

DAMPAK DIFUSI ARUS DALAM KONDUKTOR UNTUK NILAI BEBAN RESISTIF LEBIH BESAR DARI IMPEDANSI SALURAN

A. M. Shiddiq Yunus, Apollo¹

Abstract: Research on current diffusion into the conductor is one of important segments in electrical engineering field of study. The main purpose of the study is to recognize the behaviors and characteristics of current diffusion in conductor for further development in the future. The results of the research would be very useful, particularly in the transmission line study. In this paper, study will be focused at the characteristic of current diffusion in conductor due to its variation impedance value of load particularly when resistive load is larger than the conductor impedance (Z_0).

Keywords: Conductor, impedance, and current diffusion

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini dibagi menjadi dua kasus, yang akan terbagi dalam dua tulisan. Paper ini membahas kasus pertama yakni dampak difusi arus dalam konduktor ketika nilai beban lebih besar dari nilai impedansi saluran transmisi. Adapun dalam tulisan kedua akan membahas kondisi dimana nilai beban yang lebih kecil dari pada nilai impedansi saluran transmisi.

Ada beberapa hal penting yang perlu diuraikan dalam pembahasan mengenai difusi arus dalam sebuah penghantar seperti yang akan diuraikan sebagai berikut:

A. Penyimpanan Energi Akibat Proses Medan Magnet [1]-[3]

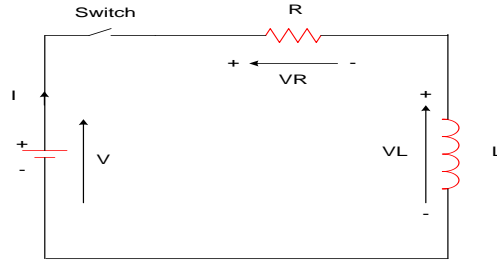
Perhatikan gambar 1. Dengan hukum Kirchoff, didapatkan daya dengan persamaan (1):

$$P_L = V_L I = LI \frac{dI}{dt} \text{ (W)} \quad (1)$$

Dan besarnya nilai energi magnetic yang tersimpan dalam induktor adalah:

$$W_m = \int_0^t P_L dt = \int_0^t LI \frac{dI}{dt} = \int_0^t LI dI = \frac{1}{2} LI^2 \text{ (J)} \quad (2)$$

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang



Gambar 1. Rangkaian Sederhana dengan sebuah Resistor dan Inductor

B. Penyimpanan Energi Akibat Proses Medan Listrik

Penyimpanan energi sebagai akibat proses medan listrik umumnya berkaitan dengan perbedaan nilai kapasitansi dari beberapa bagian/lokasi yang berbeda dari sebuah sistem dan juga akibat perbedaan nilai tegangan dari kapasitansi. Besarnya nilai energi yang tersimpan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{1}{2C} Q^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \text{ (J)} \tag{3}$$

Dari persamaan (1) - (3) dapat dikatakan bahwa *electrostatic energy* dipengaruhi oleh nilai potensial (V) pada *plates* dan *electromagnetic energy* ditentukan oleh arus yang mengalir pada inductor.

C. Teori Poynting [4]

Teori Poynting pertama kali diperkenalkan oleh John Henry Poynting (1852-1914). Poynting vektor dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

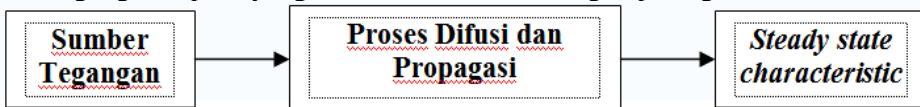
$$P = E \times H \quad \left(\frac{W}{m^2}\right) \tag{4}$$

Dimana: E = Medan listrik (V/m)
 H = Medan magnet (A/m)

Salah satu manfaat dari persamaan Poynting ini adalah penentuan aliran daya dapat dilakukan yang sangat memudahkan dalam menghitung gelombang propagasi, sehingga perhitungan aliran daya dengan arah yang tegak lurus dengan *E* dan *H* menurut “kaidah tangan kanan (*right-hand rule*)” dapat dilakukan untuk perkalian vektor [5].

D. Aplikasi Tegangan pada *parallel plate* pada saluran transmisi

Dalam tulisan ini, penelitian difokuskan pada proses difusi dan propagasi aliran arus dalam sebuah penghantar (*conductor*) setelah terhubung dengan sebuah sumber tegangan seperti yang diilustrasikan dalam bagan pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Bagan Proses Pelaksanaan Penentuan Difusi dan Propagasi pada Sebuah Konduktor

Ketika tegangan diberikan pada ujung sebuah konduktor, maka medan listrik akan melintas pada konduktor tersebut dalam (V/m), bersamaan dengan itu akan terjadi pula perpindahan/pergerakan arus I_D . Menurut “KaidahTangan Kanan”, ketika sebuah arus listrik mengalir pada sebuah konduktor, maka akan dihasilkan sebuah medan magnet (H) yang arahnya ditentukan oleh aliran arus listrik tersebut. Adapun pergerakan medan magnet H tersebut disebabkan oleh I_D dan kecepatan arus v . Kecepatan tersebut dapat ditentukan melalui persamaan (5) berikut:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \left(\frac{m}{s} \right) \quad (5)$$

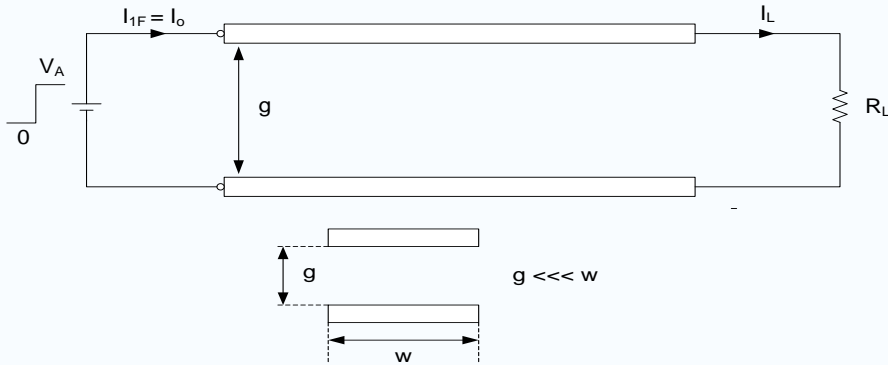
Ketika medan magnet bergerak maka akan timbul medan listrik balik (*Back Electric Field*) yang bergerak dengan arah berlawanan yang membatasi kecepatan gerak dari medan magnet. Fenomena ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

$$E_B = -Bv \quad (6)$$

$$V_B = E_B \times g = -B \times g \times v \quad (V) \quad (7)$$

Dimana: g = jarak antara *plate*/konduktor (m)

Perhatikan gambar 3 sebagai gambar ekivalen pada percobaan proses difusi arus pada sebuah konduktor dengan paralel *plate* dimana lebar jarak antara plates (g) dibandingkan lebarnya (w) sangatlah kecil sekali.



Gambar 3: Konfigurasi konduktor dengan paralel *plate*

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, pengukuran difusi arus dilakukan dengan pegujian laboratorium (experimental) yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi dengan menggunakan software MATLAB dan Excel Visual Basic Program. Dalam studi ini, digunakan nilai beban resistif yang lebih besar dari pada nilai impedansi saluran. Untuk mendapatkan hasil yang serupa dengan laboratorium test, maka digunakan metode atau teori Poynting sebagai metode pendekatan (*Pyinting*

Approach). Sebagai bahan pembanding, maka percobaan dan simulasi dengan menggunakan nilai beban resistif yang sama dengan nilai impedansi saluran dilakukan terlebih dahulu. Untuk nilai beban resistif yang lebih besar dari pada impedansi saluran, dipilih nilai R lebih besar 5 x dari nilai impedansi saluran.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus pada Saluran

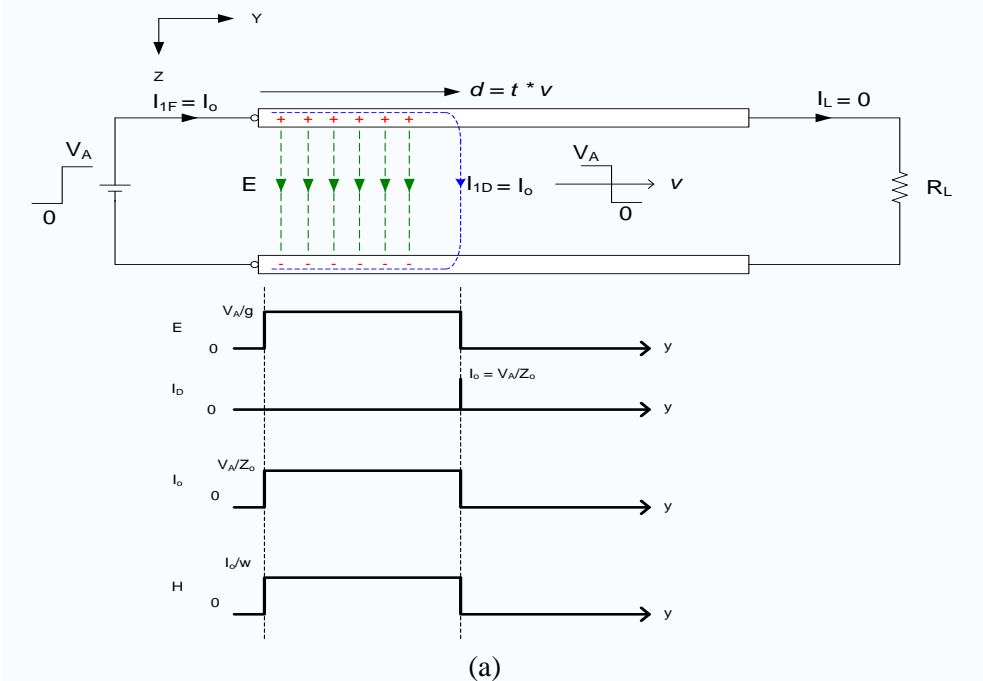
Sekali gelombang awal (*wavefront*) mencapai beban, ada tiga bentuk energi yang dihasilkan:

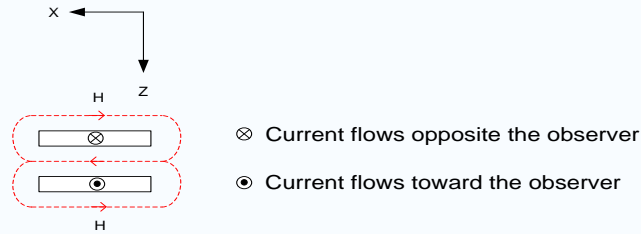
1. Me dan listrik (E) menghasilkan *electrostatic*
2. Res ultan medan magnet (H) mengasilkan energi magnetic
3. Keb erlangsungan sumber daya yang dapat ditentukan dengan $V_A \times I_o$

Beban resistor kini akan mempengaruhi karakteristik progasi dan proses difusi

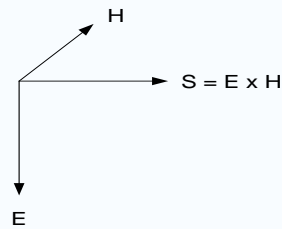
a. Nilai R beban (R_L) sama dengan Impedansi Saluran (Z_o)

Jika nilai beban resistif (R_L) and Z_o besarnya sama maka arus I_o akan membawa tegangan negatif kecil V_A (*ohmic voltage drop*) dari sumber ke beban seperti yang di ilustrasikan pada gambar 4 (a).



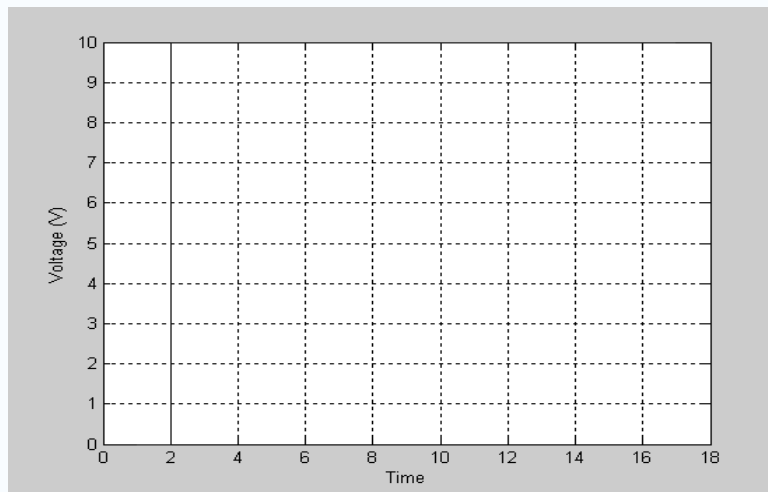


(b)



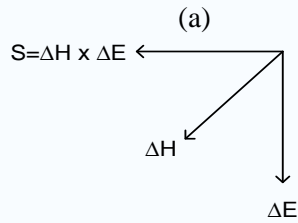
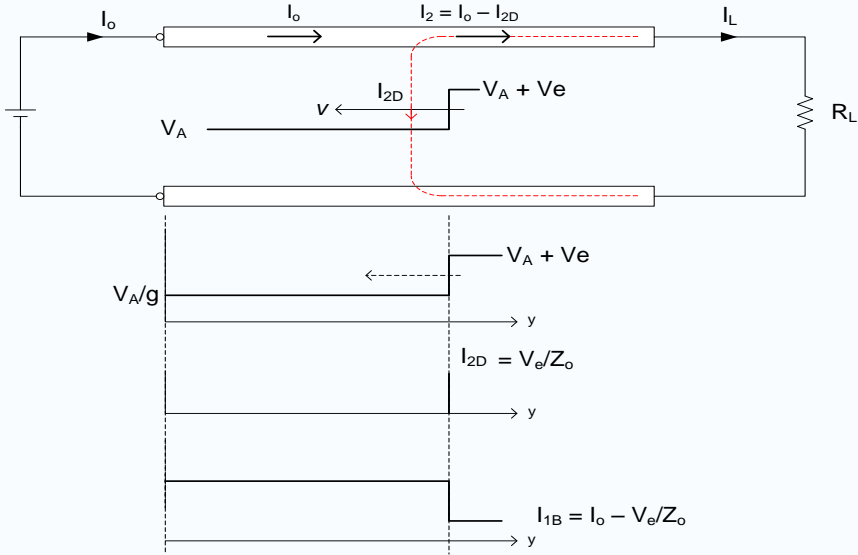
(c)

Gambar 4: Proses difusi dan propagasi arus dalam konduktor; (a) Rangkaian ekuivalen, (b) Medan magnet dan (c) Poynting Vektor



Gambar 5: Matlab plot untuk nilai $R_L = Z_o$

Pada kasus dimana nilai $R_L = Z_o$, nilai tegangan sepanjang konduktor besarnya adalah sama seperti yang disimulasikan menggunakan Matlab pada gambar 5 di atas. Adapun besarnya nilai tegangan maju (V_{fr} -forward) dan mundurnya (V_b -backward) yang



Gambar 6: *First backward propagation* untuk nilai $R_L > Z_o$; (a) Rangkaian ekuivalen dan (b) Poynting Vektor

Jadi besarnya kelebihan tegangan adalah $\Delta V = V_e = I_e \times (Z_o / R_L)$. Dimana perhitungan besarnya nilai ΔV dan V_B diperoleh melalui kalkulasi sebagai berikut:

1st Forward transition

$$V_{1F} = V_A \text{ dan } I_{1F} = I_o = \frac{V_A}{R_L} \quad (8)$$

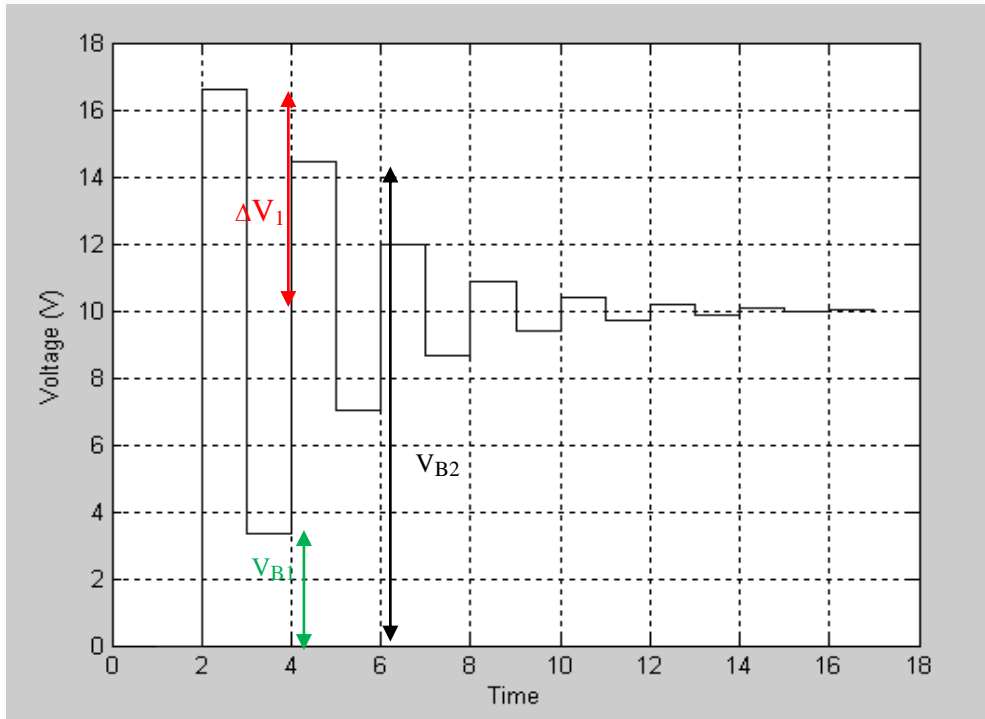
1st Backward transition

$$V_{1B} = V_{1F} - \Delta V_1 \text{ dan } I_{1B} = I_{1F} - \frac{\Delta V_1}{Z_o} \quad (9)$$

Nth transition

$$V_{nF} = V_A, \quad I_{nF} = I_{(n-1)B} - \frac{\Delta V_{(n-1)}}{Z_o}, \quad I_{ne} = I_{nF} - \frac{\Delta V_n}{R_L} \quad (10)$$

$$\Delta V_n = I_{ne} (Z_o // R_L), \quad V_{nB} = V_{nF} - \Delta V_n, \quad I_{nB} = I_{nF} - \frac{\Delta V_n}{Z_o}$$



Gambar 7: Matlab plot untuk beban resistif (R_L) lebih besar dari pada (Z_o)

Sangat jelas terlihat pada gambar 7 di atas besarnya nilai ΔV dan $V_{backward}$. Perhitungan di atas dilakukan menggunakan *excel visual basic program* seperti terlihat pada list program di bawah ini. Setelah sejumlah proses transisi, tegangan beban akhirnya akan sama dengan nilai tegangan sumber (V_A).

71 A. M. Shiddiq Yunus, Apollo, Dampak Difusi Arus dalam Konduktor untuk Nilai Beban Resistif Lebih Besar dari Impedansi Saluran

```
'Compiled by A.M.Shiddiq YUNUS

'Calculation of Voltage Forward and Backward when load rsistance R1> impedance line Zo (R1=5Zo)

Dim VFr(100) 'Forward Voltage
Dim IFr(100) 'Forward Current
Dim Ie(100) 'Excessive Current
Dim DeltaV(100) 'Excessive voltage
Dim VBc(100) 'Backward Voltage
Dim IBc(100) 'Backward Current

'entry data from spread sheet

VA = Sheets("input").Range("b1").Value
Zo = Sheets("input").Range("b2").Value
R1 = Sheets("input").Range("b3").Value

'Calculate the first Forward and backward voltage

VFr(0) = VA
IFr(0) = VA / Zo
Ie(0) = IFr(0) - VFr(0) / R1
DeltaV(0) = Ie(0) * ((Zo * R1) / (Zo + R1))
VBc(0) = VA - DeltaV(0)
IBc(0) = IFr(0) - DeltaV(0) / Zo

Range("A5:f56").Select
Selection.ClearContents

'write the information in spread sheet

Range("a5").Offset(i, 0).Value = VFr(0)
Range("b5").Offset(i, 0).Value = IFr(0)
Range("c5").Offset(i, 0).Value = Ie(0)
Range("d5").Offset(i, 0).Value = DeltaV(0)
Range("e5").Offset(i, 0).Value = VBc(0)
Range("f5").Offset(i, 0).Value = IBc(0)

'calculate the n-th transition

For i = 1 To 14

VFr(i) = VA
IFr(i) = IBc(i - 1) - DeltaV(i - 1) / Zo
Ie(i) = IFr(i) - VFr(i) / R1
DeltaV(i) = Ie(i) * ((Zo * R1) / (Zo + R1))
VBc(i) = VFr(i) - DeltaV(i)
IBc(i) = IFr(i) - DeltaV(i) / Zo

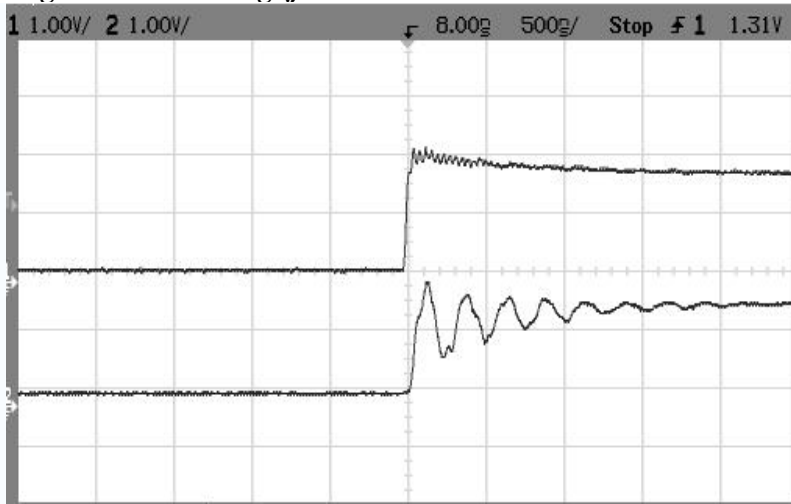
'write the information in spread sheet

Range("a5").Offset(i, 0).Value = VFr(i)
Range("b5").Offset(i, 0).Value = IFr(i)
Range("c5").Offset(i, 0).Value = Ie(i)
Range("d5").Offset(i, 0).Value = DeltaV(i)
Range("e5").Offset(i, 0).Value = VBc(i)
Range("f5").Offset(i, 0).Value = IBc(i)

Next i

End Sub
```

c. Hasil Pengukuran dan Pengujian Laboratorium



Gambar 8: V_{in} dan V_{out} untuk nilai $R_L > Z_o$

Ketika R_L dibuat lebih besar dari Z_o , terdapat kelebihan tegangan yang terpropagasi kembali menuju sumber dengan nilai perubahan arus sebesar V_e/Z_o , ketika tegangan balik/mundur ini mencapai sumber, nilai tegangan kembali ke nilai V_A . Seperti yang dapat dilihat pada gambar 7 dan 8, untuk V_{out} , tegangan balik/mundur ini lebih besar pada tegangan balik pertama dan kemudian menurun dari waktu ke waktu hingga mencapai nilai yang sama dengan nilai tegangan sumber dan beban.

Tabel 2: Tegangan maju dan mundur untuk nilai $R_L=5Z_o$

V_A	:	10	V		
Z_o	:	10	Ohm		
R_L	:	50	Ohm		
V_{Fr} (V)	I_{fr} (A)	I_e (A)	ΔV (V)	V_b (V)	I_b (A)
10	1	0.8	6.6666667	3.333333	0.333333
10	-0.33333	-0.53333	-4.444444	14.44444	0.111111
10	0.555556	0.355556	2.962963	7.037037	0.259259
10	-0.03704	-0.23704	-1.975309	11.97531	0.160494
10	0.358025	0.158025	1.3168724	8.683128	0.226337
10	0.09465	-0.10535	-0.877915	10.87791	0.182442
10	0.270233	0.070233	0.5852766	9.414723	0.211706
10	0.153178	-0.04682	-0.390184	10.39018	0.192196
10	0.231215	0.031215	0.2601229	9.739877	0.205202
10	0.17919	-0.02081	-0.173415	10.17342	0.196532
10	0.213873	0.013873	0.1156102	9.88439	0.202312

10	0.190751	-0.00925	-0.077073	10.07707	0.198459
10	0.206166	0.006166	0.0513823	9.948618	0.201028
10	0.195889	-0.00411	-0.034255	10.03425	0.199315
10	0.20274	0.00274	0.0228366	9.977163	0.200457

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam studi mengenai difusi arus dalam sebuah konduktor salah satunya adalah kecepatan propagasi pergerakan arus yang dipengaruhi oleh permaebilitas, konduktifiti serta ukuran konduktor. Ketika inisial tegangan diberikan pada saluran konduktor, perpindahan medan listrik (E) yang berkaitan dengan perpindahan *wavefront* dari arus I_D . Adapun medan magnet (H) yang juga bergantung pada kecepatan pergerakan I_D akan menghasilkan *back electrostatic* (E_b) yang akan membatasi kecepatan pergerakan *electromagnetic*. Karakteristik difusi dan propagasi ditentukan oleh besarnya nilai perbandingan antara beban (R_L) dengan nilai impedansi saluran konduktornya (Z_o). Dari hasil simulasi dan pengukuran laboratorium dapat disimpulkan bahwa jika R_L lebih besar dari pada Z_o , maka akan timbul *multiple reflection* yang mengakibatkan tegangan maju dan mundur akan naik turun dan semakin berkurang dari waktu ke waktu hingga mencapai nilai nominal tegangan sumber yang diberikan. Untuk melengkapi studi difusi arus ini, maka studi selanjutnya disarankan untuk beban yang lebih kecil dari nilai impedansi saluran.

V. DAFTAR PUSTAKA

Boylestad, Introductory Circuit Analysis, Mc. Milan Publishing Company, New Jersey, 1990.

Prof. Dr. Wilton, Lecture Notes: Poynting Theorem. Available: <http://www0.egr.uh.edu/courses/ece/ece3317/SectionWilton/Class%20Notes/NOTES/notes%2014%203317.pdf>

Nathan Ida, Engineering Electromagnetics, Springer: Akron.