

PENGUKURAN PERMITIVITAS DIELEKTRIK BAHAN TEKSTIL MENGGUNAKAN METODE SALURAN TRANSMISI MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI KESEHATAN

MEASUREMENT OF PERMITIVITY TEXTILE MATERIALS USING MICROSTRIP TRANSMISSION LINE METHOD FOR HEALTH APPLICATION

M Fitriansyah E¹, Levy Nur Olivia², Trasma Yunita³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Email : ¹rian.erida@gmail.com ²levyolivia@telkomuniversity.ac.id ³trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pengukuran nilai sifat dielektrik suatu bahan diperlukan untuk mendapatkan data dasar dari sifat dielektrik bahan. Data dari pengukuran ini dapat dimanfaatkan sebagai data acuan untuk penerapan sifat dielektrik lebih lanjut seperti data atau nilai dari impedansi saluran, refleksi dan distorsi. Sehingga bahan dapat diteliti lebih lanjut dan dapat ditentukan jika bahan lebih baik digunakan sebagai antenna, reflektor, ataupun adsorber, ataupun bagaimana bahan dapat bereaksi pada keadaan-keadaan tertentu.

Kata Kunci : *Permittivitas, mikrostrip saluran transmisi, CST*

Abstract

Measurement of the dielectric properties of a material is required to obtain the basic data of the dielectric properties of the material. Data from these measurements can be utilized as reference data for the application of further dielectric properties such as data or values of channel impedance, reflection and distortion. So the material can be further investigated and can be determined if the material is better used as an antenna, reflector, or adsorber, or how the material can react in certain circumstances.

Keywords : *permittivity, microstrip transmission line, CST*

1. Pendahuluan

Pada saat ini perhatian masyarakat terhadap pemantauan kesehatan sangat tinggi, terbukti dengan semakin banyaknya alat-alat pantau kesehatan yang ada. Sehingga tuntutan untuk membuat alat-alat yang dapat dipakai pada tubuh manusia atau yang bersifat *wearable device* sangat dibutuhkan. Untuk membuat *device* tersebut dibutuhkanlah bahan-bahan yang dapat melekat pada tubuh manusia dan dapat berhubungan langsung dengan konsep *telemedicine* atau biomedis. Pada konsep tersebut bahan yang bisa diterapkan adalah bahan kain. Namun untuk menentukan apakah bahan tersebut memungkinkan untuk dijadikan *wearable device*, kita harus mengetahui karakteristik bahan kain tersebut terlebih dahulu. Karakteristik bahan sangat erat kaitannya dengan nilai permitivitas, karena nilai permitivitas menjadi nilai yang penting dalam menentukan karakteristik suatu bahan. Sehingga pada tugas akhir ini dilakukanlah pengukuran nilai permitivitas pada bahan-bahan kain.

Pada Tugas Akhir ini telah diuji berbagai macam jenis bahan kain untuk dihitung nilai permitivitasnya yaitu berupa bahan kain aramid, katun dan *polyester* selain itu digunakan bahan substrat Fr-4 sebagai bahan analisis dengan menggunakan metode mikrostrip berbasis saluran transmisi. Metode ini menggunakan 3 *obstacle* dan set S-parameter dua *port* yang dapat meminimisasi kesalahan atau *error* dikarenakan celah udara antara saluran mikrostrip pada sampel dan ketidakcocokan impedansi yang biasanya menjadi permasalahan pada saluran transmisi.

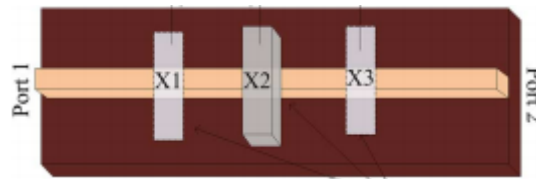
Permittivitas dielektrik adalah ukuran dari hambatan dalam membentuk medan listrik melalui suatu media. Pada dimensi dan jarak *obstacle* tertentu akan didapatkan nilai parameter-S(*return loss*) terendah dan dari nilai tersebut penulis dapat menentukan nilai permitivitas bahan. Untuk mendapatkan nilai permitivitas dielektrik dapat dihitung dari nilai parameter-S yang didapatkan dari simulasi dan hasil pengukuran langsung dengan menggunakan VNA(*vector network analyzer*).

Diharapkan dari penelitian tugas akhir ini dapat mengetahui nilai pengukuran permitivitas dielektrik dari 4 bahan diatas dengan menggunakan frekuensi kerja 2,45 GHz, sehingga dapat diimplementasikan pada bidang kesehatan ataupun bahan yang diuji dapat dimodifikasi sedemikian rupa menjadi alat atau *device* yang sesuai kebutuhan.

2. Dasar Teori

A. Metode Mikrostrip berbasis saluran transmisi

Metode mikrostrip berbasis saluran transmisi adalah metode yang menggunakan sampel yang diuji sebagai substrat saluran microstrip, dan hambatan yang harus ditempatkan pada posisi yang berbeda di atas saluran microstrip.



Gambar 1 diagram skema saluran mikrostrip

Gambar 1 Menunjukkan diagram skema dari saluran mikrostrip dengan 3 posisi hambatan yang berbeda, hambatan dilambangkan dengan (X1, X2, X3), dan jarak antar hambatan dilambangkan l . ($l_1 = X_2 - X_1$, $l_2 = X_3 - X_2$). Hambatan ditempatkan berturut-turut di tiga posisi berbeda, dan tiga set S-parameter dua-port dari saluran mikrostrip dihitung bersama-sama dengan hambatan. Matriks transmisi (M) dari saluran mikrostrip dapat dihitung dari S-parameter dua-port menggunakan^[1]:

$$M = \frac{1}{S_{21}} \begin{bmatrix} S_{12}S_{21} - S_{11}S_{22} & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matriks transmisi dari saluran microstrip dengan hambatan pada posisi X1, X2, X3 dapat ditulis dengan:

$$[M_{N1}] = [D][Q][L][L][E]^{-1} \quad (2)$$

$$[M_{N2}] = [D][L][Q][L][E]^{-1} \quad (3)$$

$$[M_{N3}] = [D][L][L][Q][E]^{-1} \quad (4)$$

($[M_{N1}]$), ($[M_{N2}]$), ($[M_{N3}]$), merupakan matriks transmisi dari saluran microstrip dengan hambatan di posisi X1, X2, dan X3, secara berturut-turut. Dimana $[Q]$ adalah matriks transmisi dari hambatan dan $[L]$ adalah matriks transmisi dari saluran transmisi. Juga $[D]$ dan $[E]^{-1}$ adalah matriks transmisi dari dua port yang mempresentasikan error/kesalahan sistematis pada VNA dan penyiapan pengukuran. Kesalahan sistematis termasuk bagian luar mikrostrip referensi kalibrasi (X1 dan X2) dan ketidakcocokan impedansi pada port. Kesalahan matriks adalah sama pada setiap pengukuran dan mereka akan dihilangkan selama perhitungan. Oleh karena itu metode ini memungkinkan pengukuran permitivitas tanpa pengaruh dari berbagai kesalahan sistematis. Propagasi konstan saluran transmisi dapat dihitung dari matriks transmisi diukur dengan menggunakan (5),

$$e^{-\gamma l} = \pm \left(\frac{\sqrt{\delta}}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{4} \right) - 1}. \quad (5)$$

Ada empat solusi untuk (rumus diatas). dua solusi pertama yang diberikan seperti dalam (6) dan (7), dua solusi yang tersisa sama dengan dua solusi pertama dan tidak perlu dipertimbangkan:

$$\gamma_1 = \frac{1}{l} \left(\log_e \left(\frac{\sqrt{\delta}}{2} + \sqrt{\frac{\delta}{4-1}} \right) \right) \quad (6)$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{l} \left(\log_e \left(-\frac{\sqrt{\delta}}{2} + \sqrt{\frac{\delta}{4-1}} \right) \right) \quad (7)$$

Dimana l adalah panjang jarak (jarak antara hambatan pusat dari dua posisi hambatan lainnya berturut-turut), γ adalah konstanta propagasi dari saluran microstrip, dan δ dapat ditemukan dengan menggunakan (8),

$$\delta = (\delta_2 - 2)/(\delta_1 - 2) \quad (8)$$

$$\delta_1 = \text{trace} ([M_{N1}][M_{N2}]^{-1}) \quad (9)$$

$$\delta_1 = \text{trace} ([M_{N1}][M_{N3}]^{-1}) \quad (10)$$

Solusi pertama konstanta propagasi (γ_1) akan bekerja sampai dengan frekuensi (f_1) yang diberikan dalam (11). Persamaan ini memberikan frekuensi yang sesuai.

$$f_1 \leq \frac{c}{(4l\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}})} \quad (11)$$

c adalah kecepatan cahaya dalam ruang bebas dan ϵ_{eff} adalah permitivitas elektrik dari saluran microstrip. Permitivitas efektif kompleks (ϵ_{eff}) dapat dihitung menggunakan konstanta propagasi (12), seperti berikut^[2]:

$$\epsilon_{\text{eff}} = - \left(\frac{\gamma c}{2\pi f} \right)^2 \quad (12)$$

Dimana f adalah frekuensi. Konstanta propagasi terdiri dari berbagai kerugian seperti resistensi konduktor (α) dan konstanta fasa (β). Relatif permitivitas bahan substrat berasal dari permitivitas efektif dan dimensi saluran microstrip menggunakan (13)^[3],

$$\epsilon_r = \frac{(2\epsilon_{\text{eff}} + M - 1)}{(M + 1)} \quad (13)$$

$$M = \left(1 + \frac{(12h)}{W_{\text{eff}}} \right)^{-1/2} \quad (14)$$

$$W_{\text{eff}} = W + \left(\frac{1.25t}{\pi} \right) \left[1 + \log_e \frac{2h}{t} \right] \quad (15)$$

Dimana W adalah lebar jalur tembaga, t adalah ketebalan jalur tembaga, h adalah ketebalan substrat, dan W_{eff} adalah lebar microstrip efektif. Persamaan (15) digunakan untuk perhitungan permitivitas pada frekuensi hingga 35GHz^[3]

B. Konsep perhitungan permitivitas

Prosedur perhitungan dengan metode mikrostrip berbasis saluran transmisi dapat disimpulkan dengan berikut :

1. Penentuan rumus impedasi saluran transmisi mikrostrip dengan rumus^[4]:

$$Z_0 = \frac{Z_f}{2\pi\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right)$$

Rumus Impedasi Z_0 diatas digunakan saat $w/h < 1$ ^[4]

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \left(1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right)}$$

Rumus Impedasi Z_0 diatas digunakan saat $w/h > 1$ ^[4]

2. Penentuan rumus lebar saluran transmisi mikrostrip dengan rumus :

$$\frac{w}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

Dengan A ^[4],

$$A = 2\pi \frac{Z_0}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

Rumus diatas digunakan saat $w/h \leq 2^{[4]}$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \{B - 1 - \ln(2B - 1)\} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right]$$

Dengan $B^{[4]}$,

$$B = \frac{Z_f \pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}$$

Rumus diatas digunakan saat $w/h \geq 2^{[4]}$

3. Menentukan verifikasi apakah lebar saluran akan sesuai dengan hasil yang ingin dicapai nantinya, dengan menggunakan rumus:

$$W_{eff} = W + \left(\frac{1,25t}{\pi} \right) \left[1 + \ln \left(\frac{2h}{t} \right) \right]$$

W_{eff} adalah lebar saluran efektif dan nilai matriks transmisi dengan menggunakan rumus :

$$M = \left(1 + \frac{(12h)}{W_{eff}} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Lalu menentukan ϵ_{eff} dan ϵ_r dengan rumus :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_r = \frac{(2\epsilon_{eff} + M - 1)}{(M + 1)}$$

Dan jika hasil sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan simulasi CST, dengan mengacu hasil parameter-S yang ditampilkan.

4. Penentuan nilai Eeff dengan menggunakan rumus :

$$E_{eff} = \left(\frac{c}{4l \times F} \right)^2$$

Dimana l adalah jumlah panjang antar obstacle dan F = frekuensi kerja dengan nilai 2.45 Ghz. Lalu dilakukan simulasi pada CST dan hasil parameter-S optimasi dijadikan nilai numeric untuk dihitung menggunakan rumus matriks transmisi berikut :

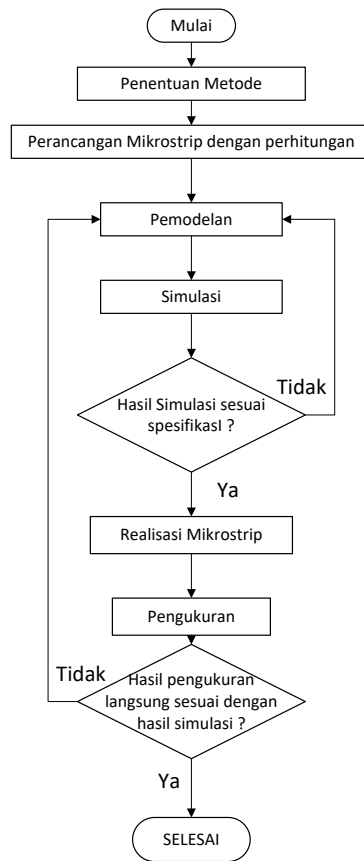
$$M = \frac{1}{s_{21}} \begin{bmatrix} S_{12}S_{21} - S_{11}S_{22} & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{bmatrix}$$

Dan menentukan nilai ϵ_r dengan rumus :

$$\epsilon_r = \frac{(2\epsilon_{eff} + M - 1)}{(M + 1)}$$

3. Perancangan Sistem

Proses mendesain mikrostrip dibagi menjadi 4 tahap yaitu perancangan, simulasi, optimasi, dan realisasi. Pemodelan dan simulasi mikrostrip dilakukan menggunakan CST (*Computer Simulation Technology*).



Gambar 2 diagram alur perancangan

Pada tahap penentuan spesifikasi pengukuran adalah tahap untuk mengetahui dimensi saluran dengan formula pada bab sebelumnya. Proses simulasi bertujuan untuk mengukur hasil spesifikasi dengan hasil akhir parameter-S optimasi.

4. Pengukuran dan Analisis

Berikut adalah tabel hasil pengukuran simulasi dan pengukuran langsung menggunakan VNA dengan frekuensi kerja 2,45 GHz dan pengukuran acuan sebelumnya :

Tabel 1 hasil permitivitas data *sheet*, VNA, dan simulasi

Bahan Substrat	Data <i>sheet</i>	Pengukuran VNA	Pengukuran Simulasi	Pengukuran VNA ^[5]	Pengukuran Simulasi ^[5]	Pengukuran metode <i>parallel plate</i> ^[6]
Fr-4	4,2-5	5,814	5,764	4,43 (10GHz)	4,5 (10GHz)	-
Aramid	3,5	3,353	3,442	-	-	-
Katun	-	2,822	2,892	-	-	2,077
Polyster	-	2,39	2,39	-	-	1,748

Terdapat perbedaan nilai permitivitas dielektrik Fr-4 menggunakan metode mikrostrip saluran transmisi dengan *obstacle*, pada pengukuran langsung *error rate* sebesar (26,08%) dan pada pengukuran metode yang sama (acuan) *error rate* sebesar (3,7%) ini disebabkan oleh perbedaan frekuensi yang digunakan dan pada pengukuran ini tidak digunakannya alat ANRITSU 3680-20 sebagai pengukuran sehingga terjadinya *error rate* yang besar. Pada pengukuran Aramid didapat *error rate* sebesar (4,2%), pada pengukuran Katun didapat *error rate* sebesar (35%), dan pada Polyster didapat *error rate* sebesar (36,72%). Pada bahan Katun dan *Polyster* pun terdapat *error rate* yang besar ini dikarenakan perbedaan frekuensi yang digunakan dan perbedaan dimensi yang digunakan, sementara itu pada pengukuran ini tidak ada perbedaan berarti pada hasil pengukuran simulasi dan VNA, perbedaan hanya terlihat pada parameter-S. ketidaksempurnaan nilai pada parameter-S didapat karena adanya beberapa kekurangan seperti :

1. Ketebalan substrat yang tidak terlalu sesuai dengan yang diinginkan
2. Karakteristik tiap bahan yang berbeda-beda
3. Saat dilakukan pengukuran bahan tidak benar-benar menempel pada *ground plane*.
4. Adanya redaman kabel konektor sehingga mengganggu pengukuran pada VNA.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengukuran, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengukuran simulasi dan realisasi terdapat perbedaan nilai ϵ_r dari tiap-tiap bahan, perbedaan itu terlihat pada dimensi antar bahan. Dimana dimensi dari bahan yang nilai ϵ_r nya lebih kecil memiliki dimensi bahan yang lebih besar, juga mempengaruhi jarak *obstacle*, dan lebar saluran transmisi.
2. Pengukuran ϵ_r dari 4 bahan diatas hanya berlaku pada frekuensi kerja 2,45 GHz dengan jarak *obstacle* yang telah ditentukan masing-masing. ini dikarenakan bahan sebenarnya memiliki karakteristik yang mengacu pada keefektifitasan pada frekuensi tertentu.

Nilai parameter-S terutama nilai *return loss* menjadi acuan pada pengukuran ini dikarenakan semakin rendah nilai *return loss* yang dimiliki bahan tersebut maka semakin baik tingkat ke-efektifan pengukurannya.

Daftar Pustaka

- [1] I., R. (2007). *Obstacle-based self-calibration techniques for the determination of permittivity of liquids*. Adv. Radio Sci.
- [2] J., H. (2001). S-parameter broadband measurements on-microstrip and fast extraction of the substrate dielectric constant. *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett*, 305-397.
- [3] G. Zou, H. G. (Nov.2002). Characterization of liquid crystal polymer for high frequency system-in-package applications. *IEEE Trans. Adv. Pack.*, 503-508
- [4] Ludwig, R. a. (2000). *Circuit Design Theory and Applications*. Prentice hall.
- [5] Narayanan, P. M. (2104). Microstrip Transmission Line Method For Broadband Permittivity Measurement of Dielectric Substrates. *IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, 62, 2784-2790.
- [6] LESNIKOWSKI, J. (2012). Dielectric permittivity measurement methods of textile substrate of textile transmission lines. *PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY*, 88, 148-151.