

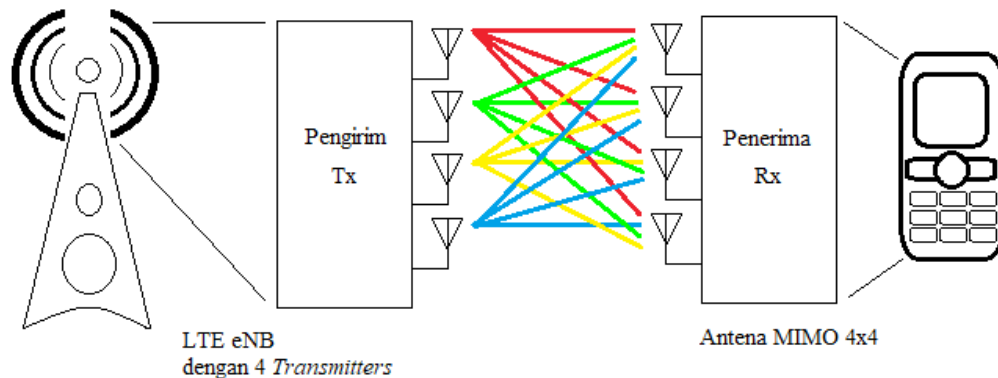
III.1 Perancangan

Untuk melakukan proyek tugas akhir dibutuhkan persiapan yang sangat matang, berikut persiapan yang telah dilakukan penulis untuk kelangsungan tugas akhir ini :

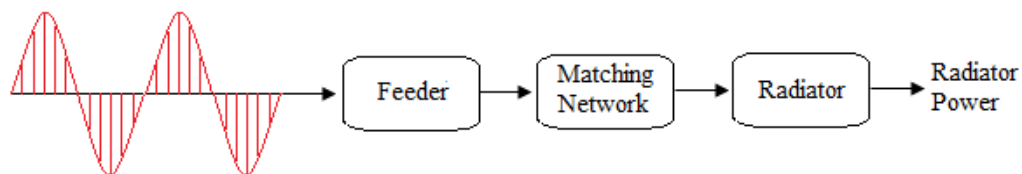
III.1.1 Studi Literatur

Persiapan yang telah dilakukan merupakan pencarian dan pengumpulan literatur sebagai bahan untuk mempelajari teori umum yang diperlukan mengenai antenna MIMO 4x4 untuk aplikasi LTE dari beberapa buku-buku referensi, jurnal, web, internet dan artikel. Dengan adanya literatur-literatur ini diharapkan mempermudah penulis untuk mengerjakan proyek akhir yang akan dilaksanakan.

III.1.2 Blok Diagram



Gambar III-1 Sistem Antena MIMO 4x4



Gambar III-2 Blok Diagram dan Cara Kerja Antena

Pada Gambar III-1 bagian pengirim tertulis eNB. eNB mengontrol operasi tingkat rendah dari semua ponselnya, dengan mengirimkan sinyal pesan seperti perintah *handover* [17]. Untuk perealisasi tugas akhir ini, penulis hanya berfokus untuk meralisasikan antenna bagian *receiver* (penerima) saja. Gambar III-2 menjelaskan bagaimana antenna bekerja dengan input antenna berupa Spektrum

Gelombang Elektromagnetik yang bersumber dari Signal Generator. Input tersebut akan masuk melalui titik pencatutan yaitu feeder. Feeder atau pencatutan tersambung dari input penerima, teknik pencatutan yang digunakan pada antenna yang dibuat merupakan teknik pencatutan *inset feed*. Sinyal dari saluran input akan disesuaikan dengan impedansi (matching impedance) antenna melalui bagian matching network pada antenna. Sinyal masuk ke matching network untuk meningkatkan bandwidth dari antenna, dan kemudian gelombang elektromagnetik diradiasikan oleh patch antenna yang berbentuk patch persegi panjang.

III.1.3 Perancangan antenna

Pada tahapan ini penulis menjelaskan mengenai perancangan antenna yang akan dibuat. Dengan tahap pertama merupakan perancangan antenna 1 elemen, dengan penentuan spesifikasi bahan antenna yang hendak digunakan, bentuk antenna yang akan direalisasikan dan perhitungan dimensi antenna serta parameter-parameter yang akan ditinjau, yaitu frekuensi kerja, *bandwidth*, *return loss*, *gain*, polarisasi dan polar radiasi. Karakteristik bahan utama yang digunakan adalah material dielektrik FR4 sebagai substrat antenna dan plat tembaga sebagai bahan untuk *ground plane* serta kawat. Berikut adalah spesifikasi dari bahan yang akan digunakan :

- Substrat Dielektrik (FR4)
 1. Permittivitas relatif (ϵ_r) : 4.4
 2. Permeabilitas relative : 0.99991
 3. Ketebalan : 3.2 mm
- *Patch* dan *ground plane* (plat tembaga)
 1. Permittivitas relatif (ϵ_r) : 1
 2. Permeabilitas relative : 0.99991
- Kawat tembaga untuk material artifisial
 1. Permittivitas relative (ϵ_r) : 1
 2. Permeabilitas relative : 0.99991
 3. Diameter : 1 mm
 4. Panjang : 3 mm

Setelah penentuan karakteristik, dilakukan perhitungan untuk menentukan ukuran dimensi antenna. Kemudian disimulasikan pada software Ansoft HFSS. Jika sudah sesuai dengan spesifikasi maka antenna siap untuk direalisasikan.

III.1.4 Bentuk Antena

Bentuk antenna yang akan direalisasikan adalah persegi panjang baik untuk bentuk *patch*, substrat maupun *ground plane*. Substrat (material dielektrik FR4) berada diantara *patch* dan *ground*. Antena yang akan dibuat menggunakan teknik pencatutan *inset feed* dengan memakai konektor SMA yang disambungkan dengan *ground plane* dan *patch*.

III.1.5 Perhitungan Dimensi Antena

Perhitungan dimensi antenna bertujuan untuk mengetahui ukuran dimensi antenna sebelum disimulasikan. Parameter paling penting untuk diketahui yang digunakan sebagai perhitungan dimensi antenna adalah permitivitas relatif substrat (ϵ_r), ketebalan bahan yang digunakan (h) serta frekuensi kerja (f_r). Pada Tabel III-1 tertera keterangan nilai parameter yang digunakan untuk menghitung dimensi antenna.

Tabel III-1 Parameter untuk perhitungan dimensi antenna

Parameter	Nilai
Permitivitas relatif (ϵ_r)	4.4
Ketebalan substrat (h)	3.2 mm
Frekuensi kerja (f_r)	2.35 GHz

Dengan diketahuinya nilai-nilai parameter tersebut, maka perhitungan dimensi dapat langsung dilakukan sebagai berikut.

III.1.5.1 Dimensi *Patch* Antena Konvensional

1. Frekuensi tengah

$$f_r = \sqrt{(2.3 \times 10^9) \times (2.4 \times 10^9)} = 2.35 \text{ GHz}$$

2. Menghitung lebar patch dengan menggunakan persamaan (II-9).

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2(2.35 \times 10^9) \sqrt{\frac{(4.4 + 1)}{2}}}$$

$$W = 38.84 \text{ mm}$$

3. Mengitung panjang patch

Sebelum mengitung panjang *patch* (L), terlebih dahulu kita mencari nilai pertambahan panjang dari *patch* akibat adanya *fringing effect* (ΔL) dengan persamaan (II-10):

$$\Delta L = 0.412h \left[\frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right]$$

Terlihat pada persamaan (II-10) h merupakan ketebalan substrat yang akan dipakai, ketebalan FR4 sebenarnya adalah 1.6 mm pada tugas akhir ini saya akan menambahkan substrat dua kali lipat menjadi 3.2 mm. ϵ_{reff} merupakan konstanta dielektrik efektif yang dihitung dengan persamaan (II-11).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12(3.2)}{38.84}}} \right)$$

$$\epsilon_{reff} = 3.12$$

Didapatlah nilai ΔL dengan men-substitusikan persamaan (II-10) dan (II-11) sebagai berikut :

$$\Delta L = 0.412(3.2) \left[\frac{(3.12 + 0.3) \left(\frac{38.84}{3.2} + 0.264 \right)}{(3.12 - 0.258) \left(\frac{38.84}{3.2} + 0.8 \right)} \right]$$

$$\Delta L = 1.510$$

Panjang *patch* dapat dicari dengan persamaan (II-12) sebagai berikut :

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 (2.35 \times 10^9) \sqrt{3.12}} - 2(1.510)$$

$$L = 0.03613 - 1.510$$

$$L = 34.62 \text{ mm}$$

III.1.5.2 Dimensi Saluran *Microstrip Line*

1. Lebar pencatutan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (II-14) sebagai berikut :

$$W_m = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right]$$

$$\text{Dimana } B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{4.4}}$$

$$B = 5.646$$

$$W_m = \frac{2(3.2)}{\pi} \left[5.646 - 1 - \ln(2(5.646) - 1) + \frac{4.4 - 1}{2(4.4)} \left(\ln(5.646 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.4} \right) \right]$$

$$W_m = 6.122 \text{ mm}$$

2. Panjang gelombang didalam medium dielektrik

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2.35 \times 10^9}$$

$$\lambda_0 = 127$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$\lambda_g = \frac{127}{\sqrt{3.12}}$$

$$\lambda_g = 71.89$$

3. Panjang saluran transformator

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g$$

$$L_f = \frac{1}{4} (71.89)$$

$$L_f = 23.04$$

III.1.5.3 Dimensi Pencatuan *Inset Feed*

Persamaan (II-16) disederhanakan untuk mencari resistansi input *patch* pencatuan *inset feed*.

Karena $W \leq \lambda_0$ maka rumus G_1 adalah sebagai berikut :

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{38.84}{127} \right)^2$$

$$G_1 = 1.039 \times 10^{-3} \text{ siemens}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1)}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(1.039 \times 10^{-3})}$$

$$R_{in} = 481.23 \Omega$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} y_0 \right)$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{34.62} y_0 \right)$$

$$\left(\frac{50}{481.23} \right) = \cos^2 \left(\frac{\pi}{34.62} y_0 \right)$$

$$\cos \left(\frac{\pi}{34.62} y_0 \right) = \sqrt{\left(\frac{50}{481.23} \right)}$$

$$\frac{\pi}{34.62}y_0 = \cos^{-1}0.322$$

$$y_0 = 1.242 \times \frac{34.62}{\pi}$$

$$y_0 = 13.68 \text{ mm}$$

III.1.5.4 Dimensi Substrat dan *Ground Plane*

Secara umum, *ground plane* memiliki luas serta tebal yang tak terhingga (*infinite ground plane*). Akan tetapi kondisi ini tidak dapat direalisasikan, maka dari itu panjang dan lebar *ground plane* harus dicari menggunakan perhitungan dari persamaan (II-17) dan (II-18) sebagai berikut :

1. Lebar Substrat dan *Ground Plane*

$$L_g = 6h + L$$

$$L_g = 6(3.2) + 34.62$$

$$L_g = 53.82$$

2. Panjang Substrat dan *Ground Plane*

$$W_g = 6h + W$$

$$W_g = 6(3.2) + 38.84$$

$$W_g = 58.04$$

III.1.5.5 Dimensi *Patch Antena Artifisial*

Sama seperti dimensi pada antena mikrostrip konvensional, antena mikrostrip artifisial pun terlebih dahulu nilainya harus diketahui melalui perhitungan agar dapat disimulasikan sebelum direalisasikan. Pertama yang harus dilakukan yaitu mencari frekuensi kerja untuk menemukan nilai permitivitas relatif yang baru.

1. Persamaan frekuensi kerja ini terdapat penurunan $f_{\text{resonansi}}$ yang merupakan acuan dari penelitian Ika Kartika [23], nilai persentase penurunan frekuensi resonansi yang diambil sebesar 25.30%.

$$f_{\text{artifisial}} = f_{r\text{konvensional}} - (\% \text{ penurunan } f_{\text{resonansi}} \times f_{r\text{konvensional}}) \quad (\text{III-1})$$

$$f_{r\text{artifisial}} = 2.35 \times 10^9 - (25.30\% \times (2.35 \times 10^9))$$

$$f_{r \text{ artifisial}} = 1755.45 \text{ MHz}$$

2. Permittivitas relatif baru

$$\frac{f_{r \text{ konvensional}}}{f_{r \text{ artifisial}}} = \frac{\sqrt{\epsilon_r \text{ artifisial}}}{\sqrt{\epsilon_r \text{ konvensional}}} \quad (\text{III-2})$$

$$\epsilon_r \text{ artifisial} = \epsilon_r \text{ konvensional} \times \frac{f_{r \text{ konvensional}}^2}{f_{r \text{ artifisial}}^2}$$

$$\epsilon_r \text{ artifisial} = 4.4 \times \frac{(2.35 \times 10^9)^2}{(1755.45 \times 10^6)^2}$$

$$\epsilon_r \text{ artifisial} = 7.88$$

3. Menghitung lebar patch

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2(2.35 \times 10^9) \sqrt{\frac{(7.88 + 1)}{2}}}$$

$$W = 30.29 \text{ mm}$$

4. Mengitung panjang patch

Seperti antenna mikrostrip konvensional, sebelum mengitung panjang *patch* (L), terlebih dahulu kita mencari nilai pertambahan panjang dari *patch* akibat adanya *fringing effect* (ΔL) dengan persamaan :

$$\Delta L = 0.412h \left[\frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right]$$

Terlihat pada persamaan (II-10) h merupakan ketebalan substrat yang akan dipakai, ketebalan FR4 sebenarnya adalah 1.6 mm pada tugas akhir ini saya akan menambahkan substrat dua kali lipat menjadi 3.2 mm. ϵ_{reff} merupakan konstanta dielektrik efektif yang dihitung dengan persamaan (II-11). Permittivitas relatif (ϵ_r) yang dipakai merupakan permittivitas relatif baru yang telah dicari.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{7.88 + 1}{2} + \frac{7.88 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12(3.2)}{30.29}}} \right)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = 5.23$$

Didapatlah nilai ΔL dengan men-substitusikan persamaan (II-10) dan (II-11) sebagai berikut :

$$\Delta L = 0.412(3.2) \left[\frac{(5.23 + 0.3) \left(\frac{30.29}{3.2} + 0.264 \right)}{(5.23 - 0.258) \left(\frac{30.29}{3.2} + 0.8 \right)} \right]$$

$$\Delta L = 1.389$$

Panjang *patch* dengan persamaan (II-12).

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 (2.35 \times 10^9) \sqrt{5.23}} - 2(1.389)$$

$$L = 0.02791 - 2.778$$

$$L = 25.132 \text{ mm}$$

III.1.5.6 Dimensi saluran *Microstrip Line* Artifisial

1. Lebar pencatutan antenna mikrostrip artifisial digunakan persamaan (II-14).

$$W_m = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right]$$

$$\text{Dimana } B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$B = \frac{377\pi}{2(50)\sqrt{7.88}}$$

$$B = 4.219$$

$$W_m = \frac{2(3.2)}{\pi} \left[4.219 - 1 - \ln(2(4.219) - 1) + \frac{7.88 - 1}{2(7.88)} \left(\ln(4.219 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{7.88} \right) \right]$$

$$W_m = 3.787 \text{ mm}$$

Sudah diketahui sebelumnya bahwa nilai $\lambda_0 = 127$ maka yang dihitung selanjutnya ialah panjang gelombang didalam medium dielektrik dengan konstanta dielektrik efektif yang baru :

$$2. \lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$\lambda_g = \frac{127}{\sqrt{5.23}}$$

$$\lambda_g = 55.53$$

3. Panjang saluran transformator

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g$$

$$L_f = \frac{1}{4} (55.53)$$

$$L_f = 13.88$$

III.1.5.7 Dimensi Pencatuan *Inset Feed* Artifisial

Karena $W \leq \lambda_0$ maka rumus G_1 adalah sebagai berikut :

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{30.29}{127} \right)^2$$

$$G_1 = 6.32 \times 10^{-4} \text{ siemens}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1)}$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(6.32 \times 10^{-4})}$$

$$R_{in} = 791 \Omega$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0)\cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right)$$

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0)\cos^2\left(\frac{\pi}{25.132}y_0\right)$$

$$\left(\frac{50}{791}\right) = \cos^2\left(\frac{\pi}{25.132}y_0\right)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{25.132}y_0\right) = \sqrt{\left(\frac{50}{791}\right)}$$

$$\frac{\pi}{25.132}y_0 = \cos^{-1}0.251$$

$$y_0 = 1.317 \times \frac{25.132}{\pi}$$

$$y_0 = 10.53 \text{ mm}$$

III.1.5.8 Dimensi Substrat dan *Ground Plane* Artifisial

Lebar substrat dan *ground plane* menggunakan persamaan (II-17), panjang substrat dan *ground plane* menggunakan persamaan (II-18).

1. Lebar Substrat dan *Ground Plane*

$$L_g = 6h + L$$

$$L_g = 6(3.2) + 25.132$$

$$L_g = 44.332 \text{ mm}$$

2. Panjang Substrat dan *Ground Plane*

$$W_g = 6h + W$$

$$W_g = 6(3.2) + 30.29$$

$$W_g = 49.49 \text{ mm}$$

III.1.5.9 Radius mode gelombang

Karena mode gelombang yang penulis gunakan untuk menyisipkan kawat konduktur adalah TM_{11} (pola crepes), maka penulis membuat bentuk lingkaran terlebih dahulu dengan radius efektif menggunakan persamaan (III-3) dan antena menggunakan persamaan (III-4).

$$a_e = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{III-3})$$

$$a = \frac{a_e}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi a_e \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{III-4})$$

1. Perhitungan radius efektif mode gelombang antenna mikrostrip

$$a_e = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$a_e = \frac{8.791 \times 10^9}{2.3 \times 10^9 \sqrt{7.88}}$$

$$a_e = 13.61 \text{ mm}$$

2. Perhitungan radius mode gelombang antenna mikrostrip

$$a = \frac{a_e}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi a_e \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi a_e}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = \frac{13.61}{\left\{1 + \frac{2(3.2)}{\pi(13.61)(7.88)} \left[\ln \left(\frac{\pi(13.61)}{2(3.2)} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$a = 13.15 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times a$$

$$d = 2 \times 13.15$$

$$d = 26.3$$

III.1.5.10 Penentuan jumlah dan jarak antar kawat konduktor

Tabel III-2 Penentuan jumlah dan jarak kawat konduktor [2]

Radius	Keliling lingkaran	Jumlah konduktor	Jarak antar kawat konduktor	Sudut ₁	x	y
2,3	14,45	6	1,30	60,00	0,50	0,87
4,6	28,90	12	1,41	30,00	0,87	0,50
6,9	43,35	18	1,41	20,00	0,94	0,34
9,2	57,81	25	1,30	14,40	0,97	0,25

Radius dimulai dari jarak titik pusat ke titik yang dituju, radius yang digunakan sampai batas radius maksimal lingkaran yang dibuat.

$$\text{Keliling lingkaran} = 2\pi r \quad (\text{III-5})$$

$$\text{Jumlah konduktor} = \frac{\text{keliling lingkaran}}{\text{radius}} \quad (\text{III-6})$$

$$\text{Jarak anatr konduktor} = \left(\frac{\text{keliling lingkaran}}{\text{jumlah konduktor}} \right) - 1 \quad (\text{III-7})$$

$$\text{Sudut}_1 = \frac{360}{\text{jumlah konduktor}} \quad (\text{III-8})$$

$$x = \cos(\text{radians}(\text{sudut})) \quad (\text{III-9})$$

$$y = \sin(\text{radians}(\text{sudut})) \quad (\text{III-10})$$

Selanjutnya menentukan titik koordinat penempatan kawat konduktor dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Sudut}_2 = \text{nomor konduktor} \times \text{sudut}_1 \quad (\text{III-11})$$

$$x = \cos(\text{radians}(\text{sudut}_1)) \times \text{radius} \quad (\text{III-12})$$

$$y = \sin(\text{radians}(\text{sudut}_1)) \times \text{radius} \quad (\text{III-13})$$

Hasil dari perhitungan dimensi antenna mikrostrip konvensional dan antenna mikrostrip artifisial dapat dilihat pada Tabel III-3 dan Tabel III-4 di bawah ini :

Tabel III-3 Hasil perhitungan antenna mikrostrip konvensional

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
W	38.84	Lebar <i>patch</i>
L	34.62	Panjang <i>patch</i>
W _m	6.122	Lebar line pencatu
L _m	23.04	Panjang line pencatu
W _g	58.04	Lebar Substrat dan <i>ground plane</i>
L _g	53.82	Panjang Substrat dan <i>ground plane</i>
W _s	-	Lebar <i>inset feed</i>
L _s	13.68	Panjang <i>inset feed</i>

Tabel III-4 Hasil perhitungan antenna mikrostrip artifisial

Parameter	Nilai (mm)	Keterangan
W	30.29	Lebar <i>patch</i>
L	25.132	Panjang <i>patch</i>
W _m	3.787	Lebar line pencatu
L _m	13.88	Panjang line pencatu
W _g	49.49	Lebar Substrat dan <i>ground plane</i>
L _g	44.332	Panjang Substrat dan <i>ground plane</i>
W _s	-	Lebar <i>inset feed</i>
L _s	10.53	Panjang <i>inset feed</i>