

# ANALISA TANGGAPAN TEGANGAN DAN ARUS TERHADAP PERUBAHAN PARAMETER SALURAN TRANSMISI

Eko Heri Prasetyo  
Teknik Elektro Universitas Diponegoro  
Email : [czhecko@plasa.com](mailto:czhecko@plasa.com)

## ABSTRACT

*Transmission line is a media to transfer signal or power from one point to another. According to this context, any system of wire can be considered as a transmission line. However, transmission line actually was a group of lines that are arranged in a certain pattern. The arrangement was done uniformly in order to simplify the calculation, reduces cost, and increases convenience.*

*The response (characteristic) in a transmission line depend on its parameters such as primary and secondary constants, load impedance, and also the condition of termination on the receiving end of the line. The value of primary and secondary constants determined by type of cable used, that are open wire, coaxial or paired telephone cable, and by the cable descriptions. Termination on the receiving end can be divided into matching ( $Z_R = Z_0$ ) and mismatch impedance ( $Z_R \neq Z_0$ ). In mismatch condition, load impedance could be a normal impedance that has certain value and also could be made zero or infinite. Cable description will affect the primary and secondary constants' value such as the attenuation constant, phase shift constant, propagation constant and characteristic impedance, whereas the termination on the receiving end will affect the value and shape or phase of the incident and reflected voltage or current wave.*

## 1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi merupakan suatu set kabel yang terbuat dari bahan konduktor yang baik seperti aluminium atau tembaga yang digunakan untuk mentransmisikan suatu energi listrik. Jenis – jenis dari saluran transmisi dibedakan sesuai dengan jumlah atau besar daya yang ditransmisikan serta besarnya frekuensi yang dipergunakan. Berdasarkan kedua pertimbangan tersebut, saluran transmisi dikelompokkan dalam dua jenis, yaitu :

- Saluran daya (tenaga), dipergunakan untuk mentransmisikan daya dalam kapasitas besar dalam suatu frekuensi tertentu.
- Saluran komunikasi, digunakan untuk mentransmisikan daya dalam kapasitas kecil pada suatu daerah frekuensi.

Pada suatu saluran transmisi besaran – besaran tegangan, arus serta daya akan mengalami perubahan nilai sepanjang saluran tersebut. Perubahan nilai parameter-parameter saluran, seperti konstanta primer dan sekunder atau jika diberikan pembebanan akan menyebabkan perubahan nilai serta bentuk tegangan dan arus pada tiap titik di sepanjang saluran tersebut. Parameter-parameter ini perlu diperhatikan dalam merancang suatu saluran transmisi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Pada tugas akhir ini ditampilkan tanggapan tegangan dan arus apabila terjadi perubahan nilai atau variabel pada saluran sehingga akan mempermudah dalam perancangan maupun perawatan suatu jalur transmisi.

## 2. TUJUAN

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah membuat suatu simulasi perhitungan serta penampilan dalam bentuk grafik yang dapat menunjukkan tanggapan yang terjadi pada saluran transmisi apabila parameter-parameter saluran tersebut mengalami perubahan.

## 3. PEMBATASAN MASALAH

Karena kompleksnya permasalahan dalam perancangan suatu saluran transmisi maka perlu adanya batasan-batasan untuk membatasi permasalahan, yaitu :

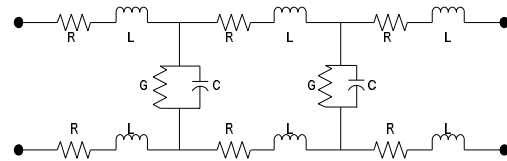
1. Perancangan hanya berupa simulasi perhitungan dan penampilan dalam bentuk grafik.
2. Saluran transmisi hanya berupa saluran fisik (kabel), yaitu *open wire*, *coaxial*, dan *paired cable*.

3. Parameter-parameter yang digunakan sebagai variabel adalah spesifikasi kabel saluran, konstanta-konstanta primer dan beban.
4. Pembebanan saluran dilakukan dengan peningkatan nilai induktansi dan resistansi.
5. Bahasa pemrograman yang digunakan yaitu Matlab 5.3.

## 4. Dasar Saluran Transmisi

### 4.1 Konstanta-konstanta Primer

Sebuah jalur transmisi memiliki resistansi seri, induktansi seri, kapasitansi shunt dan konduktansi shunt yang terdistribusi secara merata. Resistansi seri dihasilkan oleh saluran itu sendiri dan besarnya tergantung pada resistivitas dan diameternya. Induktansi dihasilkan oleh medan magnetik dari masing – masing penghantar yang dialiri arus.. Kapasitansi shunt dihasilkan oleh kedua penghantar, terletak secara paralel dan dipisahkan oleh dielektrik. Dielektrik antara kedua kabel tidaklah sempurna sehingga terjadi arus bocoran. Hal ini terjadi pada konduktansi shunt. Gambar 1 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari sebuah jalur transmisi dengan panjang  $\Delta x$ .



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen jalur transmisi

Nilai dari konstanta-konstanta primer tersebut dapat diperoleh dengan persamaan :

a. Induktansi

$$L = (\mu_r + 9,211 \log d/a) \times 10^{-7} \quad (4.1)$$

untuk *open wire*, dimana :

- L = loop induktansi, satuan Henry / loop km

- $\mu_r$  = permeabilitas magnetic relative bahan penghantar, dan bernilai satu untuk bahan non-magnetik.
- d = jarak antar penghantar, satuan cm
- a = jari-jari penghantar, satuan cm

$$L = \frac{\mu_d}{2\pi} \ln \frac{b}{a} + \frac{\mu_c}{8\pi} \left[ \frac{4c^2}{(c^2 - b^2)^2} \ln \frac{b}{c} - \frac{2c^2}{(c^2 - b^2)} \right] \quad (4.2)$$

untuk *coaxial*, dimana :

- $\mu_d$  = permeabilitas bahan dielektrik, dan  $\mu_c$  adalah permeabilitas penghantar.
- b = jari-jari dalam penghantar luar, satuan cm
- a = jari-jari penghantar dalam, satuan cm
- c = jari-jari luar penghantar luar, satuan cm

#### b. Resistansi

$$R_{dc} = \frac{2}{\pi a^2 \sigma} \quad (4.3)$$

$$R_{ac} = \frac{R_{dc}}{2} a \sqrt{\pi f \mu_c \sigma} \quad (4.4)$$

untuk *open wire*, dimana :

- $R_{dc}$  dan  $R_{ac}$  = loop resistansi untuk dc dan ac, satuan Ohm / loop km
- $\sigma$  = konduktivitas penghantar, satuan mho/m
- f = frekuensi, satuan Hz

$$R_{dc} = \frac{1}{\pi \sigma} \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2 - b^2} \right) \quad (4.5)$$

$$R_{ac} = \sqrt{\frac{f \mu_c}{4 \pi \sigma}} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (4.6)$$

untuk *coaxial*.

#### c. Kapasitansi Shunt

$$C = \frac{\pi \epsilon_d}{\ln \frac{d}{a}} \text{ F / m untuk } d \gg 5a$$

$$= \frac{12,07 \epsilon_r}{\log \frac{d}{a}} \text{ } \mu\text{F/m} \quad (4.7)$$

untuk *open wire*, dimana :  $\epsilon_d$  = konstanta dielektrik dari bahan dielektrik yang digunakan, dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relative dari bahan tersebut.

Untuk *coaxial* :  $C = \frac{2\pi \epsilon_d}{\ln \frac{b}{a}} \text{ F / m}$

### 4.2 Konstanta Sekunder

Konstanta sekunder saluran transmisi terdiri dari :

#### a. Impedansi karakteristik ( $Z_0$ )

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (4.8)$$

#### b. Konstanta propagasi ( $\gamma$ )

$$\gamma = \sqrt{zy} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (4.9)$$

#### c. Konstanta pelemahan ( $\alpha$ ) dan konstanta pergeseran fasa ( $\beta$ )

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

#### d. Panjang gelombang ( $\lambda$ )

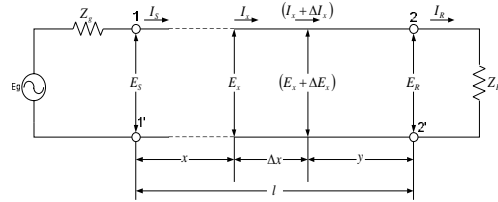
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (4.10)$$

#### e. Kecepatan fasa propagasi ( $v_p$ )

$$(v_p) = f \cdot \lambda = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{\beta} = \frac{\omega}{\beta} \quad (4.11)$$

### 4.3 Saluran dengan Terminasi Selain $Z_0$

Pada Gambar 2.10 ditunjukkan suatu saluran transmisi yang diterminasi pada suatu impedansi  $Z_R$  yang berbeda nilainya dengan  $Z_0$ . Dalam gambar tersebut, jarak titik pengukuran dengan ujung penerima dinyatakan dengan y, sedangkan jarak titik pengukuran dari ujung pengirim dinyatakan dengan x, dan panjang keseluruhan saluran dinyatakan dengan l.



Gambar 2 Saluran transmisi sepanjang x dengan terminasi pada  $Z_R$

Persamaan untuk saluran ini adalah<sup>[1]</sup>

$$E_x = E_S \frac{(Z_0 + Z_R) \epsilon^{-\gamma y} - (Z_0 - Z_R) \epsilon^{-\gamma l}}{(Z_0 + Z_R) \epsilon^{-\gamma x} - (Z_0 - Z_R) \epsilon^{-\gamma l}} \quad (4.12)$$

$$I_x = \frac{E_S}{Z_0} \frac{(Z_0 + Z_R) \epsilon^{-\gamma y} + (Z_0 - Z_R) \epsilon^{-\gamma l}}{(Z_0 + Z_R) \epsilon^{-\gamma x} - (Z_0 - Z_R) \epsilon^{-\gamma l}} \quad (4.13)$$

Pada suatu saluran transmisi impedansi input ( $Z_{in}$ ) merupakan perbandingan antara tegangan dan arus sumber, sedangkan impedansi transfer ( $Z_t$ ) merupakan perbandingan antara tegangan sumber dengan arus pada ujung penerima. Besarnya impedansi input dan impedansi transfer dapat diperoleh dengan persamaan<sup>[1]</sup>

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 - \frac{Z_0 - Z_R}{Z_0 + Z_R} \epsilon^{-2\gamma l}}{1 + \frac{Z_0 - Z_R}{Z_0 + Z_R} \epsilon^{-2\gamma l}} \quad (4.14)$$

$$Z_t = \frac{E_S}{I_R} = \frac{1}{2} [(Z_0 + Z_R) \epsilon^{\gamma l} - (Z_0 - Z_R) \epsilon^{-\gamma l}]$$

### 4.4 Saluran Terdistori

Pada saluran yang mengalami distorsi nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  diperoleh dengan persamaan :

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (RG - \omega^2 LC) + \sqrt{(RG - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 (RC + LG)^2} \right]}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\omega^2 LC - RG) + \sqrt{(RG - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 (RC + LG)^2} \right]}$$

Suatu saluran transmisi pada umumnya dipergunakan untuk mengirimkan sinyal dengan range frekuensi yang cukup besar. Frekuensi – frekuensi yang berbeda tersebut mengalami pelemahan yang besarnya berbeda-beda pula. Hal ini menyebabkan terjadinya gangguan atau distorsi frekuensi. Nilai komponen frekuensi yang berbeda pada suatu gelombang tegangan kompleks akan menyebabkan perbedaan nilai pergeseran fasa. Kecepatan fasa ( $v_p$ ) dan konstanta pergeseran fasa ( $\beta$ ) tidak berbanding lurus dengan frekuensi (f), karena itu kecepatan fasa juga merupakan suatu fungsi dari frekuensi. Dengan demikian beberapa frekuensi akan mengalami tundaan yang lebih besar dibandingkan

dengan frekuensi-frekuensi lainnya. Hubungan fasa dari frekuensi – frekuensi yang diterima tidak akan sama dengan hubungan fasa dari frekuensi-frekuensi pada ujung pengirim. Hal ini dinamakan distorsi tundaan atau distorsi fasa.

Pada saluran transmisi dengan kualitas yang baik, distorsi frekuensi dapat dikurangi dengan menggunakan suatu jaringan atau rangkaian yang dinamakan *equalizer* yang mempunyai karakteristik pelemahan terhadap frekuensi berlawanan dengan yang dimiliki saluran, sehingga keseluruhan pelemahan dapat menjadi konstan untuk suatu *band* frekuensi. Kenaikan pelemahan dapat diatasi dengan menggunakan penguat dengan *gain* yang lebih besar. Distorsi tundaan tidak begitu berpengaruh pada transmisi suara, tetapi sangat besar pengaruhnya pada transmisi sinyal gambar. Untuk menghilangkan distorsi tundaan ini dapat digunakan *equalizer* tundaan.

Pada saluran dengan tingkat gangguan atau distorsi rendah, frekuensi operasi dianggap sangat tinggi sehingga nilai  $\omega L$  jauh lebih besar dari  $R$  dan nilai  $\omega C$  jauh lebih besar dari  $G$  sehingga  $z$  dan  $y$  mempunyai sudut yang mendekati  $\pi/2$ , sedangkan magnitudonya mendekati  $\omega L$  atau  $\omega C$ . Pada saluran ini nilai impedansi dan admitansi adalah<sup>[1]</sup> :

$$z = \omega L \angle \frac{\pi}{2} - \frac{R}{\omega L} \quad (4.15)$$

$$y = \omega C \angle \frac{\pi}{2} - \frac{G}{\omega C}$$

sehingga :

$$\gamma = \sqrt{zy} = \omega \sqrt{LC} \angle \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{R}{\omega L} - \frac{G}{\omega C} \right) \quad (4.16)$$

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \quad (4.17)$$

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \angle \frac{1}{2} \left( \frac{G}{\omega C} - \frac{R}{\omega L} \right)$$

#### 4.5 Saluran Tanpa Distorsi

Pada saluran transmisi yang tanpa distorsi, konstanta pelemahan ( $\alpha$ ) harus tidak mengandung komponen frekuensi dengan tujuan untuk menghilangkan distorsi frekuensi. Nilai dari konstanta pelemahan tersebut adalah  $\alpha = \sqrt{RG}$ , sedangkan nilai konstanta pergeseran fasa sebesar :

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\omega^2 LC - RG) + \sqrt{(RG - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 (RC + LG)^2} \right]}$$

Untuk membuat suatu saluran menjadi tanpa distorsi maka saluran tersebut harus memenuhi syarat :  $RC = LG$ . Jika pada suatu saluran syarat tersebut terpenuhi maka besarnya impedansi karakteristik adalah sebesar :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad (4.18)$$

#### 4.6 Kabel Telepon (Paired Telephone Cable)

Sebuah kabel telepon terdiri dari dua kawat yang saling dinsulasi menggunakan kertas minyak dan dipisahkan dalam pasangan-pasangan. Konstruksi seperti ini dapat menyebabkan induktansi dan konduktansi shunt pada frekuensi audio

diabaikan.<sup>[1]</sup> Jadi impedansi seri ( $z$ ) dan admitansi shunt ( $y$ ) adalah

$z = R$  dan  $y = j\omega C$ , sehingga

$$\gamma = \sqrt{zy} = \sqrt{j\omega \cdot CR} = \sqrt{\omega \cdot CR} \angle 45^\circ = (1 + j) \sqrt{\frac{\omega \cdot CR}{2}}$$

Sedangkan nilai konstanta sekunder lainnya :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega \cdot CR}{2}} \quad (4.19)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega \cdot CR}{2}}$$

$$v_p = \sqrt{\frac{2\omega}{CR}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{R}{j\omega \cdot C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega \cdot C}} \angle 45^\circ \quad (4.20)$$

#### 4.7 Pembebanan Saluran

Saluran transmisi yang dirancang dan dirawat dengan baik memiliki nilai konduktansi shunt ( $G$ ) yang sangat kecil, sehingga rasio  $R/L$  jauh lebih besar dari  $G/C$ . Untuk mendekati persyaratan saluran transmisi tanpa distorsi,  $R/L = G/C$ , terdapat empat pilihan (cara)<sup>[1]</sup>, yaitu : (i) mengurangi  $R$ , (ii) mengurangi  $C$ , (iii) menaikkan  $G$  dan (iv) menaikkan  $L$ . Dari keempat pilihan tersebut, cara pertama sampai ketiga tidak dapat dilakukan. Nilai  $R$  hanya dapat dikurangi dengan jalan menambah ketebalan penghantar dimana ini sangat mahal. Untuk mengurangi nilai  $C$ , jarak antar penghantar harus ditambah. Tetapi ini sangat sulit karena pertimbangan ukuran saluran serta biaya. Peningkatan nilai  $G$  akan menyebabkan bertambahnya nilai  $\alpha$  yang akan mengurangi efisiensi transmisi. Satu – satunya cara adalah dengan meningkatkan nilai induktansi  $L$ . Induktansi dapat ditingkatkan tanpa mengubah konstruksi saluran.

Peningkatan nilai induktansi saluran untuk mengurangi distorsi ini dinamakan pembebanan (*loading*)<sup>[1]</sup> yang pertama kali diperkenalkan oleh Oliver Heaviside. Induktansi saluran dapat ditingkatkan dengan dua cara, yaitu :

- Dengan memasang seri beberapa induktansi secara berkelompok pada jarak tertentu (*lumped loading*).
- Dengan meningkatkan impedansi yang terdistribusi pada seluruh saluran (*continous loading*).

Konstanta propagasi untuk saluran yang terbebani tersebut adalah  $\gamma'$  yang dirumuskan dengan

$$\cosh \gamma' d = \frac{Z_c}{2Z_0} \sinh \gamma d + \cosh \gamma d \quad (4.21)$$

dimana :

- $\gamma'$  = konstanta propagasi baru karena adanya pembebanan
- $Z_c$  = impedansi pembebanan =  $R' + j\omega L'$ , satuan Ohm

### 5. Pantulan pada Saluran Transmisi

#### 5.1 Propagasi Gelombang pada Saluran

Pada suatu saluran transmisi dengan panjang tertentu dan diterminasi pada  $Z_R$  maka besarnya

tegangan dan arus pada suatu titik berjarak  $x$  dari ujung pengirim adalah

$$E_x = \frac{E_R(Z_0 + Z_R)}{2Z_R} \left[ \varepsilon^{\gamma x} + \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \cdot \varepsilon^{-\gamma x} \right] \quad (5.1)$$

$$I_x = \frac{I_R(Z_0 + Z_R)}{2Z_0} \left[ \varepsilon^{\gamma x} - \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \cdot \varepsilon^{-\gamma x} \right] \quad (5.2)$$

Gelombang yang merambat dari sisi pengirim magnitudonya semakin berkurang bersama dengan pertambahan jarak  $x$  karena adanya factor  $\varepsilon^{-\gamma x}$  atau  $\varepsilon^{-\gamma}$ . Pada ujung penerima gelombang ini dinamakan gelombang datang. Sedangkan untuk gelombang pantul, amplitudonya mengecil ditinjau dari penerima sesuai dengan pertambahan  $y$ .

#### Pantulan pada Saluran yang Terhubung Buka (*Open Circuited*)

Jika saluran terhubung buka maka  $Z_R = \infty$ , sehingga persamaan (5.1) dan (5.2) menjadi

$$E_x = \frac{E_R}{2} [\varepsilon^{\gamma y} + \varepsilon^{-\gamma y}] \quad (5.3)$$

$$I_x = \frac{E_R}{2Z_0} [\varepsilon^{\gamma y} - \varepsilon^{-\gamma y}] \quad (5.4)$$

#### Pantulan pada Saluran yang Terhubung Singkat (*Short Circuited*)

Jika saluran terhubung buka maka  $Z_R = 0$ , sehingga persamaan (5.1) dan (5.2) menjadi

$$E_x = \frac{I_R Z_0}{2} [\varepsilon^{\gamma y} - \varepsilon^{-\gamma y}] \quad (5.5)$$

$$I_x = \frac{I_R}{2} [\varepsilon^{\gamma y} + \varepsilon^{-\gamma y}] \quad (5.6)$$

#### 5.4 Koefisien Pantul

Koefisien pantul merupakan perbandingan antara komponen pantul terhadap komponen datang pada ujung penerima dari suatu saluran. Jika  $E_R''$  merupakan komponen pantul dan  $E_R'$  merupakan komponen datang, maka berdasarkan pengertian diatas diperoleh persamaan :

$$E_R'' = \frac{E_R(Z_R - Z_0)}{2Z_R} \quad (5.7)$$

$$E_R' = \frac{E_R(Z_R + Z_0)}{2Z_R}$$

sehingga koefisien pantulnya

$$k = \frac{E_R''}{E_R'} = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \quad (5.8)$$

#### 5.5 Perbandingan Tegangan Gelombang Tegak (VSWR)

Besaran yang penting dalam mempelajari saluran tanpa rugi-rugi adalah perbandingan gelombang tegak. Suatu saluran tanpa rugi-rugi jika tidak dibebani dengan impedansi karakteristiknya dikatakan akan menghasilkan gelombang tegak. Titik dimana tegangan berada pada posisi maksimum disebut *antinode* tegangan, sedangkan titik pada posisi minimumnya disebut *node* tegangan.

Perbandingan gelombang tegak didefinisikan sebagai perbandingan besar dari gelombang tegak pada saat *antinode* dan *node*, biasanya dilambangkan dengan  $S$ . Sehingga diperoleh rumusan sebagai berikut,

$$S = \frac{|E_{maks}|}{|E_{min}|} \quad (5.9)$$

$$\text{dimana } |E_{maks}| = |E_R| (1 + |k|) \quad (5.10)$$

$$|E_{min}| = |E_R| (1 - |k|) \quad (5.11)$$

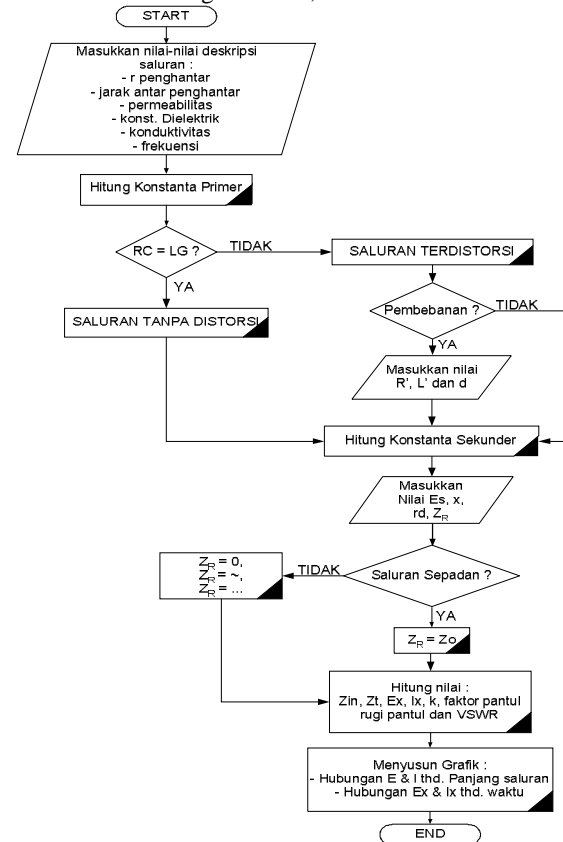
Substitusi persamaan (5.10) dan (5.11) ke persamaan (5.9) dihasilkan

$$S = \frac{1 + |k|}{1 - |k|} \quad (5.12)$$

Harga dari  $S$  merupakan harga nyata dan mempunyai nilai dari 0 sampai tak terhingga. VSWR merupakan suatu besaran penting dalam untuk mengetahui batasan maksimum dari energi yang terpantul pada tiap frekuensi operasi. Hal ini sangat berguna untuk merancang suatu *transceiver* agar system kesepadanan dapat diperhitungkan, sehingga karakteristik pemancar atau penerima yang dapat berubah – ubah sesuai dengan frekuensi tidak mengecewakan pihak yang menggunakan. Harga dari VSWR berkisar antara 0 sampai tak terhingga sesuai dengan harga koefisien pantul.

#### 6. Pemodelan Saluran

Simulasi ini dibuat dalam 3 menu utama sesuai dengan jenis kabel yang digunakan, yaitu *open wire*, *coaxial* dan *paired cable*. Langkah-langkah dalam pemodelan sistem untuk ketiga jenis saluran tersebut adalah sama, sehingga diagram alirnya secara umum adalah sebagai berikut,



#### 7. Analisa Hasil Simulasi

Analisa saluran ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi tidak sepadan ( $Z_R \neq Z_0$ ), dan kondisi

sepadan ( $Z_R = Z_0$ ). Untuk saluran tidak sepadan terdapat 3 kondisi beban, yaitu  $Z_R = 0$ ,  $Z_R = \infty$ , dan  $Z_R =$  nilai tertentu. Variabel masukan untuk masing-masing saluran dibuat sama, sehingga dapat dilakukan perbandingan.

Hasil simulasi adalah sebagai berikut,

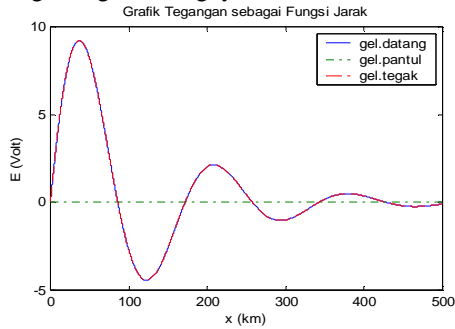
**a.  $Z_R = Z_0$  (saluran sepadan)**

Nilai tegangan, arus, dan VSWR pada beban ini adalah :

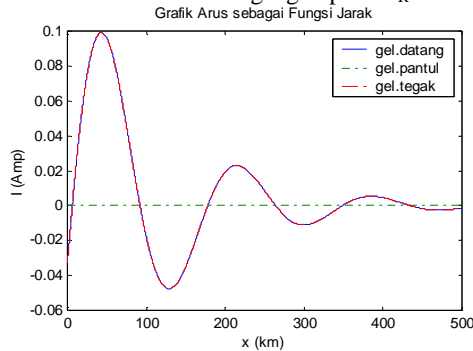
Saluran	Tegangan	Arus
Open wire	$3,84 \angle 166,5^\circ$	$3,9 \cdot 10^{-3} \angle 121,5^\circ$
Coaxial	$0,22 \angle 135,1^\circ$	$1,7 \cdot 10^{-3} \angle 90,1^\circ$
Paired cable	$1,05 \angle -129^\circ$	$7,5 \cdot 10^{-4} \angle -174^\circ$

Nilai VSWR untuk ketiga saluran pada impedansi beban ini adalah 1.

Sedangkan grafik gelombangnya adalah :



Gambar 3. Grafik tegangan pada  $Z_R = Z_0$



Gambar 4 Grafik arus pada  $Z_R = Z_0$

Pada  $Z_R = Z_0$  tidak terjadi gelombang pantul. karena pada saluran tersebut nilai koefisien pantulnya adalah nol. Koefisien pantul ditentukan dengan persamaan (5.8), yaitu

$$k = \frac{E_R''}{E_R'} = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0}$$

Karena  $Z_R = Z_0$ , maka nilai koefisien pantulnya adalah nol. Saluan ini juga memberikan tegangan dan arus datang yang lebih besar dibandingkan dengan beban lainnya. Grafik VSWR untuk beban ini tidak ada karena nilainya adalah 1, sehingga hanya akan membentuk satu garis lurus.

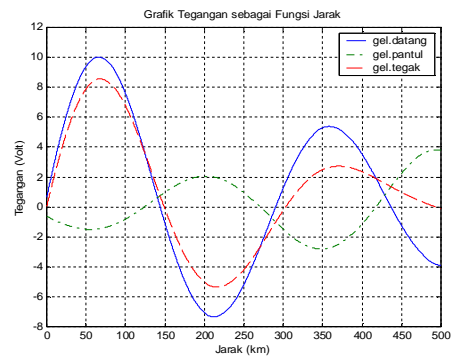
**b.  $Z_R = 0$**

Nilai tegangan, arus, dan VSWR pada beban ini adalah :

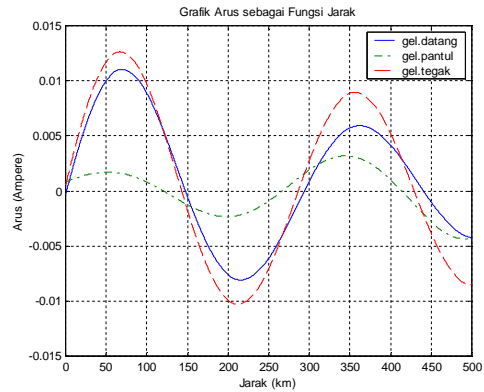
Saluran	Tegangan	Arus
Open wire	$5,54 \angle -171,3^\circ$	$3,1 \cdot 10^{-3} \angle 67,9^\circ$
Coaxial	$0,3 \angle 126,3^\circ$	$1,2 \cdot 10^{-3} \angle 108,8^\circ$
Paired cable	$0,58 \angle -96,7^\circ$	$1,2 \cdot 10^{-3} \angle 176,7^\circ$

Nilai VSWR untuk ketiga saluran pada impedansi beban ini adalah tak terhingga.

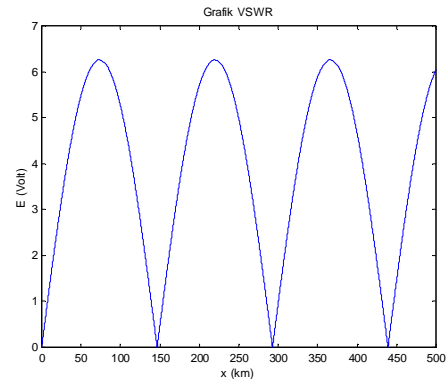
Sedangkan grafik gelombangnya adalah :



Gambar 6. Grafik tegangan pada  $Z_R = 0$



Gambar 7 Grafik arus pada  $Z_R = 0$



Gambar 8 Grafik VSWR pada  $Z_R = 0$

Pada beban ini gelombang tegangan datang dan tegangan pantul berlawanan fasa, sedangkan gelombang arusnya memiliki fasa yang sama.

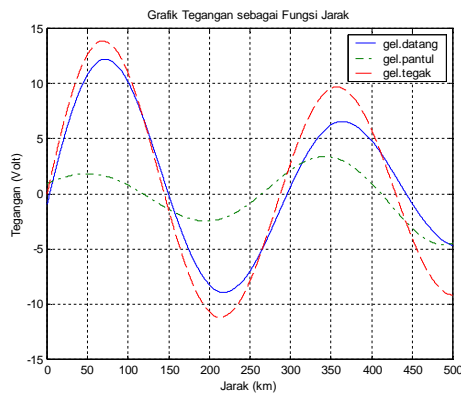
**c.  $Z_R = \infty$**

Nilai tegangan, arus, dan VSWR pada beban ini adalah :

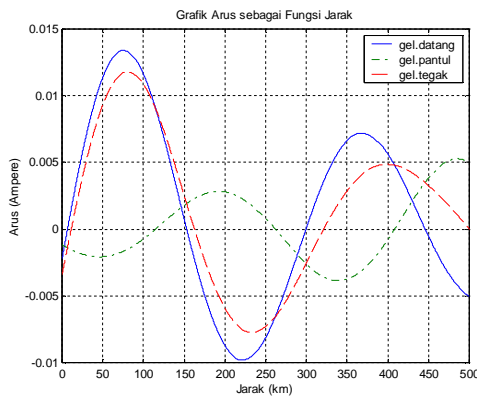
Saluran	Tegangan	Arus
Open wire	$3,76 \angle 119,9^\circ$	$6,8 \cdot 10^{-3} \angle 150,6^\circ$
Coaxial	$0,14 \angle 153,8^\circ$	$2,4 \cdot 10^{-3} \angle 81,23^\circ$
Paired cable	$1,64 \angle -140,1^\circ$	$0,4 \cdot 10^{-3} \angle -142,4^\circ$

Nilai VSWR untuk ketiga saluran pada impedansi beban ini adalah tak terhingga.

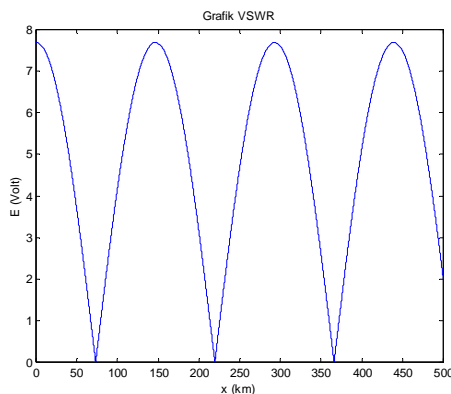
Sedangkan grafik gelombangnya adalah :



Gambar 9. Grafik tegangan pada  $Z_R = \sim$



Gambar 10. Grafik arus pada  $Z_R = \sim$



Gambar 11 Grafik VSWR pada  $Z_R = \sim$

Pada beban ini gelombang tegangan datang dan tegangan pantulnya memiliki fasa yang sama, sedangkan gelombang arusnya berlawanan fasa. Grafik VSWR pada beban ini mengalami pergeseran sepanjang  $\frac{1}{4}$  panjang gelombang untuk nilai-nilai minima dan maksimanya dibanding pada beban 0.

## 8. Kesimpulan

Setelah melakukan pembuatan simulasi, melakukan percobaan dan pengujian tanggapan tegangan dan arus pada simulasi saluran, maka penulis dapat menarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Saluran tanpa distorsi memberikan nilai tegangan dan arus yang lebih besar pada titik pengukuran dengan variable masukan yang sama dibandingkan pada saluran terdistorsi.
2. Pada saluran dengan impedansi beban ( $Z_R$ ) sama dengan impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) tidak terdapat gelombang

pantul, karena pada saluran tersebut nilai koefisien pantulnya adalah nol. Saluan ini juga memberikan tegangan dan arus datang yang lebih besar dibandingkan dengan beban lainnya.

3. Saluran dengan terminasi pada ujung penerima terhubung buka menyebabkan fasa gelombang tegangan pantul sama dengan fasa gelombang tegangan datang, sedangkan fasa gelombang arus pantul berlawanan dengan fasa gelombang arus datang. Pada saluran terhubung singkat berlaku sebaliknya.
4. Gelombang tegak/berdiri murni timbul jika 2 gelombang yang bergerak berlawanan arah memiliki amplitudo yang sama, sehingga sering terjadi pada frekuensi tinggi karena tidak terdapat pelemahan. Tetapi pada saluran dengan pelemahan gelombang ini tetap ada karena medannya tidak memiliki titik-titik yang mempunyai amplitudo nol untuk setiap waktu.
5. VSWR atau derajat yang menyatakan kuantitas gelombang berjalan terhadap gelombang tegak pada saluran dengan pelemahan dinyatakan sebagai rasio antara amplitudo maksimum terhadap amplitudo minimum yang terukur.
6. Perhitungan VSWR bergantung pada kondisi bebannya. Untuk mengantisipasi makin besarnya nilai VSWR, diusahakan impedansi beban mendekati impedansi karakteristiknya.
7. Saluran *open wire* memberikan nilai tegangan dan arus yang lebih besar untuk parameter-parameter masukan yang sama dibandingkan dengan saluran *coaxial*.

## 9. Saran

1. Pada simulasi saluran *paired cable* parameter masukannya adalah berupa konstanta primer dari saluran, sedangkan pada jenis kabel lainnya berupa deskripsi dari kabel tersebut, jadi akan lebih baik jika pada saluran ini menggunakan deskripsi kabel sebagai parameter masukan.
2. Agar simulasi dapat lebih bermanfaat dapat ditambahkan juga pemodelan penempatan *repeater* untuk mencegah penurunan level daya pada saluran, sehingga daya yang diterima pada ujung penerima tidak terlalu kecil.
3. Pembebanan (*loading*) pada simulasi ini masih dilakukan dengan cara perhitungan manual sehingga kurang efektif, akan lebih baik jika pembebanan dapat dilakukan secara otomatis menyesuaikan nilai R.C dan L.G.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Mithal, Gyanendra K. *Network Analysis*, Khanna Publisher, 1981.
2. Kennedy, George, *Electronic Communication System*, 3<sup>rd</sup> edition, Mc Graw-Hill Book Company, International Student Edition, 1984.
3. Hayt, William, *Elektromagnetika Teknologi*, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta, 1989.
4. Barker, Forbes, *Communication Electronics : System, Circuit and Devices*, Prentice – Hall International Edition.
5. Roddy, Dennis and Coolen, John, *Electronic Communication*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice – Hall of India Private Limited, New Delhi, 1981.
6. Roddy, Dennis and Coolen, John, *Electronic Communication*, 4<sup>th</sup> edition, Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
7. Valkenberg Van, M.E., *Network Analysis*, 3<sup>rd</sup> edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
8. Blake, Lamont V., *Antennas*, Wiley Series in Electronic Engineering Technology, 1966.
9. Duane Hanselman and Bruce Littlefield, *The Student edition of Matlab versi 5.3 version 4 user's guide*, Prentice Hall Englewood Cliffs, 1995.
10. Virtanen, Jarmo, *Modelling of Lossy Transmission Line in the Time Domain*, Abstract of The Master's Thesis, Helsinki University of Technology, 1991.
11. Lehtovuori, Anu, *Time-domain Model of Dispersive Transmission Line*, Abstract of The Master's Thesis, Helsinki University of Thechnology, 2000.
12. Johansson, Joachim and Lundgren, Urban, *Theory Transmission Line*, <http://jota.sm.luth.se/~d92-uln/master/Theory/4.html>
13. \_\_\_\_\_, *Voltage Change Along a Transmission Line*, [http:// www.tpub.com/cds/neets.htm](http://www.tpub.com/cds/neets.htm).
14. \_\_\_\_\_, *A Short Tutorial on Transmission Lines in Pulse Generator System*, [http://www.kentech.co.ok/transmission\\_lines/Transmissi on\\_lines.html](http://www.kentech.co.ok/transmission_lines/Transmissi on_lines.html)
15. \_\_\_\_\_, *Notes on Calculating Input Values from Load Values Along a Transmission Line*, <http://www.cebik.com/w4rnl.html>.
16. \_\_\_\_\_, *Transmission Lines*, [http://www.amanogawa.com/transmission\\_line.pdf](http://www.amanogawa.com/transmission_line.pdf).
18. \_\_\_\_\_, *Transmission Line Equation*, <http://home.earthlink.net/~jimlux/radio/tlz.htm>
19. \_\_\_\_\_, *Transmission Lines*, [http://www.ee.surrey.ac.uk/CE/scs/microwave\\_engineering.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/CE/scs/microwave_engineering.html).



Penulis Lahir di Pati, 18 April 1978. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro. Kosentrasi yang diambil adalah Control Engineering.

Semarang, Oktober 2002  
Pembimbing II

Ajub Ajulian Zahra, ST  
NIP. 132 205 684