

PERANCANGAN DIMENSI ANTENA *ULTRA WIDE BAND (RUGBY BALL)* YANG PALING EFEKTIF UNTUK *MONOSTATIC MICROWAVE RADAR*

Rudy Yuwono, Lukman Julianto, Moch. Agus Choiron, Anindito Purnowidodo

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah merancang dimensi antenna *Ultra Wide Band (Rugby Ball)* yang paling efektif untuk aplikasi *Monostatic Microwave Radar* melalui simulasi komputer. Bahan substrat antenna yang digunakan adalah Alumunium dengan substrat layer udara dan impedansi karakteristik saluran 50Ω . Dimensi atau bentuk elemen peradiasi antenna merupakan pengembangan dari antenna *Planar Inverted Cone (PICA)*. Pada simulasi tidak digunakan feeder karena perbedaan *bandwith* yang menjadikan pemakaian feeder menjadi tidak efektif. Rugby Ball antenna terbentuk dari dua setengah lingkaran yang memiliki diameter yang berbeda. Untuk lingkaran kecil bagian bawah memiliki diameter 135 mm ($r = 67.5$), untuk lingkaran yang lebih besar memiliki diameter 144 cm ($r = 72$). Berdasarkan hasil simulasi antenna dengan program IE3D, diperoleh kesimpulan untuk perbandingan HA: WA = 115 : 135 merupakan perbandingan yang optimal karena memiliki *bandwith* yang paling besar, yaitu sebesar 9.344 GHz. Karena perbandingan yang optimal telah didapat maka ukuran di luar dimensi tersebut baik lebih besar maupun lebih kecil menjadi tidak efektif karena menyebabkan penyempitan *bandwith* dan efisiensi bahan antenna.

Kata Kunci: *Antenna Ultra Wide Band, Monostatic Microwave Rada, Dimensi, Bandwidth.*

Ide dasar perancangan antenna untuk komunikasi UWB dikembangkan oleh S.Y. Suh (2002) yang menyediakan bandwidth yang sangat lebar, mencapai 1 GHz. Namun terdapat kelemahan dalam pola radiasi, yang tidak terfokus, sehingga diperlukan modifikasi dimensi pada bagian bawah dan merubah bentuk bagian atas dari antenna untuk memperoleh pola radiasi yang lebih maksimum. Penelitian UWB radar khususnya di bidang antenna selanjutnya dikembangkan di high frequency engineering department universitas Kassel, berupa UWB bistatic microwave radar. Perancangan antenna tersebut memanfaatkan data awal dari pemodelan dan simulasi komputer, yang terbukti efektif dalam mengoptimasi desain antenna. Perubahan dari bistatic ke monostatic dimungkinkan dengan memberikan directional coupler (Yuwono, 2005).

Antenna *Ultra Wide Band* dapat diaplikasikan untuk sistem radar dan

untuk *Global Positioning System (GPS)* dengan mentransmisikan gelombang pendek dengan *ultra wide band spectra*. Untuk aplikasi Monostatic Microwave Radar, antenna tersebut diharapkan dapat mentransmisikan dan menerima gelombang dengan FWHM sebesar 150 ps dan rise time sebesar 100 ps, karena itulah bandwidth antenna minimal harus sebesar 3.5 GHz. Dengan latar belakang tersebut perlu dikembangkan penelitian untuk dimensi antenna UWB yang paling efektif untuk aplikasi Monostatic Microwave Radar.

Antena merupakan tranduser yang mengubah arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang di-pancarkan ke udara. Dalam sistem komunikasi radio, gelombang elektro-magnetik berjalan dari pemancar ke penerima melalui udara, dan diperlukan antenna pada kedua ujung tersebut untuk keperluan penggandengan (*coupling*) pemancar dan penerima dalam hubungan ruang (Krauss, John Daniel, 1988).

Parameter Dasar Antena meliputi:

Impedansi Masukan

Pada frekuensi resonansi nilai besarnya impedansi masukan elemen peradiasi adalah: (Herrera, Juan M, 1999)

$$Z_A = 90 \cdot \frac{e_r^2}{e_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (1)$$

dengan :

Z_A = impedansi masukan elemen peradiasi (Ω)

L = panjang elemen peradiasi (mm)

W = lebar elemen peradiasi (mm)

Dengan memperbesar lebar *patch* antena maka besarnya impedansi masukan dapat berkurang.

Penyesuai Impedansi (*Matching Impedance*)

Impedansi masukan elemen peradiasi harus ada kesesuaian impedansi antara impedansi karakteristik saluran transmisi, elemen peradiasi dan impedansi di ruang bebas hal ini dimaksudkan agar sinyal yang diterima antena akan maksimum. Selanjutnya impedansi *matching* didapat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \quad (2)$$

dengan :

Z_T = impedansi transformer (Ω)

Z_o = impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)

Z_L = impedansi beban (Ω)

Return Loss (RL)

Return loss adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. RL adalah parameter seperti VSWR yang menentukan *matching* antara antena dan *transmitter*.

Koefisien pantulan (*reflection coefficient*) adalah perbandingan antara

tegangan pantulan dengan tegangan maju (*forward voltage*). Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* di bawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10%-nya terpantulkan kembali. Koefisien pantul dan *return loss* didefinisikan sebagai (Punit, Nakar S., 2004) :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i}$$

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma \text{ (dB)} \quad (3)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

V_i = tegangan gelombang maju (*incident wave*)

RL = return loss (dB)

Untuk *matching* sempurna antara transmitter dan antena, maka nilai $\Gamma = 0$ dan $RL = \infty$ yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika $\Gamma = 1$ dan $RL = 0$ dB maka semua daya dipantulkan.

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan terjadi pemantulan dan hal ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*). Dimana karakteristik ini disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Persamaan untuk menentukan besarnya VSWR (Kraus, John Daniel, 1988) adalah :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4)$$

Dari persamaan di atas besarnya koefisien pantul (Γ) menentukan besarnya VSWR. Persamaan untuk koefisien pantul adalah (Punit, Nakar S., 2004) :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (5)$$

dengan:

Γ = koefisien pantul

- V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)
 V_i = tegangan gelombang maju (*incident wave*)

VSWR adalah pengukuran dasar dari impedansi matching antara transmitter dan antenna. Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin besar pula *mismatch*, dan semakin minimum VSWR maka antenna semakin *matching*.

Gain

Gain adalah perbandingan daya yang dipancarkan oleh sebuah antenna dibandingkan dengan radiator isotropis. Secara fisik radiator isotropic tidak ada, tetapi seringkali digunakan sebagai referensi untuk menyatakan sifat-sifat keterarahan antenna.

Penguatan daya antenna pada arah tertentu didefinisikan sebagai 4π kali perbandingan intensitas radiasi dalam arah tersebut dengan daya yang diterima oleh antenna dari pemancar yang terhubung (Balanis, Constantine A. 1982). Apabila arahnya tidak diketahui, penguatan daya biasanya ditentukan dalam arah radiasi maksimum, dalam persamaan dinyatakan sebagai (Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele, 1981) :

$$G = 10 \log \frac{4\pi U_m}{P_{in}} \quad (6)$$

dengan :

- G = penguatan antenna
 U_m = intensitas radiasi antenna (watt)
 P_{in} = daya input yang diterima antenna (watt)
 λ_0 = panjang gelombang yang merambat pada ruang bebas (m)

Pada pengukuran digunakan metode perbandingan (*Gain-comparison Method*) atau *Gain Transfer Mode*. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antenna referensi yang

biasanya antenna dipole standar yang sudah diketahui nilai gainnya. Prosedur ini memerlukan 2 kali pengukuran yaitu terhadap antenna yang diukur dan terhadap antenna referensi. Nilai gain absolute isotropic dinyatakan sebagai :

$$G_{AUT} (dBi) = G_{ref} (dBi) + 10 \log \left(\frac{W_{RX}}{W_{ref}} \right) \quad (7)$$

dengan :

- G_{AUT} = Gain antenna yang diukur (dBi)
 G_{ref} = Gain antenna referensi yang sudah diketahui (dBi)
 W_{RX} = Daya yang diterima antenna yang diukur (dBm)
 W_{ref} = Daya yang diterima antenna referensi (dBm)

METODE

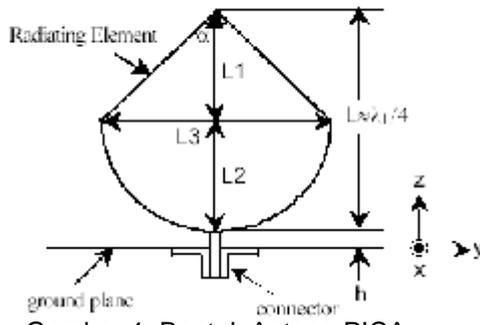
Pada penelitian ini digunakan metodologi sebagai berikut:

Perencanaan Dimensi Antena *Ultra Wide Band (Rugby Ball)*

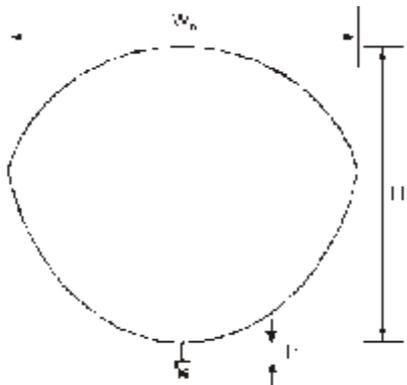
Dalam merancang dimensi antenna ini digunakan simulasi dengan software perancangan antenna sampai didapatkan dimensi antenna sesuai dengan parameter yang diinginkan, untuk dijadikan data desain pada prototype antenna.

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Bahan Aluminium
 Konstanta Dielektrik (ϵ_r) = 2
 Ketebalan dielektrik (h) = 2 mm
 Konduktifitas Aluminium (σ) = $3.77E + 007$ s/m
- Substrat layer pada antenna Rugby Ball adalah udara (Konstanta Dielektrik = 1)
- Impedansi karakteristik saluran 50 Ω
 Dimensi atau bentuk elemen peradiasi antenna rugby ball merupakan pengembangan dari antenna Planar Inverted Cone (PICA) .



Gambar 1. Bentuk Antena PICA



Gambar 2. Bentuk Antena Rugby Ball

Tabel 1. Dimensi dari antenna PICA

Descriptions	Symbol	Size
Length L1	L1	25.4 mm
Length L2	L2	25.4 mm
Height of the element	L	50.8 mm
Width of the element	L3	50.8 mm
Cone angle	α	90°
Feed length	H	0.64 mm
Diameter of circular ground plane	D	405.4 mm

Tabel 2. Dimensi dari Antena Rugby Ball

Dimension of Antenna	Symbol	Size/Value
Height of antenna	H _A	115 mm
Width of antenna	W _A	135 mm
Height of feed point	H	1 mm

Perencanaan impedansi masukan untuk elemen peradiasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{W_A}{H_A} \right)^2$$

$$Z_{in} = 90 \frac{2^2}{2 - 1} \left(\frac{135}{115} \right)^2 = 496.08 \Omega$$

Dari perhitungan di atas didapat bahwa impedansi elemen peradiasi sebesar 496.08 Ω. Sedangkan untuk penyesuaian impedansi antenna ini didapat dari persamaan:

$$Z_T = \sqrt{Z_0 \cdot Z_{in}}$$

$$Z_T = \sqrt{50 \cdot 496.08} = 157.49 \Omega$$

Simulasi Antena

Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan software IE3D untuk menunjukkan range kerja antenna yang mendekati pengukuran sebenarnya. Jangkauan frekuensi yang akan digunakan dalam simulasi tersebut adalah 0.3 GHz – 16 GHz

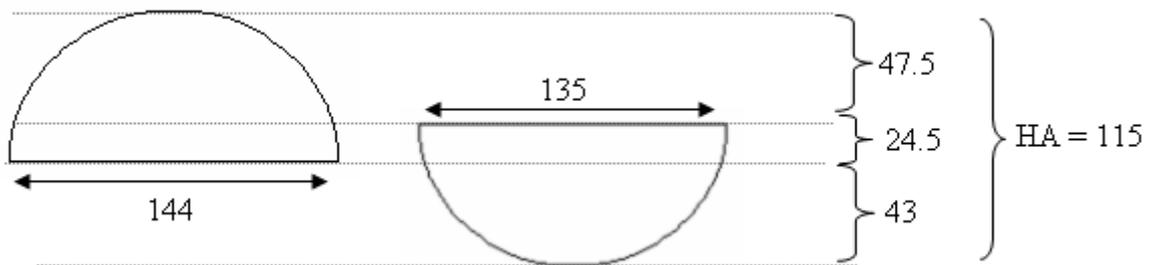
Analisis Parameter Dasar Antena

Pada tahap ini dilakukan perbandingan beberapa ukuran H_A dan W_A yang paling efektif sehingga didapatkan dimensi antenna dengan bandwidth yang paling optimal.

PEMBENTUKAN DIMENSI ANTENA PADA PROGRAM IE3D

Pada simulasi antenna yang dilakukan ini tidak memakai feeder karena perbedaan bandwidth yang menjadikan pemakaian feeder menjadi tidak efektif.

Rugby Ball antenna terbentuk dari dua setengah lingkaran yang memiliki diameter yang berbeda. Untuk lingkaran kecil bagian bawah memiliki diameter 135 mm (r = 67.5), untuk lingkaran yang lebih besar memiliki diameter 144 mm (r = 72), yang dapat dilihat pada gambar 3. Perbandingan (A:B:C) = 47.5: 24.5 : 43. Diameter lingkaran besar = 47.5 + 24.5 = 72



Gambar 3. Dimensi Rugby Ball dengan asumsi terdiri dari 2 setengah lingkaran dengan (r) berbeda

Diameter lingkaran kecil = $24.5 + 43 = 67.5$

Harga 24.5 merupakan perpotongan antara lingkaran.

Contoh:

Diketahui diameter WA = 100; jadi r yang yang didapat = 50.

Karena perpotongan lingkaran kecil sebesar 36,296 % (didapat dari ukuran UWB awal sebesar $\frac{24,5}{67,5} \times 100 = 36,296$

%) maka perpotongan didapat :

$$50 \times 36.296\% = 18.148.$$

Selanjutnya dengan perbandingan yang telah ada maka dapat dicari r (jari-jari) lingkaran besar sebesar

$$\frac{47,5}{x} : \frac{24,5}{18.148} = 35,1849.$$

Didapat lingkaran sebesar :

$$35.1849 + 18.148 = 53.3329.$$

Maka diperoleh ukuran :

$$HA:WA = 85,1849 : 100 = 17 : 20$$

HASIL SIMULASI

Didapat hasil simulasi return loss, dan hasil VSWR ditunjukkan dalam Gambar 4 dan Gambar 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Ukuran antenna sangat berpengaruh terhadap S-parameter, karena sema-

kin besar ukuran antenna menyebabkan *bandwith*-nya semakin menyempit.

2. Perbandingan HA: WA = 115 : 135 merupakan perbandingan yang optimal karena memiliki *bandwith* yang paling besar, yaitu sebesar 9.344 GHz.

3. Karena perbandingan yang optimal telah didapat maka ukuran di luar dimensi tersebut baik lebih besar maupun lebih kecil menjadi tidak efektif karena menyebabkan penyempitan *bandwith* dan efisiensi bahan antenna.

Saran

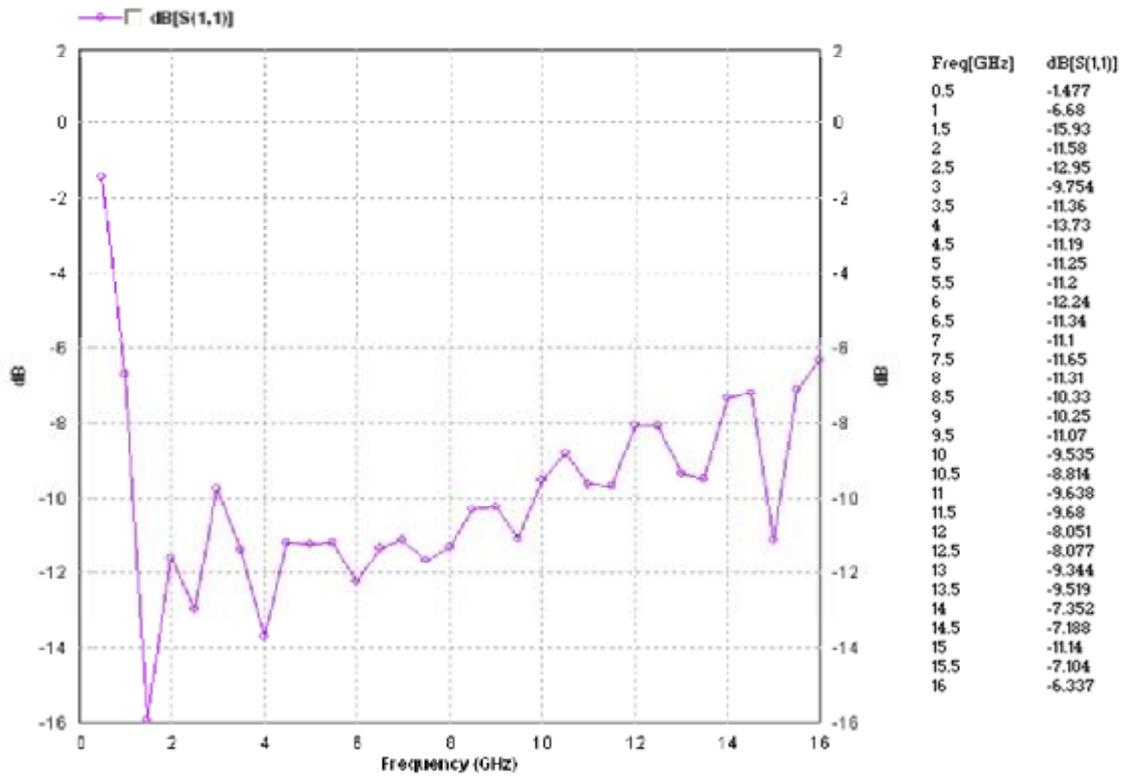
Diharapkan untuk selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk menemukan dimensi yang menghasilkan nilai Return Loss, Gain, Bandwidth, dan VSWR yang semakin mendekati kondisi matching.

UCAPAN TERIMA KASIH

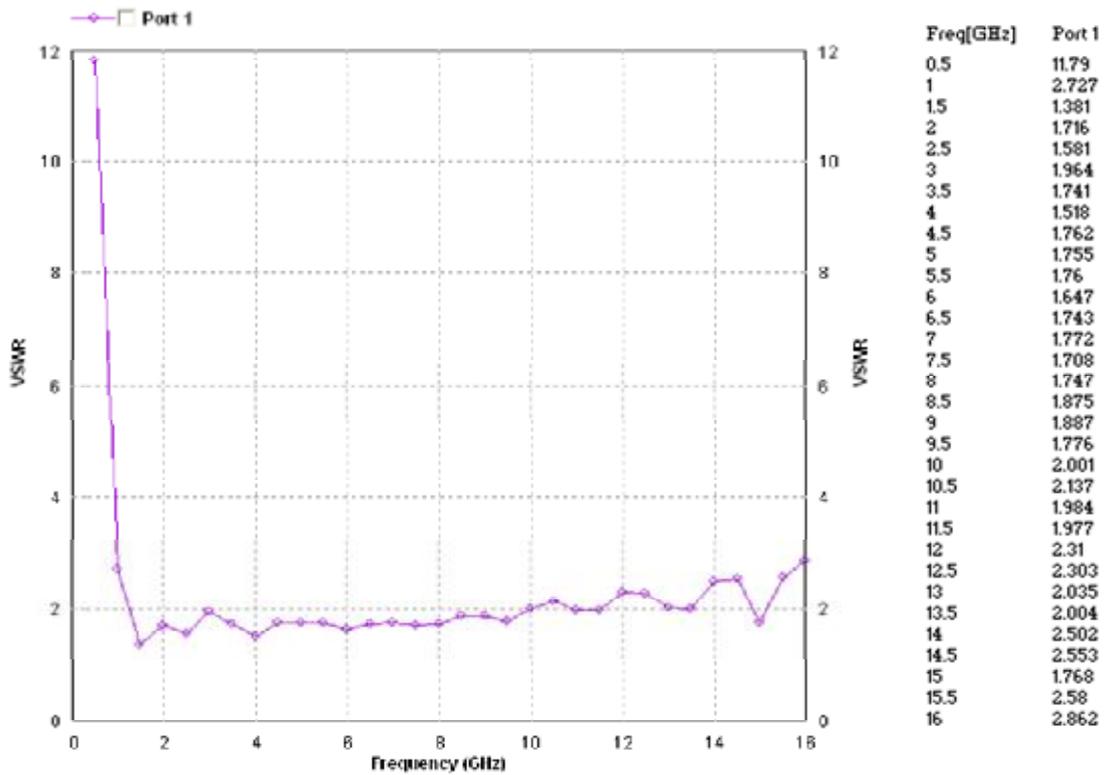
Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset Dan Teknologi Republik Indonesia yang telah membantu Peneliti dalam menyediakan pendanaan melalui Program insentif Riset Terapan 2007 yang telah berjalan pada tahun pertama, sehingga penelitian ini dapat terwujud.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonymous. *IE3D version 12.07*, User Manual
- Balanis, Constantine A. 1982,. *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc
- Herrera, Juan M. 1999. *Micropatch Antenna Array*. T.A Lee Romsey
- Krauss, John Daniel. 1988. *Antennas*. New York: McGraw-Hill International
- Punit, Nakar S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for Use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, New York
- S.Y. Suh, 2002, *A Comprehensive Investigation New Planar Wideband Antennas*, Ph.D Disertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Yuwono, Rudy. 2005. *A Novel Antenna for Baseband Communication*. Proc. IEEE-MTS. Belgrade. Serbia. Montenegro



Gambar 4. Return Loss dengan HA = 85.1849 dan WA = 100



Gambar 5. Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi dengan HA = 85.1849 dan WA = 100

Hasil simulasi dengan WA yang berbeda-beda

60	dB	Freq[GHz] Port 1 0.5 8.33 1 1.965 1.5 1.584 2 1.63 2.5 2.002 3 1.612 3.5 1.618 4 1.721 4.5 1.721 5 1.607 5.5 1.737 6 1.17 6.5 1.703 7 1.67 7.5 1.731 8 1.721 8.5 1.647 9 1.897 9.5 1.869 10 1.73 10.5 2.038 11 2.112 11.5 1.716 12 2.076 12.5 2.493 13 1.792 13.5 2.223 14 2.391 14.5 2.154 15 2.045 15.5 2.402 16 2.777 2.12	dB[S(1,1)] -2.096 -9.75 -12.92 -12.41 -9.533 -12.61 -12.54 -11.54 -11.54 -12.66 -11.39 -11.7 -12.01 -11.45 -11.54 -12.24 -10.18 -10.38 -11.46 -9.328 -8.94 -11.58 -9.122 -7.382 -10.95 -8.415 -7.738 -8.734 -9.291 -7.699 -6.55 -8.901
	VSWR	Freq[GHz] Port 1 0.5 8.33 1 1.965 1.5 1.584 2 1.63 2.5 2.002 3 1.612 3.5 1.618 4 1.721 4.5 1.721 5 1.607 5.5 1.737 6 1.17 6.5 1.703 7 1.67 7.5 1.731 8 1.721 8.5 1.647 9 1.897 9.5 1.869 10 1.73 10.5 2.038 11 2.112 11.5 1.716 12 2.076 12.5 2.493 13 1.792 13.5 2.223 14 2.391 14.5 2.154 15 2.045 15.5 2.402 16 2.777 2.12	Freq[GHz] Port 1 0.5 8.33 1 1.965 1.5 1.584 2 1.63 2.5 2.002 3 1.612 3.5 1.618 4 1.721 4.5 1.721 5 1.607 5.5 1.737 6 1.17 6.5 1.703 7 1.67 7.5 1.731 8 1.721 8.5 1.647 9 1.897 9.5 1.869 10 1.73 10.5 2.038 11 2.112 11.5 1.716 12 2.076 12.5 2.493 13 1.792 13.5 2.223 14 2.391 14.5 2.154 15 2.045 15.5 2.402 16 2.777 2.12
70	dB	Freq[GHz] Port 1 0.5 6.247 1 1.503 1.5 1.805 2 1.864 2.5 1.693 3 1.627 3.5 1.693 4 1.637 4.5 1.601 5 1.661 5.5 1.629 6 1.666 6.5 1.609 7 1.645 7.5 1.717 8 1.553 8.5 1.803 9 1.787 9.5 1.635 10 1.983 10.5 1.753 11 1.92 11.5 2.123 12 1.619 12.5 2.311 13 1.877 13.5 2.355 14 1.39 14.5 3.017 15 2.291 15.5 4.604 16 3.304	dB[S(1,1)] -2.805 -13.94 -10.84 -10.41 -11.79 -12.45 -11.79 -12.34 -12.72 -12.1 -12.42 -12.05 -12.64 -12.25 -11.57 -13.29 -10.86 -10.99 -10.99 -12.36 -9.641 -11.26 -10.03 -8.883 -12.53 -8.046 -7.877 -15.74 -5.985 -8.126 -3.834 -5.745 -5.427
	VSWR	Freq[GHz] Port 1 0.5 6.247 1 1.503 1.5 1.805 2 1.864 2.5 1.693 3 1.627 3.5 1.693 4 1.637 4.5 1.601 5 1.661 5.5 1.629 6 1.666 6.5 1.609 7 1.645 7.5 1.717 8 1.553 8.5 1.803 9 1.787 9.5 1.635 10 1.983 10.5 1.753 11 1.92 11.5 2.123 12 1.619 12.5 2.311 13 1.877 13.5 2.355 14 1.39 14.5 3.017 15 2.291 15.5 4.604 16 3.304	Freq[GHz] Port 1 0.5 6.247 1 1.503 1.5 1.805 2 1.864 2.5 1.693 3 1.627 3.5 1.693 4 1.637 4.5 1.601 5 1.661 5.5 1.629 6 1.666 6.5 1.609 7 1.645 7.5 1.717 8 1.553 8.5 1.803 9 1.787 9.5 1.635 10 1.983 10.5 1.753 11 1.92 11.5 2.123 12 1.619 12.5 2.311 13 1.877 13.5 2.355 14 1.39 14.5 3.017 15 2.291 15.5 4.604 16 3.304
80	dB	Freq[GHz] Port 1 0.5 4.882 1 1.451 1.5 1.706 2 2.068 2.5 1.568 3 1.776 3.5 1.728 4 1.735 4.5 1.737 5 1.765 5.5 1.799 6 1.741 6.5 1.869 7 1.72 7.5 1.9 8 1.84 8.5 1.91 9 2.12 9.5 1.875 10 2.27 10.5 1.896 11 2.259 11.5 2.294 12 2.427 12.5 2.748 13 1.714 13.5 2.09 14 2.508 14.5 3.698 15 9.291 15.5 74.4 16 38.84	dB[S(1,1)] -3.609 -14.7 -11.67 -9.168 -13.11 -11.07 -11.48 -11.41 -11.4 -11.16 -10.89 -11.36 -10.37 -11.54 -10.16 -10.58 -10.09 -8.9 -10.33 -8.215 -10.19 -8.262 -8.118 -7.609 -6.624 -11.6 -9.049 -7.333 -4.817 0.2335 -0.4473
	VSWR	Freq[GHz] Port 1 0.5 4.882 1 1.451 1.5 1.706 2 2.068 2.5 1.568 3 1.776 3.5 1.728 4 1.735 4.5 1.737 5 1.765 5.5 1.799 6 1.741 6.5 1.869 7 1.72 7.5 1.9 8 1.84 8.5 1.91 9 2.12 9.5 1.875 10 2.27 10.5 1.896 11 2.259 11.5 2.294 12 2.427 12.5 2.748 13 1.714 13.5 2.09 14 2.508 14.5 3.698 15 9.291 15.5 74.4 16 38.84	Freq[GHz] Port 1 0.5 4.882 1 1.451 1.5 1.706 2 2.068 2.5 1.568 3 1.776 3.5 1.728 4 1.735 4.5 1.737 5 1.765 5.5 1.799 6 1.741 6.5 1.869 7 1.72 7.5 1.9 8 1.84 8.5 1.91 9 2.12 9.5 1.875 10 2.27 10.5 1.896 11 2.259 11.5 2.294 12 2.427 12.5 2.748 13 1.714 13.5 2.09 14 2.508 14.5 3.698 15 9.291 15.5 74.4 16 38.84
	dB	Freq[GHz] Port 1 0.5 -4.603 1 -11.83 1.5 -10.47 2 -12.63 2.5 -10.82 3 -11.43 3.5 -12.04 4 -12.06 4.5 -11.87 5 -12.03 5.5 -11.54 6 -12.02 6.5 -11.64 7 -11.55 7.5 -11.83 8 -10.89 8.5 -11.24 9 -10.02 9.5 -10.62 10 -8.942 10.5 -10.61 11 -8.769 11.5 -10.1 12 -8.916 12.5 -15.24 13 -10.54 13.5 -23.03 14 -11.33 14.5 -3.719 15 -2.988 15.5 -0.5637 16 5.333	Freq[GHz] Port 1 0.5 -4.603 1 -11.83 1.5 -10.47 2 -12.63 2.5 -10.82 3 -11.43 3.5 -12.04 4 -12.06 4.5 -11.87 5 -12.03 5.5 -11.54 6 -12.02 6.5 -11.64 7 -11.55 7.5 -11.83 8 -10.89 8.5 -11.24 9 -10.02 9.5 -10.62 10 -8.942 10.5 -10.61 11 -8.769 11.5 -10.1 12 -8.916 12.5 -15.24 13 -10.54 13.5 -23.03 14 -11.33 14.5 -3.719 15 -2.988 15.5 -0.5637 16 5.333

120	VSWR	Port 1 Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 Port 1 2.115 1.81 1.652 1.838 1.665 1.703 1.708 1.674 1.765 1.673 1.735 1.805 1.67 1.854 1.939 1.643 2.168 2.146 1.693 2.358 2.748 1.75 1.804 2.797 2.644 1.481 1.954 2.223 1.429	dB	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 dB[S(1,1)] -8.323 -10.8 -12.18 -10.6 -12.05 -11.69 -11.48 -11.66 -11.97 -11.98 -11.41 -10.84 -12.01 -10.48 -9.913 -12.27 -8.666 -8.772 -11.79 -7.865 -6.624 -11.28 -0.9753 10.85 6.498 6.913 14.25 9.815 8.418 15.05	VSWR	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 Port 1 2.537 1.896 1.997 1.847 1.732 1.739 1.759 1.684 1.684 1.718 1.639 1.758 1.642 1.762 1.754 1.687 1.921 2.105 2.03 2.129 2.163 1.338 2.181 3.694 17.18 6.395 2.163 3.924 2.707 1.622 1.956 2.167	dB	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 dB[S(1,1)] -7.239 -10.19 -9.558 -10.53 -11.44 -11.21 -11.87 -11.87 -11.56 -12.32 -11.22 -12.29 -11.19 -11.25 -11.84 -10.03 -12.12 -8.972 -9.374 -8.853 -8.689 -16.8 -8.604 -4.822 -1.013 2.739 0.8036 4.527 6.736 12.49 9.803 8.673	VSWR	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 Port 1 3.109 1.904 2.159 1.587 1.762 1.625 1.697 1.698 1.666 1.742 1.655 1.76 1.632 1.788 1.629 1.829 1.734 2.014 1.887 2.027 2.387 2.388 2.647 2.067 3.211 2.175 2.524 99.87 7.844 2.144 1.405 2.067	dB	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 dB[S(1,1)] -5.794 -10.14 -8.707 -12.88 -11.18 -12.47 -11.75 -11.75 -12.05 -12.16 -11.2 -12.39 -10.98 -12.43 -10.66 -11.43 -10.25 -9.389 -7.755 -7.751 -6.905 -9.172 -5.595 -8.635 -7.28 -0.1739 2.227 8.782 15.47 9.169	VSWR	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 Port 1 3.862 1.689 1.856 1.61 1.808 1.733 1.666 1.664 1.685 1.668 1.72 1.669 1.71 1.719 1.689 1.798 1.755 1.921 1.835 2.111 1.836 2.147 1.909 2.117 1.419 1.845 1.152 1.745 4.742 5.871 30.83 3.359	90
	VSWR	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 Port 1 2.115 1.81 1.652 1.838 1.665 1.703 1.708 1.674 1.765 1.673 1.735 1.805 1.67 1.854 1.939 1.643 2.168 2.146 1.693 2.358 2.748 1.75 1.804 2.797 2.644 1.481 1.954 2.223 1.429	dB	Freq[GHz] 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 16 dB[S(1,1)] -8.323 -10.8 -12.18 -10.6 -12.05 -11.69 -11.48 -11.66 -11.97 -11.98 -11.41 -10.84 -12.01 -10.48 -9.913 -12.27 -8.666 -8.772 -11.79 -7.865 -6.624 -11.28 -0.9753 10.85 6.498 6.913 14.25 9.815 8.418 15.05											