

**BENTUK GEOMETRI JALUR TRANSMISI PADA
TATA LETAK IC DIGITAL GaAs**

Andreas Ardian Febrianto
Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

Intisari

Tata letak keping IC GaAs memerlukan interkoneksi untuk keperluan konsumsi daya dan transmisi sinyal. Penerapan tata letak keping IC GaAs dijelaskan dengan beberapa struktur ragam TEM (*transverse electromagnetic*) seperti *microstrip*, *coplanar strip* (CPS), atau *coplanar waveguide* (CPW), dan *stripline*. Jalur interkoneksi yang terjadi pada GaAs dapat dianalisis dengan menggunakan dua ragam TEM (ragam genap dan ragam gasal) untuk model *microstrip* dan *stripline* sehingga dapat dianalisis berdasarkan perbedaan impedansi dan perbedaan kecepatan. Selain itu dapat juga dianalisis dengan mode superposisi untuk model *coplanar*.

Kata kunci : Jalur transmisi; Tata letak IC Digital GaAs

1. Bentuk Jalur Transmisi pada GaAs

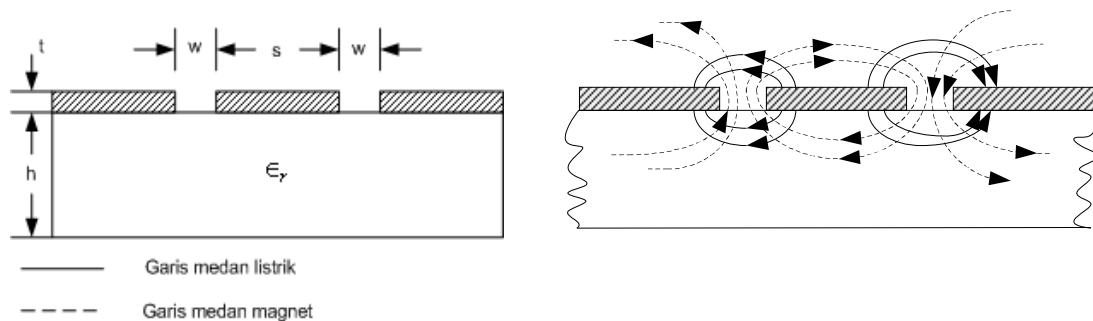
Lapisan logam jamak adalah teknologi yang digunakan IC GaAs. Struktur yang dihasilkan keping IC GaAs bersifat tidak planar sehingga menghasilkan *step coverage* oleh jalur logam. Masalah muncul jika komponen-komponen yang digunakan dalam fabrikasi untai terintegrasi disusun tidak dalam satu lapis melainkan dalam beberapa lapis ke atas. Dua jenis lapisan *pasivasi* atau dielektrik yang umumnya digunakan adalah silikon nitride dan polyimide. Silikon nitride digunakan saat dibutuhkan lapisan dielektrik yang tinggi. Polyimide adalah lapisan polimer yang mempunyai sifat keplanaran sehingga dapat mengurangi masalah *step coverage* jika interkoneksi dengan logam lapisan ke dua digunakan dan saat *curing* temperaturnya rendah, yaitu 200° C – 400° C.

Interkoneksi antara dua jalur transmisi dapat terjadi jika impedansinya match. Nilai impedansi dari jalur transmisi dapat dihitung salah satunya dengan menggunakan perhitungan impedansi dari bentuk geometri serupa yang sering diperoleh pada tata letak dari IC GaAs. Bentuk geometri serupa tersebut adalah *coplanar waveguide*, *coplanar strips*, *microstrip*, *stripline*.

1.1. Jalur Transmisi dengan Bentuk Geometri *Coplanar*

1.1.1. Jalur Transmisi dengan Bentuk Geometri *Coplanar Waveguide* (CPW)

Pandu gelombang *coplanar* tersusun dari “*conducting strip*” di tengah, diletakkan pada substrat dielektrik dan di paralel dengan dua *coplanar ground* seperti gambar berikut ini.



Gambar 1. Tampang Lintang *Coplanar Waveguide* .

Keuntungan peranti ini adalah bahwa komponen untai pasif atau aktif dapat dihubungkan dengan peranti ini, baik secara seri atau paralel. Pandu gelombang *coplanar* ini dipakai sebagai unsur untai dan sebagai saluran interkoneksi.

Rumus pendekatan impedansi karakteristik pandu gelombang *coplanar* dengan asumsi t kecil, $0 < k < 1$ dan $h \gg w$ adalah :

$$Z_0 = \frac{30 p^2}{\sqrt{(\epsilon_{re} + 1)/2}} \left[\ln \left(2 \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right) \right]^{-1} \text{ [ohm]} \quad (1)$$

dengan $k = \frac{s}{s + 2w}$;

s = lebar strip - tengah ;

w = lebar slot / alur ; dan

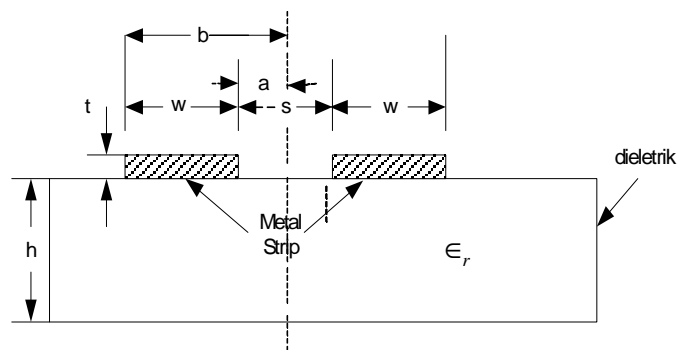
ϵ_{re} = konstanta dielektrik relatif .

Rumus empiris ϵ_{re} adalah:

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left[\tanh \left(1,785 \log \frac{h}{w} + 1,75 \right) + \frac{kw}{h} \left(0,04 - 0,7k(1 - 0,1\epsilon_r) \frac{(0,15 + k)}{100} \right) \right]$$

1.1.2. Jalur Transmisi dengan Bentuk Geometri *Coplanar strips* (CPS)

Struktur *coplanar – strips* hampir sama dengan saluran transmisi ”*twin – lead*”. Ragam rambatan gelombang *coplanar – strips* sama dengan *twin – lead* yaitu pada frekuensi tinggi bersifat sebagai non TEM dan pada frekuensi rendah bersifat sebagai *Quasi TEM*.



Gambar 2. Tampang Lintang *Coplanar Strips*.

Dua *strip* dianggap terpisah dari konduktor yang berdekatan pada permukaan. Rumus pendekatan impedansi karakteristik untuk jarak antara *coplanar – strips* dan konduktor terdekat sebesar $10b$ dan, $0 \leq k < 0,707$, adalah

$$Z_0 = \frac{120p}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{p} \ln \left(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right) \text{ ohm} \quad (2)$$

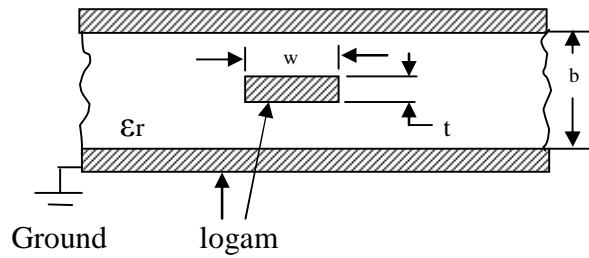
dengan $k = \frac{a}{b}$;

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{\epsilon_{re} - 1}{2} \quad ; \text{ dan}$$

ϵ_{re} adalah konstanta dielektrik relatif.

1.2. Jalur Transmisi dengan Bentuk Geometri *Stripline*

Stripline ini cocok untuk untai berpita (BW) lebar. Kerugiannya adalah sekali dibuat, untai tidak dapat dimodifikasi karena “*strip*” di tengah logam tersebut ditutup oleh dielektrik yang diapit oleh dua logam. Ragam rambatan gelombang *stripline* adalah TEM.



Gambar 3. Tampang Lintang *Stripline*.

Nilai pendekatan impedansi karakteristik *stripline* diperoleh dengan menganggap “*conducting strip*” di tengah sangat kecil dan $0,2 < k < 3$, sehingga diperoleh nilai pendekatan sebagai berikut:

$$Z_o = \frac{30p^2}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\ln \left(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right) \right]^{-1} \text{ [ohm]} \quad (3)$$

dengan $k = \tanh \left(\frac{pw}{2b} \right)$;

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif ;

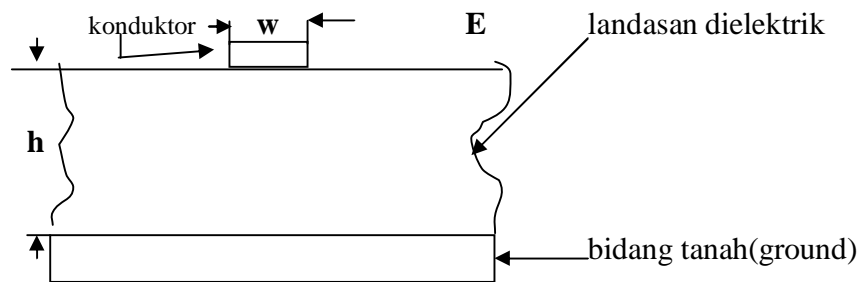
w = lebar “*strip*” di tengah [cm]; dan

b = tebal dielektrik [cm].

1.3. Jalur Transmisi dengan Bentuk Geometri *Microstrip*

Saluran *microstrip* terdiri dari konduktor dan dipisahkan oleh dielektrik dari bidang tanah. Pada penggunaan landasan dielektrik dengan nilai yang dipakai tinggi, garis - garis medan listrik akan terkonsentrasi pada bahan dielektrik tersebut dan menghasilkan untai yang kompak.

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{re}) lebih rendah daripada konstanta dielektrik landasan itu sendiri (ϵ_r) karena banyak garis medan yang sesungguhnya, berada di luar landasan seperti pada Gambar 1.



Gambar 4. Tampang Lintang *Microstrip*.

Umumnya landasan meliputi *Teflon “ gas – impregnated ”*, alumina, plastik khusus, *polymide semiinsulating GaAs* dan *seminsulating Si* pada beberapa kasus. Empat yang awal adalah landasan yang sering dipakai karena cocok dan berguna untuk mikro gelombang dan elemen logika kecepatan tinggi. GaAs dan Si dipakai untuk untai mikrogelombang monolitik dan diintegrasikan dengan silikon – diode, transistor dan unsur – unsur aktif lainnya pada keping IC semikonduktor.

Rumus pendekatan impedansi karakteristik “*microstrip-line*” dengan asumsi ketebalan strip penghantar t kecil adalah sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad \text{untuk } w/h \geq 1 \quad (4)$$

$$\text{dan } Z_0 = 120 \frac{p}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \left[\frac{w}{h} + 1,39 + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1,44 \right) \right]^{-1} \quad \text{untuk } 1 \geq w/h \quad (5).$$

Nilai ϵ_{re} dinyatakan sebagai berikut :

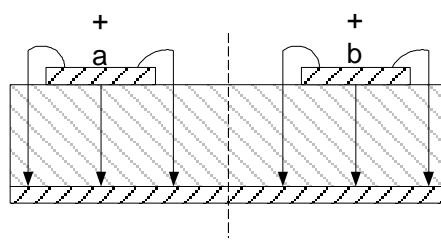
$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

dengan h = ketebalan landasan dielektrik [cm]; dan
 w = lebar “*conducting – strip*” [cm].

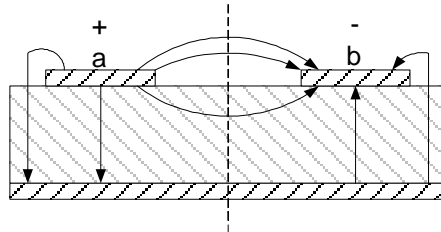
2. Analisis Dua Jalur Interkoneksi dalam Dua Ragam TEM

Nilai impedansi dapat juga dianalisis dengan menggunakan menggunakan dua ragam TEM dan teori jalur transmisi seperti yang dijelaskan pada bab tiga. Interkoneksi yang baik tidak hanya impedansinya yang diperhatikan tetapi perlu mengatur catu daya dan perancangan bumi serta mengurangi cakup silang yang dihasilkan dari jalur berpasangan. Dua ragam TEM yang digunakan untuk mencari impedansi yang match adalah ragam genap dan ragam gasal.

teori jalur transmisi yang dijelaskan dibab sebelumnya berlaku untuk jalur transmisi tunggal, jika jalur transmisi berpasangan maka dianalisis dengan dua ragam TEM. Interkoneksi antar saluran GaAs dianalisis dengan menggunakan dua ragam TEM yang secara umum dikenal dengan ragam “genap dan gasal”.



Gambar 5(a). Simetri *Microstrip* Ragam Genap.



Gambar 5(b). Simetri *Microstrip* Ragam Gasal.

Impedansi ragam genap dan ragam gasal interkoneksi saluran dijelaskan sebagai impedansi saluran tunggal dalam kondisi yang berbeda ketika saluran dijalankan dalam ragam genap dan gasal secara berturut – turut. Hal itu dapat dilihat dalam Gambar 5(a) untuk ragam genap dan Gambar 5(b) untuk ragam gasal.

2.1. Analisis Dua Jalur Transmisi dalam Ragam Genap

Kapasitansi per satuan panjang dianalisis berdasarkan Gambar 6 (a). Pada saluran ragam genap, C_{ab} tidak berpengaruh, sehingga impedansi ragam genap untuk saluran menjadi sebagai berikut :

$$Z_o^e = \frac{1}{v^e C_o} \quad (7)$$

simetri dengan impedansi ragam genap untuk saluran b, dengan v^e adalah kecepatan ragam genap untuk saluran a.

Kecepatan gelombang (v^e) untuk ragam genap dengan ϵ_{eff}^e adalah konstanta dielektrik efektif untuk ragam genap, adalah sebagai berikut :

$$v^e = \frac{1}{\sqrt{m \epsilon_{eff}^e}} \quad (8).$$

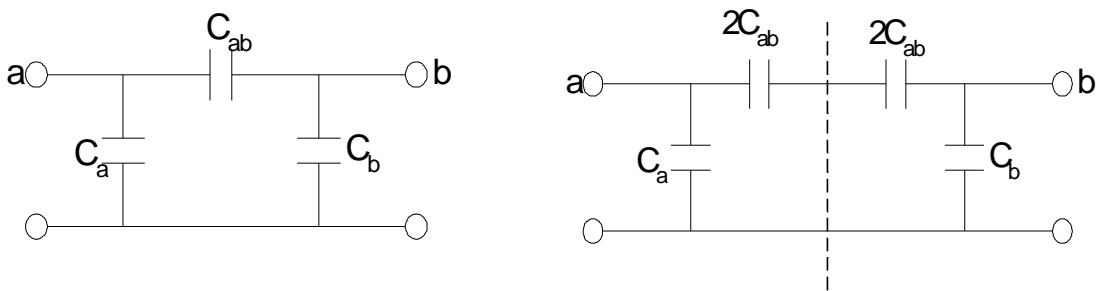
Hal di atas berbeda untuk saluran *microstrip*, karena saluran *microstrip* mempunyai dua dielektrik yang berbeda. Ragam genap saluran *microstrip* ditunjukkan pada Gambar 5(a). Pada kasus ragam genap, dua saluran mempunyai tanggapan potensial yang sama terhadap bidang bumi yang ditunjukkan dalam Gambar 5(a).

Tegangan ragam genap pada saluran a di titik x yang dihubungkan ke saluran b untuk titik x yang sama dinyatakan sebagai berikut:

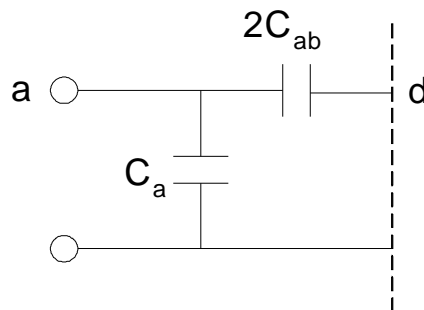
$$V_{eb}(t, x) = V_{ea}(t, x) \quad (9)$$

sedangkan arus pada saluran adalah sebagai berikut :

$$I_{eb}(t, x) = I_{ea}(t, x) \quad (10).$$



Gambar 6(a). dan 6(b). Dua Konfigurasi Persamaan untuk Distribusi Kapasitansi Per Satuan Panjang untuk Interkoneksi Dua Jalur.



Gambar 6(c). Bagian Konfigurasi Gambar 6(b).

2.2. Analisis Dua Jalur Transmisi dalam Ragam Gasal

Kapasitansi per satuan panjang dianalisa berdasar Gambar 6 (b) yang akan terlihat sama dengan Gambar 6 (a) untuk impedansi saluran ragam gasal. Saluran a dihitung dengan pemisahan C_{ab} menjadi dua kapasitor seri seperti Gambar 6 (b) dan Gambar 6 (c), dengan titik d adalah potensial nol untuk ragam gasal. Nilai impedansi ragam gasal untuk saluran a adalah sebagai berikut :

$$Z_o^o = \frac{1}{v^o C_a} \quad (11)$$

dengan v^o adalah kecepatan ragam gasal, nilai ini juga berlaku untuk saluran b.

Kecepatan gelombang (v^o) untuk ragam genap dengan ϵ_{eff}^o adalah konstanta dielektrik efektif untuk ragam genap, adalah sebagai berikut:

$$v^o = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}^o}} \quad (12).$$

Hal di atas berbeda untuk saluran *microstrip* karena saluran *microstrip* mempunyai dua dielektrik yang berbeda. Perbedaan ragam genap untuk saluran *microstrip* dapat dianggap seperti Gambar 5 (b). Pada kasus ragam gasal, tanggapan potensial dari satu saluran terhadap bumi negatif saluran lain ditunjukkan dalam Gambar 5 (b).

Tegangan ragam gasal pada saluran a di titik x yang dihubungkan ke saluran b untuk titik x yang sama dinyatakan sebagai berikut

$$V_{ob}(t, x) = -V_{oa}(t, x) \quad (13)$$

sedangkan arus pada saluran adalah :

$$I_{ob}(t, x) = -I_{oa}(t, x) \quad (14).$$

3. Analisis Dua Jalur Interkoneksi dengan Ragam Superposisi

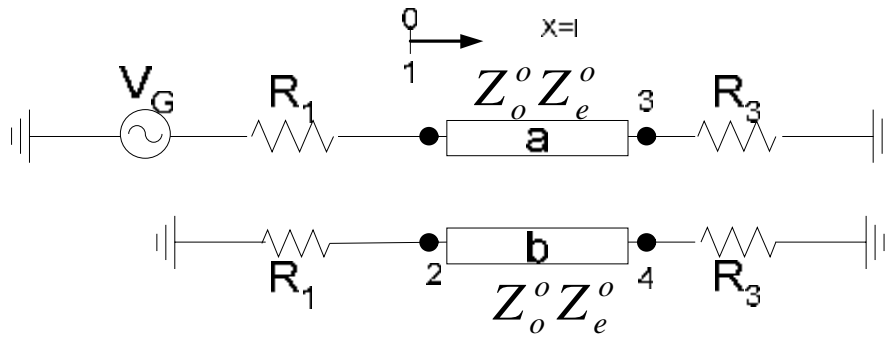
Superposisi ragam genap (Gambar 7(b)) dan ragam gasal (Gambar 7(c)) dapat dilihat dari Gambar 7(a). Waktu ragam genap dilambangkan dengan T_e dan waktu ragam gasal dilambangkan dengan T_o , jika V_g mulai pada $t = 0$ untuk $t < 2 T_e$ dan $2T_o$ maka tidak ada gelombang yang dipantulkan ke input.

Tegangan ragam genap dalam Gambar 7(b) pada waktu titik 1 adalah:

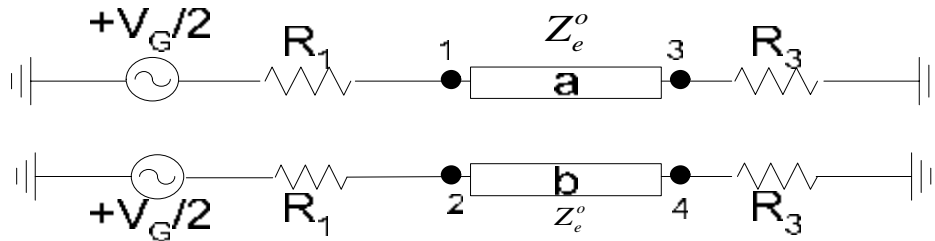
$$v_{e1}^t = \frac{v_g}{2} \left[\frac{Z_o^e}{Z_o^e + R1} \right] \quad (15);$$

dan dari Gambar 7(c) tegangan ragam gasal adalah:

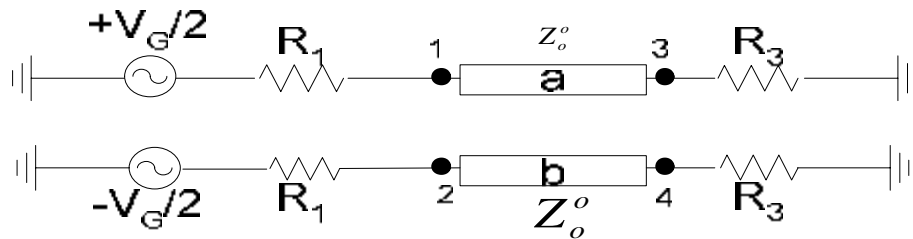
$$v_{o1}^t = \frac{v_g}{2} \left[\frac{Z_o^o}{Z_o^o + R1} \right] \quad (16);$$



Gambar 7(a). Superposisi Jalur Berpasangan Ragam Genap dan Gasal.



Gambar 7(b). Jalur Berpasangan Ragam Genap.



Gambar 7(c). Jalur Berpasangan Ragam Gasal.

Tegangan total pada titik dalam Gambar 7(a) adalah $v_1 = v'_{e1} + v'_{o1}$ dan memakai Persamaan (13) dan (14) dengan $x = 0$ maka tegangan pada titik 2 adalah $v_2 = v'_{e1} - v'_{o1}$. Memakai Persamaan (15) dan (16) didapat sebagai berikut:

$$\left. \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \end{matrix} \right\} = \frac{v_G}{2} \left[\frac{Z_o^e}{Z_o^e + R_1} \right] \pm \frac{v_G}{2} \left[\frac{Z_o^o}{Z_o^o + R_1} \right] \quad (17)$$

Gelombang pantul pada ujung jalur tidak ada untuk $t < 2T_e$ dan $2T_o$ sehingga diperoleh persamaan berikut berdasar Persamaan (17):

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{Z_o^e - Z_o^o}{(2Z_o^e Z_o^o / R_1) + Z_o^e + Z_o^o} \quad (18)$$

Tegangan datang ragam genap dan gasal pada titik tiga adalah waktu tunda tegangan transmisi ragam genap dan ragam gasal pada titik 1 maka:

$$v_{e3}^i(t) = v_{e1}^i(t - T_e) \quad \text{dan} \quad v_{o3}^i(t) = v_{o1}^i(t - T_o) \quad (19)$$

Koefisien pantul untuk ragam genap dan ragam gasal pada titik 1 dan 3 adalah :

$$\Gamma_{em|m=1or3} = \frac{v_{em}^r}{v_{om}^i} = \frac{R_m - Z_o^e}{R_m + Z_o^e} \quad \text{dan} \quad \Gamma_{om|m=1or3} = \frac{v_{om}^r}{v_{om}^i} = \frac{R_m - Z_o^o}{R_m + Z_o^o} \quad (20)$$

Pantulan pertama pada akhir jalur kanan, tegangan total pada titik 3 dan 4 adalah jumlah dari tegangan datang dan pantul

$$\left. \begin{matrix} v_3 \\ v_4 \end{matrix} \right\} \left\{ v_{e3}^i + v_{e3}^r \pm [v_{o3}^i + v_{o3}^r] \right\} \quad \text{dan} \quad \left. \begin{matrix} v_3 \\ v_4 \end{matrix} \right\} \left\{ v_{e3}^i (1 + \Gamma_{e3}) \pm v_{o3}^i (1 + \Gamma_{e3}) \right\} \quad (21)$$

Gelombang berjalan dari $x=0$ ke $x=1$ dan kembali N kali, total tegangan pada titik 1 dan 2 adalah penjumlahan gelombang datang ditambah jumlah dari semua gelombang pantul pada $x=1$ pada ujung jalur dan pantulan kembali pada $x=0$. Hasilnya adalah sebagai berikut:

$$\left. \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \end{matrix} \right\} = \frac{Z_o^e}{2(Z_o^e + R_1)} \left[v_G(t) + \sum_{n=1}^N v_G(t - 2nT_e) \Gamma_{e3}^n \Gamma_{e1}^{n-1} (1 + \Gamma_{e1}) \right] \\ \pm \frac{Z_o^o}{2(Z_o^o + R_1)} \left[v_G(t) + \sum_{n=1}^N v_G(t - 2nT_o) \Gamma_{o3}^n \Gamma_{o1}^{n-1} (1 + \Gamma_{o1}) \right] \quad (22)$$

dengan N adalah $t_{maks}/(2T_{sm})$, t_{maks} adalah nilai maksimum dari t dan T_{sm} lebih kecil dari T_e dan T_0 . Bagaimanapun Persamaan (22) lebih tepat jika persamaan semakin sedikit. Hasilnya hubungan untuk $x=1$ pada ujung jalur adalah:

$$\left. \begin{array}{l} v_3 \\ v_4 \end{array} \right\} = \frac{Z_o^e}{2(Z_o^e + R_1)} \left[\sum_{n=0}^N v_G [t - (2n + 1)\Gamma e] (\Gamma_{e3} \Gamma_{e1}^1)^n (1 + \Gamma_{e3}) \right] \\ \pm \frac{Z_o^o}{2(Z_o^o + R_1)} \left[\sum_{n=0}^N v_G [t - (2n + 1)\Gamma e] (\Gamma_{e3} \Gamma_{e1}^1)^n (1 + \Gamma_{o3}) \right] \quad (23).$$

4. Kesimpulan

Analisis secara periodik interkoneksi jalur transmisi sinyal dan jalur distribusi daya yang terdapat pada keping IC GaAs, dapat dilihat seperti struktur sepasang *microstrip*, *stripline* maupun *coplanar*. Interkoneksi pada tata letak keping IC GaAs berupa sepasang *microstrip*, *stripline* maupun *coplanar* dapat dianalisis dengan metode superposisi dua ragam TEM (ragam genap dan ragam gasal).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Harrold, S.J., "An Introduction to GaAs IC Design", Prentice Hall International, New York, 1993.
- [2]. Long, Stephen I, "GaAs Digital IC Design", Mc Graw Hill Book Company, Singapore, 1990.
- [3]. Soares, Robert, ed, "GaAs MESFET Circuit Design", Artech House Inc, Boston and London, 1988.