

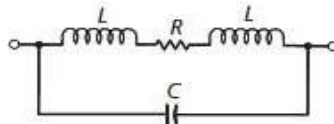
II.3 Teori Pendukung

II.3.1 Komponen Pasif pada Frekuensi Tinggi

Perancangan sebuah penguat daya banyak faktor yang dapat mempengaruhinya seperti pada karakteristik komponen, jenis penguat, *biasing* dan rangkaian penyesuai impedansi. Karakteristik komponen-komponen pasif seperti resistor, induktor dan kapasitor pada frekuensi tinggi tidak lagi bersifat sebagai komponen pasif murni, tetapi frekuensi tinggi akan mempengaruhi komponen pasif tersebut menjadi sebuah rangkaian ekuivalennya [3].

a. Resistor

Resistor merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam sebuah rangkaian maka dari itu resistor bersifat resistif dan pada umumnya terbuat dari bahan karbon. Satuan untuk resistansi pada resistor adalah Ohm dengan simbol Ω (Omega).



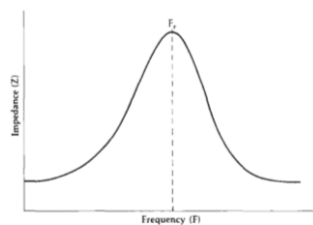
Gambar II.1 Rangkaian Ekuivalen Resistor

$$X_L = \omega L \dots\dots\dots(2.1)$$

$$X_L = \frac{1}{\omega C} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \dots\dots\dots(2.3)$$

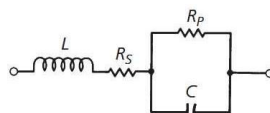
Pada frekuensi tinggi resistor mengandung kapasitansi dan induktansi parasitik sehingga tidak bersifat resistif murni lagi.



Gambar II.2 Karakteristik Impedansi Resistor

b. Kapasitor

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik dalam sementara waktu dengan satuan kapasitansinya adalah Farad dengan simbol (F).



Gambar II.3 Rangkaian Ekuivalen Kapasitor

Pada frekuensi tinggi, efek induktansi yang ditimbulkan oleh kaki-kaki kapasitor dapat menimbulkan perubahan karakteristik dari kapasitor itu sendiri, menjadi komponen yang kompleks yang terdiri dari induktansi, kapasitansi, dan resistansi. Besarnya pengaruh reaktansi kapasitif adalah:

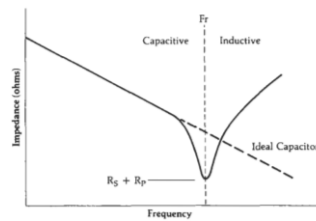
$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

X_c = Reaktansi kapasitif (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

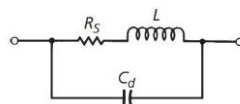
C = Kapasitansi (F)



Gambar II.4 Karakteristik Impedansi Kapasitor

c. Induktor

Induktor atau dikenal dengan *coil* adalah komponen elektronik yang terdiri dari susunan lilitan kawat membentuk sebuah kumparan yang dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki nilai resistansi. Pada dasarnya, induktor dapat menimbulkan medan magnet jika dialiri oleh arus listrik. Medan magnet yang ditimbulkan tersebut dapat menyimpan energi dalam waktu yang relative singkat. Kemampuan menyimpan energi magnet disebut dengan induktansi yang satuannya adalah Henry (H). Induktor dapat digunakan untuk menahan arus AC dan melewatkan arus DC.



Gambar II.5 Rangkaian Ekuivalen Induktor

Pada frekuensi tinggi besarnya nilai reaktansi induktif (X_L) dari suatu induktor tergantung pada frekuensi yang digunakan dan nilai induktansi dari induktor tersebut, yang sesuai dengan persamaan di bawah ini:

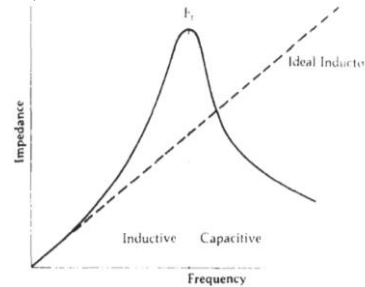
$$X_L = \omega L = 2\pi f L \dots\dots\dots(2.5)$$

Induktor yang digunakan pada perancangan penguat daya ini menggunakan induktor dengan inti udara, dimana banyaknya lilitan yang diperlukan untuk mencari sebuah inductor dengan nilai dapat dicari menggunakan persamaan di bawah ini:

$$N = \sqrt{\frac{L(9r+10l)}{0.394r^2}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- N = Banyaknya lilitan yang diperlukan
L = Nilai induktansi dari induktor
r = Jari-jari lilitan (cm)
l = Panjang lilitan (cm)

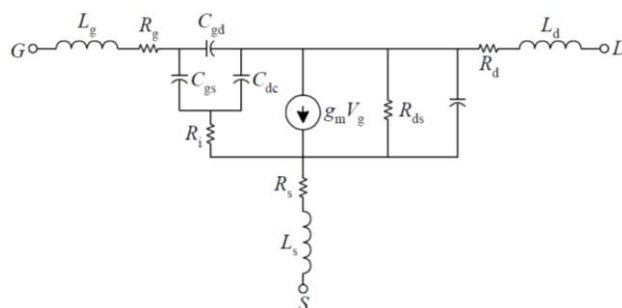


Gambar II.6 Karakteristik Impedansi Induktor

II.3.2 Transistor pada Frekuensi Tinggi

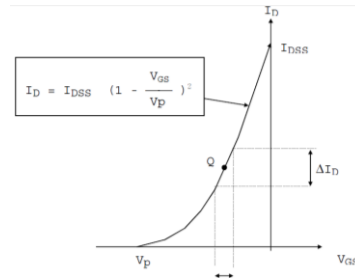
Transistor merupakan komponen dasar untuk sistem penguat. Transistor harus berada di daerah kerja aktif yang ditentukan oleh bias atau tegangan yang diberikan untuk bisa bekerja sebagai penguat.

Pada tugas akhir ini menggunakan transistor jenis NPN FET (*Field Effect Transistor*) yaitu HEMT (*High Electron Mobility Transistor*). Pada frekuensi tinggi transistor mempunyai model ekuivalen yang dibuat dalam model hybrid, seperti yang terlihat pada Gambar II.7 di bawah ini merupakan model ekuivalen dari transistor jenis HEMT (*High Electron Mobility Transistor*).



Gambar II.7 Rangkaian Ekuivalen AC FET Jenis HEMT

Transkonduktansi atau g_m merupakan parameter penting dalam sebuah transistor FET. Dimana parameter g_m merupakan perbandingan antara perubahan arus I_D terhadap perubahan tegangan V_{GS} di sekitar titik kerja dengan V_{DS} konstan. Nilai transkonduktansi atau g_m dapat diperoleh dari kurva transfer seperti pada Gambar II.8 di bawah ini.



Gambar II.8 Kurva Transfer untuk Menentukan Transkonduktansi

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \Big|_{V_{DS} = \text{konstan}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Karena kurva transkonduktor tidak linier sehingga harga g_m tergantung pada posisi titik kerja Q. Jadi harga g_m terkecil dapat diperoleh ketika $V_{GS} = V_P$ atau ketika transistor cut off. Sedangkan ketika $V_{GS} = 0$, yakni pada saat arus I_D sama dengan I_{DSS} maka dapat diperoleh harga g_m terbesar. Dan harga g_m ketika $V_{GS} = 0$ ini disebut dengan g_{m0} . Dengan menggunakan persamaan Shockley:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Sehingga harga g_m dapat diperoleh secara matematis dengan menurunkan persamaan transfer didapatkan:

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \dots \dots \dots (2.11)$$

Atau

$$g_m = g_{m0} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \dots \dots \dots (2.13)$$

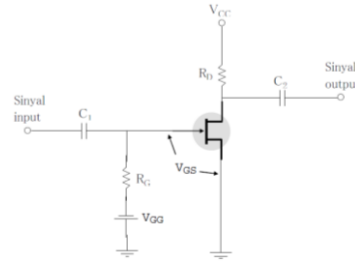
Persamaan (2.11), (2.12), dan (2.13) juga dapat berlaku untuk JFET dan MOSFET baik itu untuk kanal-P maupun untuk kanal-N.

II.3.3 DC Biasing (Pra Tegangan)

Sebuah rangkaian penguat dapat bekerja ketika diberikan tegangan bias. Dengan pemberian tegangan bias yang tepat maka transistor FET dapat bekerja pada daerah yang aktif. Pada tugas akhir ini menggunakan metode *fixed biasing*.

Metode *fixed biasing* ini merupakan metode pemberian tegangan bias yang paling sederhana. Selain itu metode *fixed biasing* ini juga menggunakan dua buah sumber daya yaitu V_{DD} dan V_{GD} seperti yang terlihat pada Gambar II.9 di bawah ini merupakan rangkaian penguat JFET dengan menggunakan metode *fixed biasing*

kanal-N, sedangkan untuk kanal-P semua polaritas tegangan harus dibalik. Tegangan V_{GS} sepenuhnya tergantung pada sumber V_{GD} , yang dimana jika nilai V_{GD} tetap maka hasil nilai tegangan V_{GS} juga akan tetap. Untuk analisa DC, kapasitor kopel C_1 dan C_2 dianggap terbuka.



Gambar II.9 Rangkaian Penguat FET dengan *Fixed Biasing*

Dengan menggunakan hukum Ohm maka dapat diperoleh:

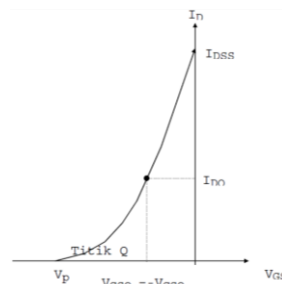
$$I_G = 0 \dots \dots \dots (2.14)$$

$$V_{RG} = I_G R_G \dots \dots \dots (2.15)$$

$$V_{RG} = -V_{GG} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan memasukkan nilai I_D maka akan didapatkan nilai V_{DS} yang ditentukan dengan menerapkan hukum kirhcoff:

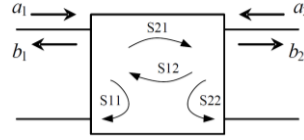
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D \dots \dots \dots (2.18)$$



Gambar II.10 Titik Kerja JFET pada Kurva Transfer

II.3.4 Parameter-S (*Scattering Parameters*)

Parameter-S merupakan suatu konsep yang penting dalam mendesain gelombang mikro. Pada frekuensi tinggi itu sendiri parameter yang diukur adalah parameter-S yang menggunakan konsep magnitud dan phase dari gelombang berjalan atau hubungan antar tegangan gelombang datang dengan tegangan pantul dalam suatu rangkaian kutub-4. Arah gelombang-gelombang ini diperlihatkan pada Gambar II.11. Parameter-S ini juga lebih banyak digunakan dari pada parameter-Y dikarekan parameter-S lebih mudah dimengerti dan lebih mudah dilakukan pengukuran.



Gambar II.11 Parameter-S Kutub 4

Gelombang datang merupakan gelombang daya yang dipantulkan oleh b_1 dan b_2 . Hubungan gelombang-gelombang tersebut adalah sebagai berikut:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \dots \dots \dots (2.28)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \dots \dots \dots (2.29)$$

Dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.30)$$

Arah gelombang b_1 dan b_2 meninggalkan kutub-4, dan a_1 dan a_2 menuju kutub-4. Dari persamaan (2.30) maka dapat ditentukan gelombang datang dan gelombang pantul pada kutub-4 sebagai berikut:

$$a_1 = \frac{V_1 + Z_{01}I_1}{2\sqrt{Z_{01}}} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$a_2 = \frac{V_2 + Z_{02}I_2}{2\sqrt{Z_{02}}} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$b_1 = \frac{V_1 - Z_{01}I_1}{2\sqrt{Z_{01}}} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$b_2 = \frac{V_2 - Z_{02}I_2}{2\sqrt{Z_{02}}} \dots \dots \dots (2.34)$$

S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} disebut parameter-S hamburan kutub-4. Dari persamaan (2.30) juga dapat ditentukan S_{11} , S_{12} , S_{21} , dan S_{22} sebagai berikut:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big| a_2 = 0 \dots \dots \dots (2.35)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big| a_1 = 0 \dots \dots \dots (2.36)$$

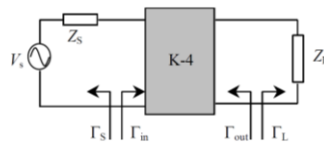
$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big| a_2 = 0 \dots \dots \dots (2.37)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big| a_1 = 0 \dots \dots \dots (2.38)$$

Artinya, sumber kita hubungkan ke port 1, kemudian ukur S_{11} sebagai perbandingan antara b_1 dan a_1 , ketika $a_2 = 0$. Yang dimana S_{11} ini merupakan koefisien pantul di port 1 ketika tidak ada daya yang datang dari port 2 ke port 1, atau port 2 dihubungkan dengan beban yang sesuai. Sedangkan S_{21} merupakan koefisien transmisi dari port 1 ke port 2 ketika $a_2 = 0$. Dengan cara yang sama juga S_{22} dan S_{21} adalah koefisien pantul di port 2 dan koefisien transmisi dari port 2 ke port 1, ketika $a_1 = 0$.

II.3.5 Kestabilan Penguat (*Stability*)

Kestabilan pada perancangan penguat merupakan hal penting yang harus diperhatikan. Kestabilan yang dimaksud disini merupakan stabil terhadap osilasi, karena pada suatu rangkaian penguat mungkin saja terjadi osilasi, yang dimana impedansi port masukan dan keluarannya mempunyai resistansi negatif. Hal tersebut secara tidak langsung menyatakan bahwa $|\Gamma_{in}| > 1$ atau $|\Gamma_{out}| > 1$. Karena Γ_{in} dan Γ_{out} tergantung pada rangkaian *matching* pada sumber dan beban seperti yang terlihat pada Gambar II.12. Maka dari itu proses perancangan rangkaian penyesuaian impedansi harus didahului oleh kondisi penguat yang sudah dalam keadaan stabil mutlak.



Gambar II.12 Parameter-S Kutub 4

Kestabilan memiliki dua kondisi yang dimana, yaitu:

- Absolutely stable* (Stabil Mutlak)

Dikatakan stabil secara mutlak dimana jika penguat stabil untuk setiap impedansi input (Z_{in}) dan impedansi output (Z_{out}) bernilai positif untuk semua harga positif real impedansi sumber dan beban.

- Condotionaly stable* (Stabil Bersyarat)

Dikatakan stabil bersyarat dimana jika bagian real dari impedansi input (Z_{in}) dan impedansi output (Z_{out}) bernilai positif untuk beberapa harga positif real impedansi sumber dan beban.

Kestabilan dapat ditentukan dengan cara menghitung faktor kestabilan berdasarkan parameter-S yang diperoleh dari datasheet transistor yang akan kita gunakan. Dengan demikian jika dari sumber ke kutub-4 maka didapatkan koefisien pantul masukan Γ_{in} , sedangkan jika ke arah sumber maka didapatkan Γ_s . Pada keluaran, dengan cara yang sama maka dapat Γ_{out} , sedangkan jika ke keluaran kutub-4 dan ke beban di dapatkan Γ_L . Conjugate match diperoleh jika $\Gamma_{in} = \Gamma_s^*$ dan $\Gamma_{out} = \Gamma_L^*$.

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 |S_{12} S_{21}|} > 1 \dots \dots \dots (2.39)$$

Dengan

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \dots \dots \dots (2.40)$$

Koefisien pantul beban dan sumber:

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \dots \dots \dots (2.41)$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \dots \dots \dots (2.42)$$

Batas antara daerah stabil dan tidak stabil adalah $|\Gamma_{in}| = 1$ ($|\Gamma_{out}| = 1$), sehingga harga mutlak dari persamaan (2.40) sama dengan satu atau:

$$\left| \frac{\Delta\Gamma_L - S_{11}}{S_{22}\Gamma_L - 1} \right| = 1 \dots \dots \dots (2.43)$$

Jadi persamaan (2.43) merupakan sebuah lingkaran untuk $|\Gamma_{in}| = 1$ yang menunjukkan batas antara daerah stabil dan tidak stabil untuk Γ_L , dengan begitu lingkaran ini disebut lingkaran kestabilan beban (*load stability circle*). Sedangkan pusat dan jari-jari lingkaran kestabilan beban sebagai berikut:

$$C_L = \frac{C_L^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \dots \dots \dots (2.44)$$

$$R_L = \frac{|S_{12}S_{21}|}{||S_{22}|^2 - |\Delta|^2|} \dots \dots \dots (2.45)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.41) maka dapat diperoleh lingkaran kestabilan sumber (*source stability circle*) yang pusat dan jari-jarinya sebagai berikut:

$$C_S = \frac{C_S^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \dots \dots \dots (2.46)$$

$$R_S = \frac{|S_{12}S_{21}|}{||S_{11}|^2 - |\Delta|^2|} \dots \dots \dots (2.47)$$

Dimana

$$C_S = S_{11} - \Delta S^*_{22} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$C_L = S_{22} - \Delta S^*_{11} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$\Gamma_{SM} = C_S * \left[\frac{B_S \pm \sqrt{B_S^2 - 4|C_S|^2}}{2|C_S|^2} \right] \dots \dots \dots (2.50)$$

$$\Gamma_{LM} = C_L * \left[\frac{B_L \pm \sqrt{B_L^2 - 4|C_L|^2}}{2|C_L|^2} \right] \dots \dots \dots (2.51)$$

Dimana

$$B_S = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \dots \dots \dots (2.52)$$

$$B_L = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \dots \dots \dots (2.53)$$

Untuk mengetahui mana daerah yang stabil, harus dilakukan pengecekan dengan cara memilih $\Gamma_L = 0$ (pusat diagram smith) disubstitusikan ke persamaan (2.40) untuk mendapatkan $|\Gamma_{in}| = |S_{11}|$. Jika $|S_{11}| < 1$, maka $|\Gamma_{in}| < 1$, dimana daerah yang membuat pusat diagram smith merupakan daerah stabil. Kalau

sebaliknya, maka daerah yang membuat pusat diagram smith merupakan daerah tidak stabil.

- a. Stabil $K > 1$ dan $|\Delta| < 1$
 1. Stabil mutlak
$$||C_S| - R_S| > 1 \text{ untuk } |S_{22}| < 1$$

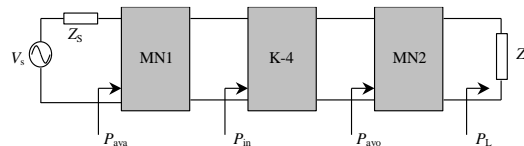
$$||C_L| - R_L| > 1 \text{ untuk } |S_{22}| < 1$$
 2. Stabil bersyarat
$$||C_S| - R_S| < 1 \text{ untuk } |S_{22}| < 1$$

$$||C_L| - R_L| < 1 \text{ untuk } |S_{22}| < 1$$
- b. Tidak stabil
$$K > 1 \text{ dan } |\Delta| > 1$$

$$K < 1 \text{ dan } |\Delta| < 1$$

II.3.6 Penguatan Daya (*Power Gain*)

Pada rangkaian frekuensi radio, power gain dari sebuah penguat sangatlah penting.



Gambar II.13 Penguat satu tingkat dengan penyesuai impedansi MN1 dan MN2

Berdasarkan Gambar II.13, *transducer power gain*, *available power gain*, dan *operating power gain*, memiliki definisikan sebagai berikut:

- a. *Transducer Power Gain*

$$G_t (\Gamma_S, S, \Gamma_L) = \frac{P_L}{P_{ava}} \dots\dots\dots(2.54)$$
- b. *Available Power Gain*

$$G_a (\Gamma_S, S) = \frac{P_{avo}}{P_{ava}} \dots\dots\dots(2.55)$$
- c. *Operating Power Gain*

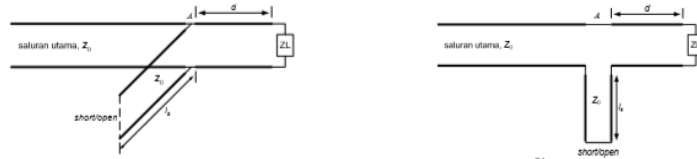
$$G_p (S, \Gamma_L) = \frac{P_L}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.56)$$

II.3.7 Penyesuai Impedansi dengan Stub

Penyesuaian impedansi digunakan untuk menyesuaikan impedansi keluaran suatu rangkaian dengan impedansi masukan rangkaian berikutnya sehingga terjadi *transfer* daya maksimum antara sumber dan beban. Stub adalah saluran transmisi yang ujungnya dihubung singkat atau dibuka untuk mendapatkan impedansi. Realisasinya stub dipasang seri atau paralel dengan saluran utama pada jarak tertentu dari beban.

- a. Stub Tunggal

Penyesuaian dengan menggunakan stub tunggal diperlihatkan pada Gambar II.14 dengan dipasang secara paralel dan secara seri. Stub dipasang pada jarak d dari beban, dengan panjang stub l_s .



Gambar II.14 Penyesuai Impedansi Stub Tunggal

II.3.8 Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*)

Mikrostrip dimana salurannya terdiri dari konduktor *strip (line)* dan sebuah konduktor bidang tanah yang dipisahkan oleh medium dielektrik dengan konstanta dielektrik ϵ_r .

Material dielektrik yang berada diantara *strip* konduktor dan *ground plane* adalah sebagai *substrat board*. Konstanta dielektrik efektif dari mikrostrip *line* adalah fungsi dari konstanta relatif dielektrik ϵ_r , ketebalan *substrat* dielektrik h , dan lebar konduktor *strip* w . Persamaan eksperimental dari konstanta dielektrik relatif efektif untuk $t/h \ll 0,005$, dinyatakan:

$$\epsilon_e = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{-1/2} + 0,04 \left[1 - \frac{W}{d} \right]^2 \right) & W/d \leq 1 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12d}{W} \right]^{-1/2} & W/d > 1 \end{cases} \quad (2.34)$$

Dan impedansi karakteristik:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d} \right) & W/d \leq 1 \\ \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_e}}{W/d + 1,393 + 0,667 \ln(W/d + 1,444)} & W/d > 1 \end{cases} \quad (2.35)$$

Untuk perancangan, jika diketahui impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik ϵ_r , maka lebar *strip* dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & W/d < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] & W/d > 2 \end{cases} \quad (2.36)$$

Dimana:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.37)$$

$$B = \frac{377\pi}{2 \times Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.38)$$