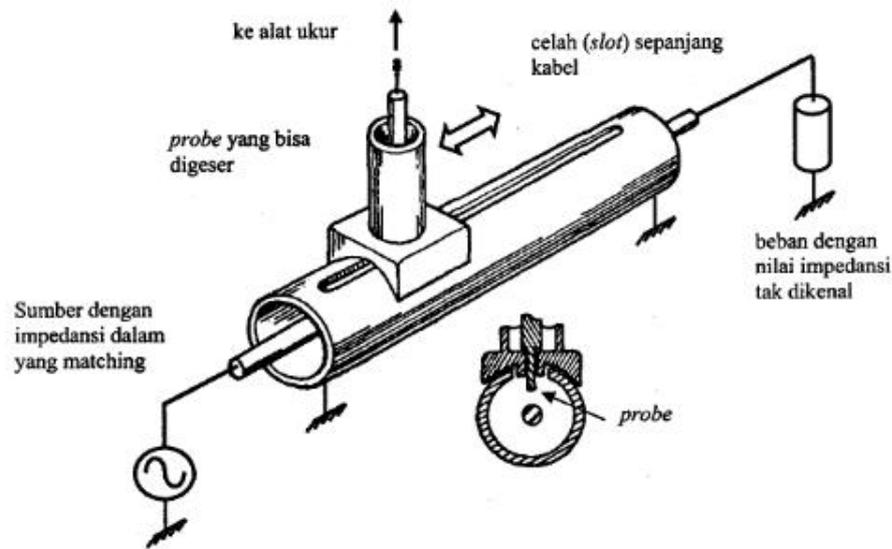
(Sumber: Mudrik, 2009)

r	return loss	VSWR	Keterangan
0	Tak hingga	1	<i>Matching</i>
1	0 Db	Tak hingga	Open/short
0,1	20 Db	1,222	Refleksi kecil
0,9	0.92 Db	19	Refleksi besar

|r| mempunyai nilai yang bervariasi dari 0 sampai 1, *return loss* mempunyai nilai minimal 0 dB dan maksimal tak terhingga, sedangkan VSWR mempunyai nilai terendah 1 dan bisa membesar tak terhingga.[6]

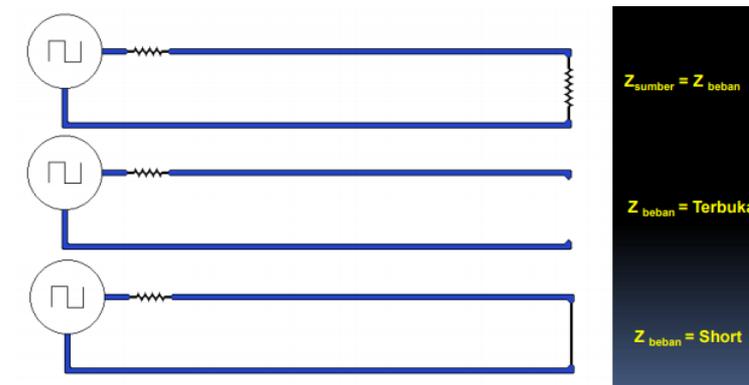
2.5.4 Pengukuran dengan 'slotted line'

Beban yang matching akan menyerap gelombang yang datang secara sempurna, tak ada sedikit pun yang di refleksikan kembali ke sumber. beban lain secara umum akan membangkitkan gelombang refleksi yang bersama dengan gelombang datang akan menghasilkan pola gelombang berdiri di sepanjang saluran transmisi, yaitu variasinya telah di bahas dibagian sebelumnya.



Gambar 2. 10 pengukuran pola gelombang berdiri sepanjang kabel koaxial

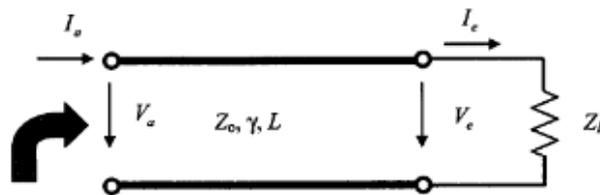
Gambar 2.10 menunjukkan struktur pengukuran pola gelombang berdiri sepanjang kabel koaxial yang bercelah (*slotted line*). Sebuah mental tipis seperti jarum (*probe*) yang dimasukkan kedalam kabel *coaxial* melalui celah yang tipis , bertugas untuk men-sampel tegangan (sebenarnya medan listrik) yang ada dalam saluran transmisi. Untuk mengukur besar tegangan di sepanjang saluran transmisi, dibuat celah yang tipis yang panjang (minimal sebesar satu kali panjang gelombang), sehingga probe bisa digeser dan didapatkan pola gelombang berdiri yang lengkap dengan beberapa maksimum dan minimum.[5]



Gambar 2. 11 Hubungan antara beban dan sumber disimulasikan pada *simulator*

2.6 Impedansi Masukan (Input Impedansi)

Suatu saluran transmisi dengan impedansi karakteristik Z_0 dihubungkan dengan beban dengan impedansi Z_L seperti pada gambar 2.12, maka impedansi terukur pada jarak l dari beban mempunyai harga tertentu. Dengan memasang sebuah beban dengan besar Z_L pada akhir dari saluran transmisi, yang dengannya berlaku hukum ohm $V_e = I_e \cdot Z_L$



Gambar 2. 12 impedansi masukan pada suatu saluran transmisi

Impedansi masukan didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dan arus pada awal dari saluran transmisi.

Dengan beban Z_L pada akhir saluran transmisi, berlaku $V_e = I_e \cdot Z_L$ [5]

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \frac{Z_L \cdot \cosh(\gamma \cdot L) + Z_0 \cdot \sinh(\gamma \cdot L)}{Z_0 \cdot \cosh(\gamma \cdot L) + Z_L \cdot \sinh(\gamma \cdot L)}$$

Impedansi antenna dalam suatu titik di elemen antenna adalah perbandingan antara tegangan terhadap arus di titik itu. Nilai impedansi ini tergantung dari sifat resistif, kapasitif, induktif, dan frekuensi yang digunakan. Satuan yang digunakan adalah ohm, yang disimbolkan dengan Z . [13]

Impedansi masukan antenna terdiri dari komponen reaktansi dan resistansi, sehingga dapat dituliskan Persamaan :

$$Z_{in} = R_A + jX_A$$

Dimana,

R_A merupakan tahanan antena [(daya disipasi) rugi-rugi ohmic + radiasi]

X_A merupakan reaktansi antena [(energi yang tersimpan) medan dekat antena].

Untuk memaksimalkan pemindahan daya dari atau ke antena diperlukan rangkaian penyesuaian impedansi (matching impedance) untuk menghilangkan komponen reaktansi. Komponen reaktansi perlu dihilangkan karena memberikan daya semu dalam bentuk rugi-rugi hamburan. Apabila rangkaian penyesuaian impedansi mampu menghilangkan komponen reaktansi, maka impedansi antena merupakan beban murni bagi saluran transmisi.[13]

Daya total yang disuplai ke antena adalah :

$$P_t = I^2 \times R_A$$

Keterangan :

P_t = daya input antena (W)

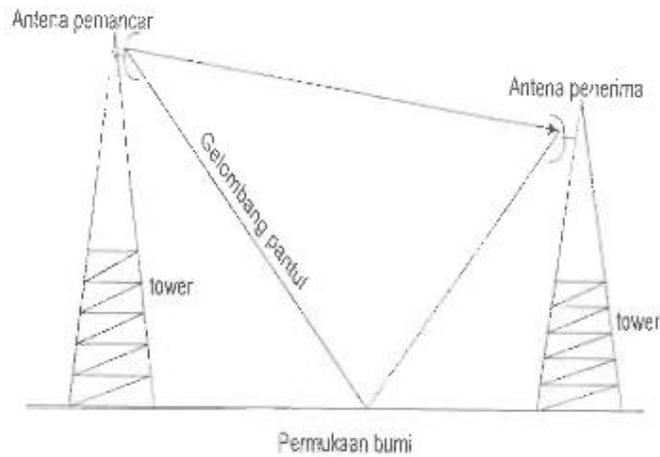
I = arus RMS dalam terminal antena (A)

R_A = Resistansi terminal masukan (Ω)

2.7 Ketinggian Lengkung Bumi Pada Antena

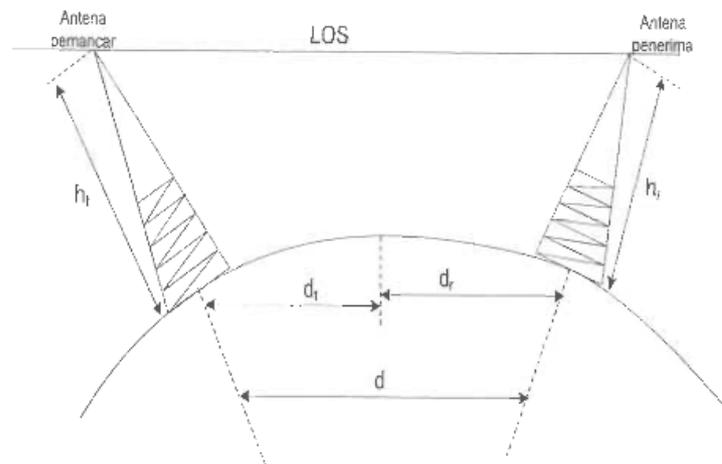
Propagasi adalah proses perambatan radio dengan menggunakan udara sebagai media rambatnya. Gelombang elektromagnetik bergerak atau mengalami propagasi dalam atmosfer bumi dan komunikasi antar dua atau lebih titik pada permukaan bumi disebut dengan komunikasi gelombang radio teresterial. Gelombang teresterial dipengaruhi oleh atmosfer dan karakteristik bumi itu sendiri. Gelombang elektromagnetik bergerak dalam tiga cara yaitu *ground wave*, *space wave*, *sky wave*.

Propagasi *space wave* dengan gelombang langsung biasa disebut transmisi *line of sight (LOS)* oleh karena itu di batasi dengan kelengkungan bumi.



Gambar 2. 13 propagasi space wave (LOS)

Permukaan bumi akan memperkenalkan sebuah jarak pandang pada propagasi *space wave* yang disebut dengan radio horizon, berhubungan dengan pembiasan atmosfer, radio horizon. Gambar 2.13 di bawah ini menunjukkan pengaruh tinggi antenna pada radio horizon.



Gambar 2. 14 gelombang langsung dan radio horizon

Dengan demikian untuk antenna pemancar dan penerima, jarak dua antenna tersebut adalah :

$$d = d_t + d_r$$

atau,

$$d = \sqrt{2 ht} + \sqrt{2 hr}$$

keterangan :

d = jarak total

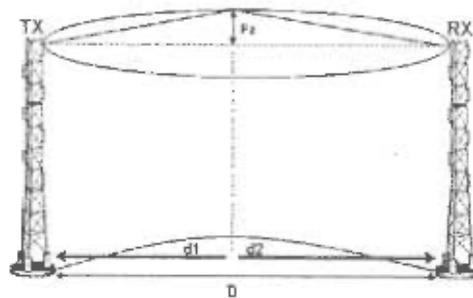
d_r = radio horison untuk antena pemancar

d_t = radio horison untuk antena penerima

h_r = tinggi antena pemancar

h_t = tinggi antena penerima

Daerah *Fresnel* (*FRESNEL ZONE*) adalah daerah yang berbentuk elips yang berada disekitar garis lurus yang merupakan perambatan gelombang radio secara langsung.



Gambar 2. 15 Daerah fresnel

Maka selama perambatan gelombang radio masih berada dalam cakupan daerah fresnel keadaan ini dapat dikatakan keadaan *Line of sight (LOS)*. Untuk menghitung besarnya daerah fresnel berlaku rumus :

$$Fz = 17.3 \times \sqrt{\frac{d1 \times d2}{f \times D}}$$

Keterangan :

Fz = daerah fresnel (m)

$d1$ = jarak antara pemancar dengan penghalang (km)

$d2$ = jarak antara penghalang dengan penerima (km)

D = jarak antara pemancar dan penerima (km)

F = frekuensi operasi (Ghz)

2.8 Perangkat Bantu Saluran Transmisi pada Kabel Koaksial RG58

Berikut fungsi dari masing – masing perangkat yang saling di hubungkan oleh saluran transmisi menggunakan Kabel *Coaxial* RG58 :

2.8.1 Antena Donor

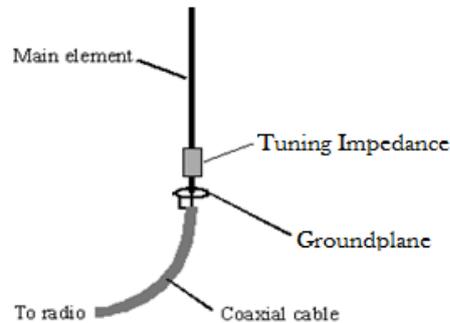
Antena donor berfungsi untuk menangkap sinyal yang akan digunakan. Antena yang digunakan berupa antenna omnidirectional. Antena Omnidirectional biasa disebut juga antena *nondirectional* yaitu jenis antena yang mempunyai pola pancaran ke segala arah atau jenis antena yang tidak memiliki pola pancaran ke satu arah tertentu. Antena ini sering digunakan dalam hubungan komunikasi nirkabel jarak pendek, yang menghubungkan *point to multi-point* atau yang menghubungkan satu point pemancar ke banyak point penerima. Sehingga Antena ini dapat diletakan di tengah – tengah sebagai pemancar dan penerima pada posisi sekeliling antena. Karena antena ini memiliki sudut pancaran radiasi yang besar yaitu 360° atau satu putaran penuh pada sekelilingnya pada posisi vertikal.[8] Dalam pemasanganya antena ini diletakkan diluar gedung / disisi yang lebih tinggi agar sinyal yang diterima lebih baik. Pada gambar 2.16 merupakan contoh dari antena donor yang digunakan.



Gambar 2. 16 Antena Donor omnidirectional

karena antena omni memiliki jangkauan ke segala arah jadi antena tidak memiliki area jangkauan yang terlalu jauh. Pada gambar 2.16 menggambarkan antena ground-plane adalah varian dari antena dipol atau omnidirectional yang

dirancang untuk digunakan dengan jalur umpan yang tidak seimbang seperti kabel koaksial.



Gambar 2. 17 Elemen Dasar Antena Omnidirectional Jenis Groundplane
(Sumber : Margaret:2005)

2.8.2 Antena Biquad

Service Area antena digunakan untuk memancarkan sinyal hasil keluaran dari *repeater* yang sudah dikuatkan. Dalam pemasangannya antena ini diletakkan didalam ruangan atau *indoor*. Sehingga didalam ruangan tersebut mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik. Antena ini dapat berupa antena *biquad* yang bersifat sektoral. Dalam pemasangan antena *indoor* ini hendaknya memperhatikan beberapa parameter seperti :

- o Pemasangan antena harus berada minimal 2 meter dari tanah.
- o Pemasangan wall antena dilakukan jauh dari benda elektronik lain.

Antena *Biquad* adalah suatu jenis antena kawat dengan dipole loop berbentuk persegi ganda dimana panjang sisi-sisinya didapat dari modifikasi antena dipole lipat $\frac{1}{2} \lambda$ yang bagian tengahnya ditarik menjauh sehingga diperoleh panjang masing-masing sisi adalah setengah dari panjang dipole lipat $\frac{1}{2} \lambda$ atau sama dengan $\frac{1}{4} \lambda$. Reflektornya berbentuk sebuah flat panel (*large flat sheet*) dengan lebar sisi yang sedikit lebih panjang daripada rangkaian dipolennya sehingga bertindak seolah-olah sebagai bidang yang tak berhingga luasnya, Antena *biquad* memiliki reflector dengan permukaan yang lebar dan datar yang letaknya tidak jauh dari dipolennya yang bertujuan untuk mengurangi radiasi kearah belakang

dengan jarak yang kecil antara antenna dengan reflektornya, maka susunan ini juga menghasilkan gain yang lebih besar pada radiasinya kearah depan[11].

Pada gambar 2.18 merupakan gambar dari antenna *biquad* yang merupakan antenna yang terbentuk dari gabungan dua kawat *dipole loop* berbentuk *quad* (persegi) dimana bahan yang digunakan berupa kawat tembaga dan letak titik catuan berada di tengah-tengah[13].



Gambar 2. 18 Konstruksi antenna biquad

2.8.3 Repeater Sebagai Penguat Sinyal

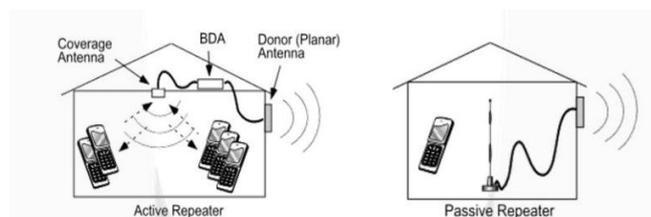
Penguat isyarat terdiri dari antenna penerima, penguat sinyal, dan antenna pengirim sinyal. Tujuannya penguat sinyal *repeater* untuk memudahkan para pengguna seluler dan jaringan telekomunikasi untuk mendapatkan isyarat yang baik dan kuat dengan jaringan nirkabel atau *wireless*, sehingga komunikasi menjadi lebih lancar dan lebih baik. Perangkat Repeater harus 2 alat, yakni untuk menerima sinyal dari server (*client*) dan untuk menyebarkan lagi sinyal Wifi (*accesspoint*). Kekurangan teknologi ini adalah kemungkinan interferensi terhadap sesama hubungan nirkabel pada piranti lainnya.[15]

Cara kerja dari *repeater* ini yaitu dengan menyebarkan data ke seluruh jaringan walaupun data tersebut tidak di perlukan maka akan tetap tersebar ke seluruh jaringan, penyebaran data tersebut kinerjanya akan menurun atau aksesnya semakin lambat apabila semakin banyaknya pemberhentian sinyal (*Station*) dan meningkatnya *traffic* data.

Pada dasarnya repeater mempunyai dua jenis komponen di dalamnya. Komponen yang pertama bertugas untuk menerima data sinyal dari transmitter. Sedangkan komponen yang kedua berfungsi memancarkan kembali data sinyal tersebut. Namun sebelum data sinyal tersebut dipancarkan kembali, perangkat keras pada repeater ini akan melakukan perubahan frekuensi sehingga sinyal data yang dipancarkan menjadi lebih kuat. Dengan demikian maka sinyal pun

akan menjadi lebih kuat dan jangkauannya pun akan lebih luas. Di dalam pemrosesan sinyal data yang masuk ke dalamnya, *repeater* mempunyai dua sistem yang umumnya digunakan. Sistem tersebut adalah analog *repeater* dan digital *repeater*.

Pada analog *repeater*, sinyal data dikirimkan dalam bentuk data analog dimana konsumsi daya listrik berbanding lurus dengan amplitudo atau besarnya sinyal yang dikirimkan. Sedangkan digital *repeater* mengirimkan sinyal data dalam bentuk digital. Data digital dikirim dalam bentuk binary, yaitu diwakili oleh angka 1 dan 0. Selain itu digital *repeater* juga melakukan proses tambahan pada data sinyal yang diproses. *Repeater* terdiri dari 2 jenis yakni *repeater* aktif dan *repeater* pasif. Hal yang membedakan kedua jenis *repeater* tersebut adalah kebutuhan akan catuan dan ada tidaknya komponen aktif (*amplifier*) dimana *repeater* aktif membutuhkan catuan dan komponen aktif (*amplifier*) sedangkan *repeater* pasif tidak membutuhkan catuan dan komponen aktif (*amplifier*). Adapun blok diagram dari *repeater* aktif terdiri dari empat bagian yakni antena *outdoor*, antena *indoor*, *amplifier* dan saluran transmisi. Sedangkan blok diagram dari *repeater* pasif terdiri dari tiga bagian yakni antena *outdoor*, antena *indoor* dan saluran transmisi[16].



Gambar 2. 19 Perbedaan repeater aktif dan repeater pasif

Tipe *Repeater* yang digunakan sebagai penguat sinyal 4G yang mana terdiri dari beberapa bagian yaitu penerimaan antena, sinyal *amplifier* dan antena *rebroadcast*. Pada penelitian ini sistem menggunakan eksternal antena *omnidirectional* untuk mengumpulkan sinyal seluler terbaik, yang kemudian diteruskan ke unit *amplifier* yang menguatkan sinyal, dan mentransmisikan kembali secara lokal, dan secara signifikan meningkatkan kekuatan sinyal . Untuk model *repeater* yang lebih canggih ini dapat digunakan untuk menguatkan sinyal – sinyal dari GSM lain jadi hal ini berdampak pada sinyal dari

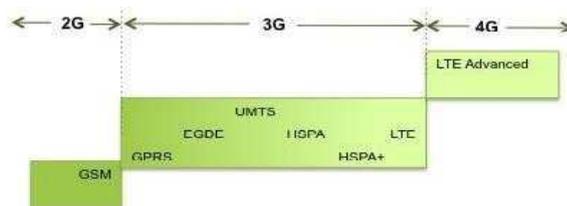
seluruh operator seluler dapat di tingkatkan semua dengan menggunakan sebuah *repeater*. Jenis model yang lebih modern mengizinkan beberapa ponsel untuk menggunakan *repeater* yang sama pada saat yang sama, sehingga cocok untuk komersial serta penggunaan rumah.



Gambar 2. 20 Repeater 4G

2.9 Jaringan 4G LTE

Layanan *mobile broadband* terus berkembang seiring dengan meningkatnya mobilitas masyarakat dalam beraktivitas serta kebutuhan layanan internet. Berbagai teknologi seluler terus dikembangkan mulai dari GSM/GPRS/EDGE (2G), UMTS/HSPA (3G), dan teknologi LTE. LTE adalah standar terbaru dalam teknologi jaringan seluler dibandingkan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA. LTE adalah sebuah nama baru dari layanan yang mempunyai kemampuan tinggi dalam sistem komunikasi bergerak yang merupakan langkah menuju generasi ke-4 (4G) dari teknologi radio yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan telepon *mobile*. LTE adalah suatu proyek dalam *third generation partnership project* (3GPP). Evolusi jaringan seluler sampai ke teknologi LTE ditunjukkan pada Gambar 2.21



Gambar 2. 21 Evolusi Jaringan Seluler

2.10 *Software Open signal*

Aplikasi Open Signal merupakan software yang memiliki fitur kompas sinyal yang dapat membantu mengarahkanmu ke tempat yang perlu kamu kunjungi untuk meningkatkan koneksimu seketika, aplikasi ini sebagai uji kecepatan sinyal jaringan dan konektivitas seluler gratis untuk digunakan.

Kegunaan *software open signal* ini banyak sekali fitur yang dapat membantu memudahkan untuk pengelolaan sinyal selain untuk mengetahui arah kompas menara BTS terdekat aplikasi ini juga dapat Tes kecepatan untuk seluler dan internet Wifi, mengecek kecepatan pemutaran vidio, dapat mengetahui Peta cakupan uji konektivitas dan kecepatan dan Statistik ketersediaan koneksi.



Gambar 2.22 software open signal

2.11 *Software MMANA – Gal*

MMANA-Gal merupakan Software untuk merancang dan mensimulasikan antenna dengan menggunakan geometri antenna yang telah diperhitungkan. Pengembang dari aplikasi ini ialah Alex Schewelew, Igor Gontcharenko, dan Makoto Mori. [14] Penggunaan dari aplikasi ini dengan menginput geometri dari antenna yang dirancang dan kemudian akan dikalkulasi untuk mendapat parameter kesuluhan dari antenna. Parameter yang ditampilkan pada MMANA – Gal berupa SWR, impedansi, dan gain dari antenna yang dirancang. [14]



Gambar 2.23 software MMANA-Gal

2.12 *Nano VNASaver*

NanoVNASaver dikembangkan oleh Rune B. Broberg. Ini adalah alat *multiplatform* untuk menyimpan file *Touchstone* dari *NanoVNA*, rentang frekuensi meluas dalam segmen untuk mendapatkan lebih dari 101 titik data, dan secara umum menampilkan dan menganalisis data yang dihasilkan. Fitur nya dapat Membaca data dari NanoVNA, Memisahkan rentang frekuensi menjadi beberapa segmen untuk meningkatkan resolusi (dicoba hingga > 10k poin), Rata-rata data untuk hasil yang lebih baik terutama pada frekuensi yang lebih tinggi, Menampilkan data pada beberapa tipe grafik, seperti *Smith*, *LogMag*, *Phase* dan grafik *VSWR*, untuk *S11* dan *S21*, Menampilkan penanda, dan impedansi, *VSWR*, *Q*, kapasitansi / induktansi yang setara, dll.

Tabel 2. 3 Perbandingan dengan penelitian Sebelumnya

No	Judul	Tahun	Penulis	Metode/Alat	Hasil
1.	Penerapan Antenna <i>Double Biquad</i> Untuk Transmisi Data Monitoring Ketinggian Air Pada Frekuensi 2,4ghz	2018	Irfan Kurnianto	Antena double biquad,Groundplane,Modul Nrf2401L,Arduino Uno.	Antena mampu mengirimkan data hasil monitoring dengan gain yang besar dan bandwidth yang besar.
2.	Perancangan Dan Realisasi Antenna <i>Biquad</i> Yagi Dan Antenna Biquad	2017	Fakhrana Dhafina,Bambang Setia	Menggunakan software simulator.	Repeater dapat mengirimkan sinyal yang kuat untuk jaringan WCDMA

	<i>Omnidirectional</i> Sebagai <i>Repeater</i> Pasif Untuk Meningkatkan Daya Terima Sinyal WCDMA		Nugroho,I rfan Maulana.		yang jauh dari BTS.
3.	Rancangan Antena Telemetry Biquad 5.800 Mhz Wahana Terbang Fotogrametri.	2017	Gede Saindra Santyadi putra , I Wayan Sutaya , I Gede Mahendra Darmawig una	Telemetry transceiver, GPS, Compass Ublox, Pixhawk Flight Controller	memancarkan sinyal ke ground station. Sinyal yang dikirimkan digunakan untuk mengetahui titik koordinat dan pemantauan jarak jauh berupa video dari wahana yang sedang terbang.
4.	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Biquad untuk WLAN 2,4 GHz dengan Pencatuan Proximity Coupled	2017	Budi Irawan	HFSS Ansoft v13	mampu bekerja pada frekuensi 2,4 GHz , dengan Return Loss <- 10 dB, dan VSWR < 2. Dan terealisasi bekerja pada frekuensi tengah 2,49 Ghz yang menghasilkan Return Loss -29,5583, VSWR 1,0684 , Bandwidth 100 MHz dan Pola radiasi directional.

5.	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Model <i>Biquad</i> untuk Komunikasi <i>Wireless</i> dengan Pandu Gelombang <i>Coplanar</i> pada Frekuensi 5.8 GHz	2018	Megastin M Lumembang.	Antena Biquad	dapat menerima dan memancarkan gelombang signal <i>wireless</i> dengan lebar band sebesar 400 MHz
6.	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Mimo Triangular Patch Frekuensi 2300 Mhz Untuk Teknologi 4g Lte (Long Term Evolution)	2020	Erlis Cahyani , Maria Ulfah S.T.,M.T	Software CST Studio 2018	mampu memperkuat sinyal di area atau wilayah yang memiliki kualitas kekuatan sinyal yang lemah.
7.	Rancang Bangun Antena Octaquad Sebagai Pemancar Repeater Untuk Aplikasi Penguat Sinyal 4g Pada Frekuensi 1800 MHz	2019	Benny Nixon, S.T., M.T. , Rifqi Wahyu Purnomo	CST Studio Suite 2014	Mampu memancarkan repeater untuk aplikasi penguat sinyal 4G pada frekuensi 1800 MHz.
8.	Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Swastika Untuk Penguat Sinyal 4g Indoor Pada Frekuensi 1,8 Ghz	2020	Wisnu Arif Kridawan , Rahmat	Software simulasi antena CST 2016.	Menghasilkan gain yang lebih besar dari 1 dB sehingga didapatkan level sinyal 4G LTE yang lebih baik.

9	Rancang Bangun Wifi Extender 2.4 GHz	2020	Dandun Widhianto, Abdul Aziz Abdullah, Muhammad Faishal Akbar.	Wemos ESP8266, firmware wifi extender,SSID extender.	Dapat menerima sinyal wifi yang kecil di dalam sebuah ruangan, dan memancarkannya kembali.
10	Antena Penguat Sinyal Handphone Dengan Frekuensi 1800 Menggunakan Repeater Rf.	2018	Jakobus Tiwery, Roberto Corputty	Antena yagi, repeater, kabel UTP.	Mengkoneksikan Antena penguat dengan Repeater RF, Wi-fi sebagai pemancaran sinyal pada HP