

**PENGUKURAN NILAI KONSTANTA DIELEKTRIK PADAT
DENGAN ALAT MICROWAVE TEST BENCH**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

**NAMA : DJOKO PRABOWO
NPM : 0806420953**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA
DEPOK
APRIL 2010**

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : DJOKO PRABOWO
NPM : 0806420953
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul Tesis : Pengukuran Nilai Konstanta Dielektrik Padat
dengan Alat Microwave Test Bench

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Fisika Instrumentasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Santoso Soekirno (.....)
Pembimbing II : Dr. Agus Paulus Winarso (.....)
Penguji : Dr. Dedi Suyanto (.....)
Penguji : Dr. Tony Mulya (.....)
Penguji : Dr. Martarizal (.....)

Ditetapkan di: Depok

Tanggal : 18 Mei 2010

KATA PENGANTAR

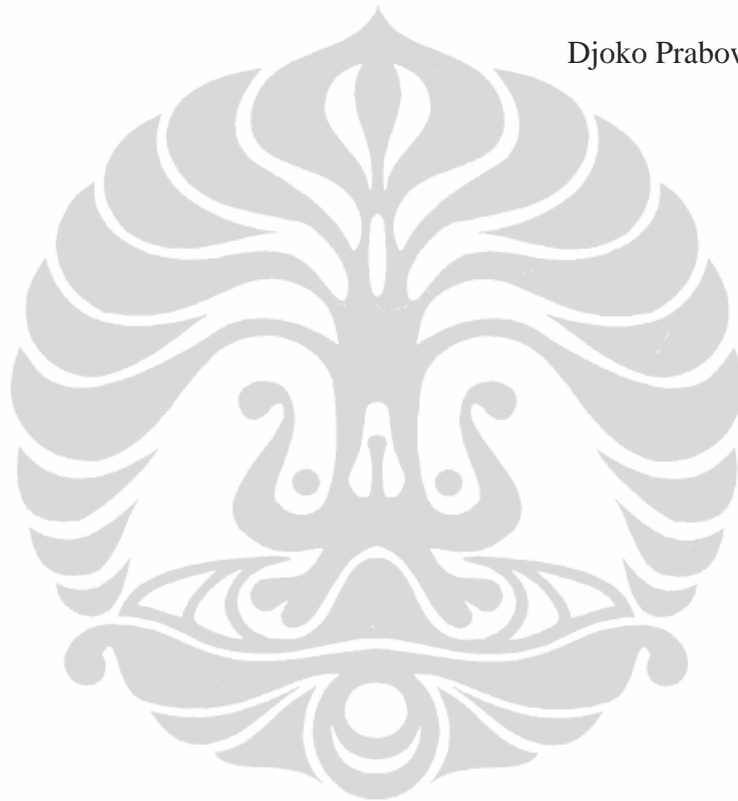
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Fisika jurusan Instrumentasi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Santoso Soekirno, selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Dr. Agus Paulus Winarso, selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
3. Direktur AMG beserta staf, yang mendukung baik moril maupun materiil, sehingga tesis ini dapat selesai.
4. Orang Tua yang selalu mendo'akan sehingga semangat untuk menyelesaikan tesis ini semakin giat.
5. Anak isteri yang mendukung baik semangat, motivasi sehingga makalah ini dapat selesai.
6. Semua dosen yang memberi kemudahan, waktu, dan pemecahan sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini.
7. Semua rekan-rekan saya S2 Intrumentasi yang membantu dalam pendidikan maupun dalam penyelesaian makalah ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 April 2010

Djoko Prabowo



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DJOKO PRABOWO
NPM : 0806420953
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengukuran Nilai Konstanta Dielektrik Padat dengan Alat Microwave Test Bench beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tesis saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 26-April-2010
Yang menyatakan

(Djoko Prabowo)

ABSTRAK

Nama : DJOKO PRABOWO
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul : Pengukuran Nilai Konstanta Dielektrik Padat dengan Alat Microwave Test Bench

Alat ukur microwave test bench digunakan mengetahui nilai dielektrik sample. Peralatan dirakit untuk memperoleh data parameter gelombang yang digunakan menentukan nilai dielektrik. Tesis yang menggunakan alat ini membahas pengukuran dielektrik. Nilai konstanta dielektrik perlu diketahui di peralatan instrumentasi yang dipakai untuk menaikan kapasitas kapasitif. Penelitian ini alat yang dipakai microwave test bench. Nilai konstanta dielektrik dihitung untuk menentukan nilai kapasitas kapasitor. Penelitian ini menggunakan tiga(3) material yang berbeda setelah itu diukur nilai dielektriknya. Nilai yang terukur dari penelitian teflon terukur 1,953 dan polistirena 2,455 dan 2,58. Untuk mengetahui beberapa parameter gelombang yang belum terukur di analisa dengan grafik dua dimensi. Sebaran data dalam grafik dianalisa dengan fungsi grafik. Hasil grafik untuk pendekatan nilai dielektrik pada kisaran konstanta gelombang yang tidak terbaca. Nilai hasil penelitian dibandingkan dengan referensi ternyata hasil pengukuran alat mendekati nilai referensi. Penggunaan alat ini akan dapat membantu dalam mengukur konstanta yang belum diketahui nilai dielektriknya.

Kata kunci:
Pengukuran Konstanta Dielektrik, Nilai Dielektrik

ABSTRACT

Name : DJOKO PRABOWO
Study Program : Physics Instrumentation
Title : Measurement of Dielectric Constant Values with Microwave Solid Bench Test

Microwave test bench measuring tool used to determine the value of the dielectric sample. Assembled equipment to obtain data on wave parameters used to determine the value dielektrik. Tesis who use this tool to discuss the dielectric measurements. Dielectric constant values necessary to know the instrumentation equipment used to increase the capacity of capacitive. This research is a tool used microwave test bench. The value of dielectric constant is calculated to determine the value of capacitor capacity. This study uses three (3) different materials and then measured the value of the dielectric. Measured by the value of polystyrene teflon study measured 2.455 and 1.953 and 2.58. To find out some parameters that have not been measured in wave analysis by two-dimensional graph. Distribution of data in the graph were analyzed using graphics functions. Results graph for the approach of the dielectric constant value in the range of waves that can not be read. Score results compared with the referent.

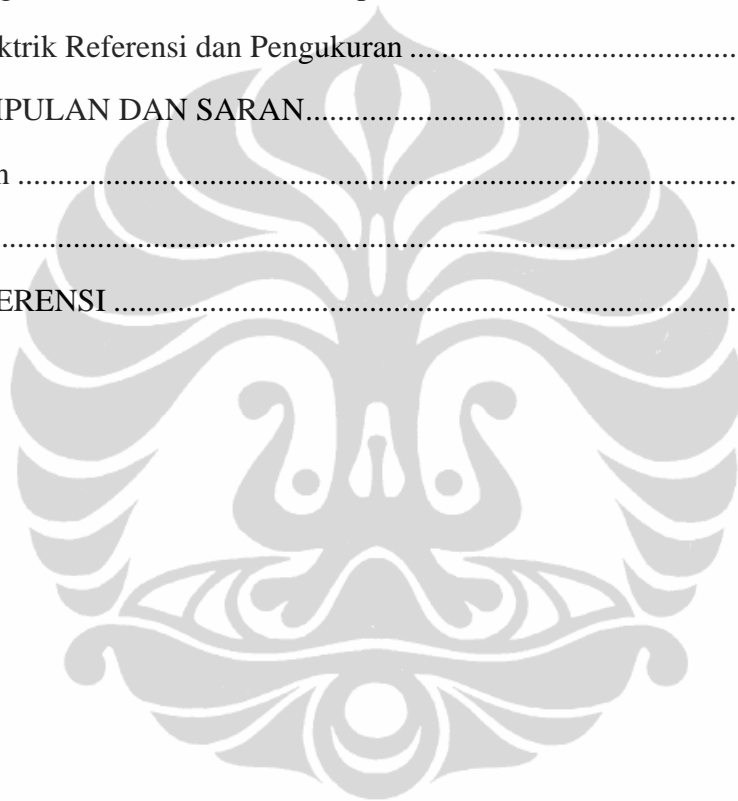
Keywords:
dielectric constant measurement, dielectric value

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASIKARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Penelitian	2
1.6. Model Operasional Penelitian.....	3
1.7. Sistematika Penulisan	3
BAB II TEORI DASAR PERHITUNGAN PERAMBATAN GELOMBANG	
2.1. Gerak Gelombang dalam Ruang Hampa	5
2.2. Gerak gelombang dalam Dielektrik Sempurna.....	9
2.3. Gelombang Datar dalam Dielektrik Merugi	12
2.4. Penjalaran dalam Konduktor yang baik	13

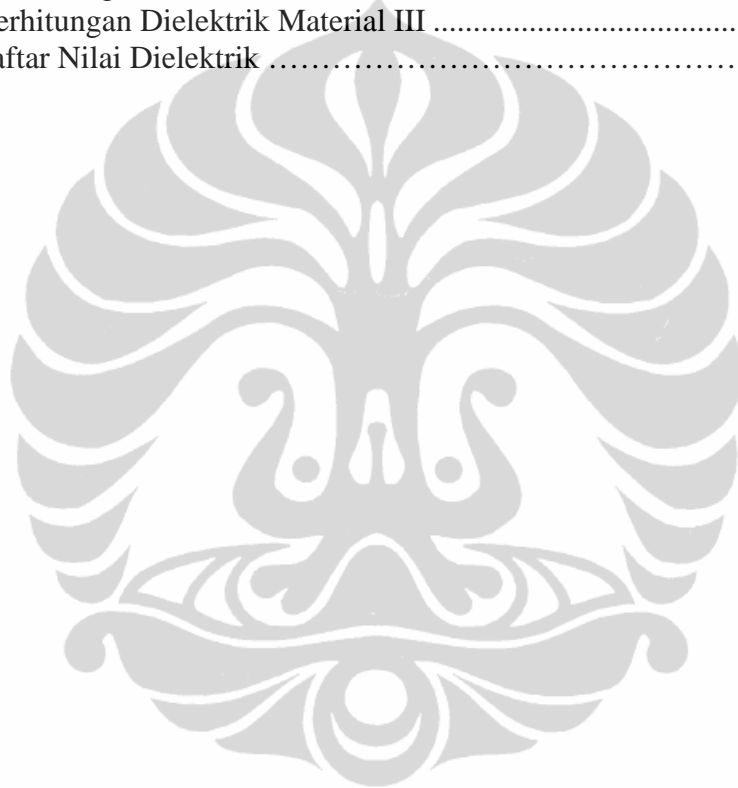
2.5. Pemantulan Gelombang Datar serbasama.....	15
2.6. Rasio Gelombang berdiri	16
2.7 Jenis-jenis Kesalahan.	18
2.8. Analisis Statistik.	18
2.8.1. Nilai rata-rata	18
2.8.2. Penyimpangan terhadap nilai rata-rata.....	19
2.8.3. Deviasi	19
2.8.3.1. Deviasi Standar	19
BAB III PERAKITAN ALAT DAN PERAMBATAN GELOMBANG	
3.1. Blok Diagram Rakitan Peralatan Pengukur Dielektrik Zat Padat.....	20
3.1.1. Gunn Power Supply NV101A.....	20
3.1.1.1. Instruksi Operasi Gunn Power Supply.....	21
3.1.2. Gunn Oscillator.....	22
3.1.2.1. Instruksi Operasi Gunn Oscillator.....	22
3.1.3. PIN Modulator	22
3.1.3.1. Instruksi Operasi PIN Modulator.....	23
3.1.4. Faktor Keselamatan Kerja Alat.....	23
3.1.5. SWR meter NV103A	24
3.2. Perambatan Pemandu Gelombang	25
3.2.1. Perambatan Gelombang dalam Media persegi.....	25
3.2.2. Mode Dominan dalam Transmisi Perambatan Gelombang	26
3.2.3. Gelombang Berdiri.....	30
3.2.4. Terminal Gelombang Penghantar	31
3.2.5. Atenuasi	32
3.2.6. Perambatan Arus dalam Dinding Penghantar	33
3.2.7. Pengaturan Panjang Gelombang dengan Mikrometer.....	34

3.2.8. Pengukuran Nilai Reaktif.....	34
BAB IV PENGUKURAN DATA DAN ANALISA	35
4.1. Pengukuran Data Diambil dari Pembacaan Alat.....	35
4.1.1. Perhitungan Dielektrik dari Parameter.....	36
4.2. Menghitung Deviasi Dielektrik Hasil Pengukuran	43
4.3. Penyimpangan Nilai Dielektrik terhadap Nilai Rata-rata	43
4.4. Nilai Dielektrik Referensi dan Pengukuran	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran.....	47
DAFTAR REFERENSI	49



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel.4.1. Hasil Pengukuran Material I.....	35
Tabel.4.2. Hasil Perhitungan Dielektrik Material I.....	36
Tabel.4.3. Hasil Pengukuran Material II.....	39
Tabel.4.4. Hasil Perhitungan Dielektrik Material II	39
Tabel.4.5. Hasil Pengukuran Material III	41
Tabel.4.6. Perhitungan Dielektrik Material III	42
Tabel.4.7. Daftar Nilai Dielektrik	46



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar.2.1. Hubungan fase waktu $\tan \theta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon}$	13
Gambar.3.1. Blok diagram pengukur dielektrik padat	20
Gambar.3.2. Gunn Power Supply NV101A	21
Gambar.3.3. SWR meter NV103 A	24
Gambar.3.4. Rambatn Gelombang dalam media persegi	25
Gambar.3.5. Standing Wave Ratio	26
Gambar.3.6. Amplitudo Rambatn Medan Listrik	26
Gambar.3.7. Gelombang Mode Transmisi yang Dominan	27
Gambar.3.8. Geometri Gelombang Transmisi Dominan	27
Gambar.3.9. Kecepatan Group komponen horizontal c	29
Gambar.3.10. Bentuk Gelombang Berdiri	31
Gambar.3.11. Terminasi Pemandu Gelombang dengan resistansi	31
Gambar.3.12. Terminasi Praktis Pemandu Gelombang	32
Gambar.3.13. Perambatan Arus pada Dinding Penghantar	33
Gambar.3.14. Analogi Kecepatan Gelombang fase	33
Gambar.3.15. Pembatas Radiasi dan tidak Radiasi	34
Gambar.3.16. Pembentukan seri $\frac{1}{4} \lambda$	34
Gambar.4.1. Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap konstanta Propagasi (material I)	38
Gambar.4.2. Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap konstanta Propagasi (material II)	40
Gambar.4.3. Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap konstanta Propagasi (material III)	42
Gambar.4.4. Perbandingan nilai Dielektrik dengan rata-rata(material I)	44
Gambar.4.5. Perbandingan nilai Dielektrik dengan rata-rata(material II)	45
Gambar.4.6. Perbandingan nilai Dielektrik dengan rata-rata(material III)	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Gambar perakitan Alat.....	50
Lampiran 2. Foto Material	51
Lampiran 3. Tabel Perhitungan Dielektrik.....	52
Lampiran 4. Tabel Deviasi Pengukuran.....	53
Lampiran 5. Contoh Perhitungan	54



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sifat dielektrik adalah karakteristik suatu bahan yang mencirikan potensinya dalam memberi respon bahan tersebut untuk menyimpan, menyalurkan dan memantulkan energy gelombang elektromagnetik. Pemanfaatan sifat dielektrik ini cenderung meningkat di bidang instrumentasi. Pada tingkat energy yang lebih rendah, sifat dielektrik dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kadar air secara non destruktif. Informasi mengenai sifat dielektrik bahan biologis serta berbagai faktor yang mempengaruhinya, seperti pengaruh frekuensi, kadar air, temperature, densitas, komposisi kimia, geometri dan ke homogenan bahan sangat penting untuk meningkatkan pemanfaatannya. Suatu masalah yang sering ditemukan dalam pemanfaatan sifat dielektrik produk-produk industri adalah kurangnya pengetahuan akan keterkaitannya dengan sifat fisik lainnya. Meningkatnya pengetahuan mengenai sifat dielektrik tersebut diharapkan dapat membuka kemungkinan penerapan dan pemanfaatan yang lebih luas.

Pengukuran sifat dielektrik bahan padat, dengan menggunakan frekuensi pada kisaran radio. Teknik pengukuran nilai sifat dielektrik yang digunakan percobaan dengan alat Mikrowave Tes Bench (8,5 – 11,5 GHz). Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran nilai dielektrik dengan mengatur frekuensi dan membaca alat ukur Standing Wave Ratio (SWR) meter. Penentuan nilai dielektrik dengan menggunakan gelombang elektromagnetik langsung ke material.

Tiga (3) fungsi dielektrik padat antara papan-papan dari suatu kondensator. Pertama memecahkan persoalan mekanik untuk membuat dua lembaran logam yang besar sangat berdekatan tanpa ada persentuhan. Kedua karena kekuatan dielektriknya lebih besar dari pada kekuatan dielektrik udara, perbedaan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh kondensator bertambah tanpa merusak kondensator itu. Ketiga ternyata kapasitansi suatu kondensator dengan ukuran-

ukuran tertentu beberapa kali lebih besar apabila menggunakan suatu dielektrik sebagai pemisah papan-papan itu dari pada jika papan-papan itu dalam ruangan hampa udara.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan dengan perhitungan hasil pengukuran dielektrik. Hasil perhitungan dibuat dalam gambar grafik sebarannya. Fungsi grafik yang diperoleh merupakan pendekatan nilai dielektrik. Pengukuran ke tiga material sebagai contoh dilakukan penilaian nilai dielektrik fungsi grafik akan diperoleh dari masing-masing jenis material.

1.3. Tujuan Penelitian

- Mengetahui nilai dielektrik sample padat dengan menggunakan alat microwave test bench.
- Menguji kinerja alat ukur nilai dielektrik material padat pada kisaran frekuensi gelombang radio.
- Membandingkan hasil perhitungan pengukuran dielektrik dengan nilai dielektrik referensi.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian sangat bermanfaat untuk mengetahui nilai dielektrik material. Nilai dielektrik diketahui karena fungsi bahan dielektrik akan menaikkan kapasitas kapasitor. Percobaan dengan alat ini akan sangat penting penentuan nilai bahan dielektrik yang lain. Penggunaan alat Microwave Test Bench pada kisaran frekuensi gelombang radio. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan alat tersebut dan selanjutnya dicoba material yang lain. Perkembangan komponen yang menggunakan dielektrik dapat menguji dielektrik dengan alat ini.

1.5. Batasan Penelitian

Penulisan ini dibatasi pengukuran tiga material sampel. Material yang lain dilihat dari referensi. Penelitian hanya menggunakan tiga sampel dan yang lain

tidak dilakukan. Pengukuran ini dilakukan untuk pengembangan lebih lanjut. Frekuensi yang digunakan frekuensi radio yang berkisar 8,5-11,5 GHz.

1.6. Model Operasional Penelitian

- Metoda yang dilakukan adalah pengukuran parameter dengan alat Mikrowave Test Bench.
- Metoda perhitungan parameter hasil pembacaan alat.
- Metoda perbandingan hasil perhitungan dengan referensi.
- Metoda analisa grafik yang diperoleh dari sebaran data.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan Tesis dibagi menjadi bab-bab untuk gambaran keseluruhan isi yang ditulis dalam makalah ini

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang, Perumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Penelitian, Sistematika Penelitian.

BAB II TEORI DASAR PERHITUNGAN PERAMBATAN GELOMBANG

Gerak Gelombang dalam Ruang Hampa, Gerak Gelombang dalam Dielektrik Sempurna, Gelombang Datar dalam Dielektrik Merugi, Vektor Poynting dan peninjauan Daya, Penjalaran dalam Konduktor yang baik, Pemantulan Gelombang Datar serbasama, Ratio Gelombang Berdiri, Jenis-jenis kesalahan, Analisa Statistik.

BAB III PERAKITAN ALAT DAN PERAMBATAN GELOMBANG

Blok Diagram Rakitan, Perambatan Pemandu Gelombang dalam Media Persegi, Mode Dominan dalam Transmisi, Gelombang Berdiri, Terminal Gelombang Penghantar, Atenuasi, Perambatan Arus dalam Dinding Penghantar, Pengaturan Panjang Gelombang, Pengaturan Nilai Reaktif.

BAB IV PENGUKURAN DATA DAN ANALISA

Pengukuran Data, Perhitungan Dielektrik, Menghitung Deviasi Dielektrik Hasil Pengukuran, Penyimpangan Nilai Dielektrik terhadap Rata-rata, Nilai Dielektrik Referensi dan Pengukuran.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan, Saran



BAB II
TEORI DASAR PERHITUNGAN PERAMBATAN GELOMBANG

Gelombang datar serbasama menunjukkan salah satu pemakaian yang paling sederhana dari persamaan Maxwell, dan memberi ilustrasi mengenai prinsip dasar perambatan energy. Konsep kecepatan penjalaran, panjang gelombang, impedansi gelombang, fase dan tetapan atenuasi. Penggunaan rasio gelombang berdiri dan impedansi masukkan untuk dibahas transmisi terpadu.

2.1. Gerak gelombang dalam Ruang Hampa

Pembahasan ini dibatasi dalam koordinat kartesian. Pemecahaannya dalam ruang hampa, kemudian untuk dielektrik sempurna, dielektrik merugi, dan untuk konduktor yang baik. Metode aproksimasi dilakukan untuk memperoleh keuntungan untuk setiap kasus khusus dan menekan karakteristik khusus dari penjalaran gelombang dalam media, tetapi tidak perlu melakukan yang terpisah. Gerak gelombang dalam ruang hampa dituliskan persamaan Maxwell dalam E dan H sebagai berikut:

$$\nabla \times H = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

- H : intensitas medan magnet (A/m)
- ϵ_0 : permitivitas hampa (farad/meter)
- $\frac{\partial E}{\partial t}$: perubahan medan listrik terhadap waktu(V/(mdet))

$$\nabla \times E = - \mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

- E : medan listrik (Volt/m)
- μ_0 : permeabilitas hampa (henry/meter)

Persamaan 2.1. menyatakan jika E(medan listrik) berubah terhadap waktu pada suatu titik, maka H(medan magnet) mempunyai kurl pada titik tersebut dan karenanya dapat dianggap membentuk sosok kecil yang tertutup yang bertautan dengan medan

perubahan E. Jika E berubah terhadap waktu maka H juga berubah terhadap waktu walaupun berubahnya tidak sama. Persamaan 2.2. bahwa H yang berubah tersebut menimbulkan medan listrik yang membentuk suatu sosok yang tertutup yang kecil disekeliling garis H. Medan listrik yang berubah terdapat jarak yang kecil dari titik semula tempat terjadinya gangguan tersebut. Kecepatan efek ini bergerak dari titik semula sama dengan kecepatan cahaya.

Persamaan gelombang medan listrik dituliskan sebagai berikut:

$$E_x = E_{xyz} \cos(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

ω : frekuensi radian(radian/detik)

φ : sudut fase(derajat)

Persamaan Euler dituliskan sebagai berikut:

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t \dots\dots\dots 2.4$$

dimana:

e = eksponensial

j = imajiner

Medan listrik arah sumbu X dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$E_x = \text{Re } E_{xyz} e^{j(\omega t + \varphi)} = \text{Re } E_{xyz} e^{j\varphi} e^{j\omega t} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana:

E_x = medan listrik (V/m)

Re = Real

Persamaan 2.5 dapat ditulis menjadi persamaan 2.6. yaitu:

$$E_{xs} = E_{xyz} e^{j\varphi} \dots\dots\dots 2.6$$

Perubahan medan listrik terhadap perubahan waktu dapat dituliskan persamaan berikut:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} [E_{xyz} \cos(\omega t + \varphi)] = \text{Re } j\omega E_{xs} e^{j\omega t} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

$\frac{\partial E_x}{\partial t}$ = perubahan medan listrik terhadap perubahan waktu (V/(m.s))

Persamaan operator orde dua perambatan medan listrik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_{xs} \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana:

$$\frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial x^2} = \text{perubahan medan listrik terhadap sumbu } x$$

Persamaan 2.8 jika terhadap $y=0$ dan terhadap $z=0$ maka persamaan menjadi sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 E_{xs} \dots\dots\dots 2.9$$

Persamaan 2.9 dapat diubah menjadi persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$E_{xs} = A e^{-j\omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0}z} \dots\dots\dots 2.10$$

Persamaan 2.10 dapat diubah menjadi persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$E_x = A \cos [\omega (t - z \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)})] \dots\dots\dots 2.11$$

Perambatan medan listrik yang amplitude A sama dengan E_{x0} sehingga ditulis persamaan 2.12

$$E_x = E_{x0} \cos [\omega (t - z \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)})] \dots\dots\dots 2.12$$

$$E'_x = E'_{x0} \cos [\omega (t - z \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)})] \dots\dots\dots 2.13$$

Perubahan periodic gelombang yang berulang terhadap jarak. Periode gelombang cosinus diukur sepanjang sumbu z yang disebut panjang gelombang. Kecepatan perambatan cahaya dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$c = \frac{1}{\sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)}} = 2,998 \times 10^8 = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \dots\dots\dots 2.14$$

Dimana:

$$\mu_0 = \text{permeabilitas ruang hampa(H/m)}$$

$$\epsilon_0 = \text{permitivitas ruang hampa(F/m)}$$

Dari persamaan 2.14 maka persamaan berubah menjadi 2.15, 2.16 sebagai berikut:

$$E_x = E_{x0} \cos \omega t \dots\dots\dots 2.15$$

$$E_x = E_{x0} \cos(-\omega z \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)}) = E_{x0} \cos \frac{\omega z}{c} \dots\dots\dots 2.16$$

$$\frac{\omega \lambda}{c} = 2 \pi \dots\dots\dots 2.17$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \text{ m/s (ruang hampa)} \quad \dots\dots\dots 2.18$$

Pada setiap titik ada perubahan terhadap waktu secara sinusoida dengan waktu perioda. Setiap jarak ada perubahan secara sinusoida pada panjang gelombang. Pada setiap titik dan setiap saat E_x mempunyai arah vertical, persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dz}{dt} = v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c \quad \dots\dots\dots 2.19$$

Persamaan 2.19. kecepatan ini disebut kecepatan fase yang berkaitan titik yang berfase sama. Kecepatan(v) fasenya sama dengan kecepatan cahaya dan medannya bergerak dalam arah sumbu z dengan kecepatan cahaya.

Persamaan Maxwell menjadi persamaan 2.20 dan medan magnet pada persamaan 2.21.

$$\nabla \times \mathbf{E}_s = -j \omega \mu_0 \mathbf{H}_s \quad \dots\dots\dots 2.20$$

$$H_y = E_{x0} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cos[\omega(t - z/c)] \quad \dots\dots\dots 2.21$$

Komponen E vertical yang berjalan ke timur disertai dengan medan magnetic horizontal (utara-selatan). Ratio intensitas medan listrik terhadap intensitas medan magnetic dituliskan pada persamaan 2.22.

$$\frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad \dots\dots\dots 2.22$$

Impedansi intrinsic(η) yang merupakan akar ratio permeabilitas terhadap permitivitas.

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad \dots\dots\dots 2.23$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad \dots\dots\dots 2.24$$

Gelombang datar serbasama harganya sama pada seluruh pada bagian bidang z. Medan listrik dan magnetnya saling tegak lurus pada arah penjalaran ke duanya terletak pada bidang transversal terhadap arah penjalaran.

2.2. Gerak Gelombang dalam Dielektrik Sempurna

Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relative kompleks yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolute dengan permitivitas ruang hampa, (Nyfors & Vainikain, 1989 dalam Ryyanen, 1995):

$$\epsilon_{abs} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \dots\dots\dots 2.25$$

Dimana:

ϵ_{abs} = permitivitas absolute bahan (F/m)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa (= $8,854 \times 10^{-12}$ F/m)

ϵ = permitivitas relative bahan

Permitivitas bias dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri dari komponen nyata dan khayal, yaitu (Risman, 1991 dalam Ryyanen, 1995):

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon'' = |\epsilon| e^{-j\delta} \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana:

ϵ' = tetapan dielektrik(dielektrik constant)

ϵ'' = factor kehilangan dielektrik(dielectric loss factor)

J= unit imajiner($\sqrt{-1}$)

δ = sudut hilang dielektrik(dielectric loss tangent)

Komponen nyata permitivitas tersebut disebut sebagai tetapan dielektrik ϵ' , yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energy listrik. Sedangkan komponen khayal disebut sebagai factor kehilangan dielektrik ϵ'' yang menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan/melepaskan energy dan mengkonversinya menjadi panas, yang nilainya selalu positif dan biasanya lebih kecil dari nilai tetapan dielektrik. Menurut Mohsenin (1984), tetapan dielektrik dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitansi bahan C, dengan kapasitansi ruang hampa atau vakum C_0

$$\epsilon = \frac{C}{C_0} \dots\dots\dots 2.27$$

Dimana:

C = kapasitansi bahan (Farad)

C_0 = kapasitansi ruang hampa (Farad)

Persamaan 2.29 dapat ditulis menjadi persamaan 2.30

$$\epsilon' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \dots\dots\dots 2.28$$

Sifat dielektrik suatu bahan dipengaruhi oleh interaksi massa bahan dengan medan elektromagnetik. Semakin tinggi densitas bahan semakin besar nilai sifat dielektriknya. Secara teoritis, semakin tinggi kadar air atau semakin rendah densitas bahan, makin besar pula nilai tetapan dielektrik ϵ' dan faktor kehilangan dielektrik ϵ'' . Dengan kata lain, tetapan dielektrik ϵ' dan faktor kehilangan dielektrik ϵ'' dipengaruhi oleh kadar air bahan tersebut.

Gelombang datar serbasama kepenjalaran dalam dielektrik sempurna dengan permitivitas ϵ dan permeabilitas μ . Mediumnya isotropic dan serbasama, persamaan gelombang sebagai berikut:

$$\nabla^2 E_s = -\omega^2 \mu \epsilon E_s \dots\dots\dots 2.29$$

Persamaan 2.29 diubah menjadi persamaan 2.30.

$$\frac{\partial^2 E_{xs}}{\partial z^2} = -\omega^2 \mu \epsilon E_{xs} \dots\dots\dots 2.30$$

Faktor eksponensial nyata memperkenankan peninjauan kasus gelombang yang mengalami atenuasi ketika gelombang tersebut menjalar dalam arah + z, α disebut tetapan atenuasi. Medium yang ditinjau tidak merugi maka α sama dengan nol (0). βz diukur dalam radian dan β adalah tetapan fase. α dan β adalah tetapan penjalaran gelombang. Persamaan sebagai berikut:

$$\gamma = \alpha + j \beta \dots\dots\dots 2.31$$

Dimana:

α = tetapan atenuasi (radian)

β = tetapan fase(radian)

Persamaan 2.31. dapat ditulis lagi dalam persamaan 2.32.

$$\gamma = \pm j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \dots\dots\dots 2.32$$

Jika $\alpha = 0$, maka nilai β dapat ditulis dalam persamaan 2.32

$$\beta = \omega\sqrt{\mu\epsilon} \dots\dots\dots 2.33$$

Kecepatan rambat gelombang dapat ditulis persamaan 2.34

$$v = \frac{\omega}{\beta} \quad \dots\dots\dots 2.34$$

dimana:

v = kecepatan rambat gelombang(m/s)

β = konstanta gelombang(radian)

ω = kecepatan sudut(rad/s)

Panjang gelombang dapat ditulis persamaan dalam 2.35

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f \sqrt{\mu_r \epsilon_r}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \quad \dots\dots\dots 2.35$$

dimana:

λ = panjang gelombang (m)

Konstanta gelombang dapat ditulis persamaan 2.36

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \dots\dots\dots 2.36$$

Intensitas medan magnet yang berhubungan dengan intensitas medan listrik ditulis dalam persamaan 2.37.

$$H_y = \frac{E_{x0}}{\eta} \cos(\omega t - \beta z) \quad \dots\dots\dots 2.37$$

Impedansi intrinsik dapat ditulis dipersamaan 2.38

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad \dots\dots\dots 2.38$$

dimana:

η = impedansi intrinsic(ohm)

Ke dua medan E_x dan H_y saling tegak lurus, tegak lurus penjalaran dan selalu sefase pada setiap titik. Perkalian silang E dengan H vector resultannya menyatakan arah penjalaran. Perambatan gelombang dalam penghantar dapat dituliskan persamaan 2.39

$$\frac{\tan \beta(D_R - D + l_g)}{\beta l_g} = \frac{\tan \beta \epsilon l_g}{\beta \epsilon l_g} \text{ (microwave test bench) } \quad \dots\dots\dots 2.39$$

Dari persamaan 2.39 konstanta dielektrik dapat dihitung dengan persamaan 2.40.

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \frac{(\beta \epsilon l_g)^2}{\epsilon} + 1}{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 + 1} \quad \dots\dots\dots 2.40$$

Dimana:

ϵ_r = konstanta dielektrik(F/m)

β = konstanta propagasi(radian)

λ_g = panjang gelombang(m)

2.3. Gelombang Datar dalam Dielektrik Merugi

Setiap bahan dielektrik mempunyai suatu harga konduktivitas. Perubahan waktu yang sinusoidal sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$\nabla \times E_s = -j\omega\mu H_s \quad \dots\dots\dots 2.41$$

Satu-satunya efek dari pemasukan konduktivitas σ adalah faktor $j\omega\epsilon$ berubah menjadi $\sigma + j\omega\epsilon$. Sehingga persamaan penjalaran yang baru sebagai berikut:

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad \dots\dots\dots 2.42$$

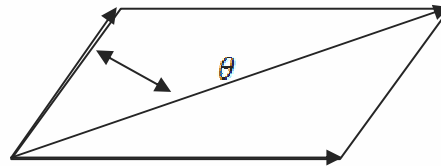
Rumusan berbeda dengan bahan merugi dengan adanya factor ke dua dalam tanda akar yang menjadi berharga 1 jika $\sigma = 0$. Persamaannya sebagai berikut:

$$\eta = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad \dots\dots\dots 2.43$$

Gelombang yang menjalar dalam arah + z factor yang menyebabkan penurunan amplitude secara eksponensial terhadap bertambahnya z. Tetapan atenuasi diukur dalam Neper per meter (Np/m) supaya eksponen dari e diukur dalam satuan tak berdimensi neper. Bahan dielektrik yang mempunyai kerugian kecil criteria yang dipakai untuk menyatakan besar kecilnya perbandingan $\sigma/\omega\epsilon$. **Suku** $\sigma/\omega\epsilon$ sebagai tangent kerugian dengan alasan yang menjadi jelas jika ditinjau persamaan kurl H, persamaan sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{\sigma}{\omega\epsilon} \quad \dots\dots\dots 2.44$$

Ke dua vector mempunyai arah yang sama tetapi fasenya berbeda 90^0 . Kerapatan arus arus perpindahan mendahului kerapatan arus konduksi dengan 90^0 sama seperti arus yang melalui suatu kapasitor mendahului arus yang melalui resistor yang dipasang paralel dengan 90^0 dalam rangkaian listrik. Hubungan fase ini ditunjukkan pada gambar 2.1. Sudut θ dapat diidentifikasi sebagai besar sudut kerapatan arus perpindahan mendahului kerapatan arus total.



Gambar. 2.1, hubungan fase waktu $\tan \theta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon}$

Persamaan atenuasi dapat dituliskan dalam persamaan 2.41. sebagai berikut:

$$\alpha = j \omega \sqrt{\mu \epsilon} \left(-j \frac{\sigma}{2\omega \epsilon} \right) = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad \dots\dots\dots 2.45$$

Jika tangent kerugiannya kecil, dapat diperoleh aproksimasi yang berguna untuk tetapan atenuasi dan tetapan fase serta impedansi intrinsiknya.

Tetapan fasa dituliskan dalam persamaan 2.46.

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots 2.46$$

Dimana:

β = tetapan fasa (radian/m)

σ = konduktivitas(mho/m)

Kebanyakan dielektrik fisis tangent kerugiannya lebih mendekati tetapan terhadap perubahan frekuensi daripada konduktivitasnya. Konduktivitasnya cenderung naik terhadap kenaikan frekuensi walaupun tidak linier. Perubahan yang relative cepat dari konduktivitas, permitivitas dan tangent kerugian dalam daerah inframerah

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \quad \dots\dots\dots 2.47$$

Impedansi intrinsiknya dapat ditulis pada persamaan 2.48. dan 2.49

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left[1 - \frac{3}{8} \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)^2 + j \frac{\sigma}{2\omega \epsilon} \right] \quad \dots\dots\dots 2.48$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left(1 + j \frac{\sigma}{2\omega \epsilon} \right) \quad \dots\dots\dots 2.49$$

2.4. Penjalaran dalam Konduktor yang baik

Penjalaran tak terbatas diselidiki kelakuan gelombang datar serbasama dalam konduktor yang baik. Suatu sumber di dalam batang tembaga menjalar sebagai

gelombang . Gelombang menjalar yang ditimbulkan oleh medan elektromagnetik dalam suatu bahan dielektrik eksternal yang berdampingan dengan konduktor. Transmisi utama dari energy terjadi dalam daerah diluar konduktor, karena setiap medan yang berubah terhadap waktu akan mengalami atenuasi yang sangat cepat dalam konduktor yang baik.

Konduktor yang baik memiliki konduktivitas yang tinggi dan arus konduksinya besar. Energi dalam bentuk gelombang yang menjalar dalam bahan akan mengalami pengurangan ketika gelombang tersebut menjalar karena selalu ada kerugian Ohmik. Tangen kerugian didapatkan rasio kerapatan arus konduksi terhadap kerapatan arus perpindahan dalam bahan ialah $\sigma/\omega\epsilon$. $\sigma/\omega\epsilon$ lebih besar 1 digunakan cara aproksimasi untuk mencari α , β , dan η untuk konduktor yang baik.

Tetapan penjalaran gelombang dituliskan dalam persamaan 2.50

$$\gamma = j \omega \sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j \frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \dots\dots\dots 2.50$$

Dimana:

$$\gamma = \text{tetapan penjalaran gelombang}(1/m)$$

Medan dalam konduktor dapat dikaitkan dengan medan eksternal pada permukaan konduktor. Misal daerah $Z > 0$ merupakan konduktor yang baik dan daerah $Z < 0$ dielektrik yang sempurna.

E_x sumber medan yang ditimbulkan dari medan konduktor. Arus perpindahannya dapat diabaikan.

$$J = \sigma E \dots\dots\dots 2.51$$

Parameter sangat penting digambarkan kelakuan konduktor dalam medan elektromagnetik. Pada daerah frekuensi setiap medan dalam konduktor yang baik seperti tembaga pada hakekatnya menjadi nol pada jarak yang lebih besar dari beberapa kedalaman kulit dari permukaan. Setiap kerapatan arus atau intensitas medan listrik yang timbul pada permukaan suatu konduktor yang baik akan meluruh dengan cepat ketika gelombang masuk ke dalam konduktor. Energi elektromagnetik tidak di transmisikan pada bagian dalam konduktor. Energi menjalar dalam daerah yang mengelilingi konduktor, sedangkan konduktornya hanya memandu gelombang

tersebut. Arus yang timbul pada permukaan konduktor merambat menjalar ke dalam konduktor dalam arah tegak lurus pada arah kerapatan arus, dan arus tersebut mengalami atenuasi melalui kerugian ohmik. Kerugian daya ini merupakan harga kerugian yang diambil oleh konduktor yang berlaku sebagai pemandu.

Suatu konduktor berongga yang tebal dindingnya sekitar $\frac{1}{2}$ in akan merupakan desain yang lebih baik. Walaupun digunakan analisa konduktor bidang datar tak berhingga untuk konduktor yang berukuran berhingga. Medan dalam konduktor berukuran berhingga mengalami atenuasi.

Kedalaman kulit yang sangat pendek untuk frekuensi mikrogelombang ditunjukkan yang memegang peranan hanyalah lapisan permukaan pada konduktor pemandu.

Kerugian daya rata-rata dalam konduktor dengan efek kulit dapat dihitung dengan menganggap bahwa arus totalnya terbagi merata dalam daerah setebal satu kedalaman kulit. Resistansi dikatakan dari daerah selebar b dengan panjang L dari lempengan yang tebalnya tak berhingga dengan efek kulit, sama dengan resistansi resistansi lempengan bujursangkar selebar b , panjang L dan tebal δ tanpa efek kulit dengan distribusi arus yang merata.

Konduktor yang berbentuk lingkaran diterapkan dengan kesalahan kecil, jika jejari a jauh lebih besar daripada ke dalaman kulit. Resistansi pada frekuensi tinggi yang diikuti dengan efek kulit dapat dicari dengan meninjau lempengan selebar keliling lingkaran $2\pi a$ dan tebal δ .

2.5. Pemantulan Gelombang Datar serbasama

Pemantulan gelombang datar serbasama jatuh pada perbatasan antara dua daerah yang terdiri dari dua jenis bahan. Penurunan rumus gelombang yang sebagian dipantulkan pada bidang batas dan sebageian lagi diteruskan ke daerah lainnya.

Gelombang datar serbasama dalam daerah 1 yang menjalar ke arah permukaan batas pada $z = 0$ disebut gelombang datang. Arah penjalaran gelombang datang tegak lurus pada permukaan batas dinamakan gelombang datang normal. Energi yang akan ditransmisikan melalui bidang perbatasan pada $z = 0$ ke dalam

daerah 2 dengan mengadakan gelombang yang bergerak ke arah $+z$ dan medium tersebut, Persamaan sbb:

Gelombang yang menjauhi permukaan batas ini ke dalam daerah 2 disebut gelombang terus (gelombang yang ditransmisikan). Syarat batas pada $z = 0$ untuk medan E_x adalah medan tangensial, medan E dalam daerah 1 dan 2 harus sama pada $z = 0$. Penetapan $z = 0$ diperlukan syarat $E_{x10}^+ = E_{x20}^+$.

2.6. Rasio Gelombang berdiri

Pengukuran yang mudah dilakukan dalam system transmisi dalam system transmisi adalah amplitude relative dari intensitas medan listrik atau medan magnetic dengan memakai penguat (probe). Suatu sosok penggandeng kecil dapat dipakai untuk mengukur amplitude medan magnetic, sedangkan seutas kabel sesumbu yang konduktor tengahnya agak menonjol ke luar dapat mengukur medan listriknya. Ke dua alat tersebut diselaraskan untuk bekerja pada frekuensi tertentu supaya mencapai kepekaan yang tinggi. Keluaran penguat disearahkan dan dihubungkan langsung dengan microampere atau dapat diteruskan ke voltmeter elektronik atau penguat khusus. Jarum penunjuk akan menunjukkan angka yang berbanding lurus dengan amplitude dari medan yang berubah terhadap waktu secara sinusoidal dimana penguat tersebut diletakkan.

Gelombang datar serbasama menjalar dalam daerah tak merugi dan tak terdapat gelombang pantul, pengukur akan menunjukkan amplitude yang sama pada setiap titik. Medan sesaat yang terukur akan berbeda fase $\beta(z_2 - z_1)$ ketika penguarnya bergerak dari $z = z_1$ ke $z = z_2$, tetapi system tidak peka terhadap fase medan. Tegangan yang amplitudonya sama merupakan suatu karakteristik dari gelombang berjalan yang tidak diatenuasi. Gelombang berjalan dalam medium tanpa rugi dipantulkan oleh konduktor sempurna, medan totalnya membentuk gelombang berdiri dan tegangan penguat tidak menunjukkan adanya keluaran jika terletak pada jarak bilangan bulat kali setengah gelombang dari permukaan pemantul. Ketika kedudukan penguat berubah keluarannya berubah menurut $|\sin \beta z|$ dengan z menunjukkan jarak pada konduktor.

Keadaan yang rumit jika medan yang dipantulkan tidak 0 atau 100 % dari medan datang. Energi diteruskan ke daerah 2 dan sebagian dipantulkan. Daerah 1 mengandung medan yang terdiri dari gelombang berjalan dan gelombang berdiri. Medan semacam ini disebut gelombang berdiri walaupun terdapat gelombang berjalan. Medan tidak memiliki titik yang mempunyai amplitude nol untuk setiap waktu dan derajat yang menyatakan kuantitas gelombang berjalan terhadap gelombang berdiri dinyatakan sebagai rasio antara amplitude maximum terhadap amplitude minimum yang terukur.

Medan yang sama yang diselidiki dikombinasikan intensitas medan listrik dengan intensitas medan listrik pantul.

$$E_{x1} = E_{x1}^+ + E_{x1}^- \dots\dots\dots 2.52$$

Medan E_{x1} merupakan fungsi sinusoidal terhadap waktu t dan besarnya berubah terhadap z menurut cara yang belum diketahui. Harga z dicari amplitude maximum dan minimum dan ditentukan rasionya. Rasio ini adalah rasio gelombang berdiri dan dinyatakan dengan s .

Tinjau mekanisme prosedur untuk kasus medium 1 yang merupakan dielektrik sempurna, $\alpha_1 = 0$, tetapi daerah 2 dapat terdiri dari bahan apa saja. Persamaan

Rasio gelombang berdiri ialah rasio amplitude, amplitude relatifnya diperoleh dari penguar memungkinkan untuk menentukan s secara eksperimental. Rasio gelombang berdiri merupakan parameter saluran transmisi yang penting.

Jika daerah 1 sebagai bahan merugi dengan α_1 tidak sama dengan nol. Gelombang datang dari kiri mengalami atenuasi secara eksponensial, ketika gelombang menjalar dalam arah $+z$. Gelombang pantul mengalami atenuasi ketika menjalar kearah $-z$. Akhirnya amplitude dapat diabaikan terhadap amplitude gelombang datang. Amplitudo maximum dan minimum dapat diamati didekat permukaan pemantul, pada jarak yang jauh mengalami perataan.

Rasio gelombang berdiri merupakan fungsi dari z dan harganya tidak dapat didefinisikan secara khusus. Rasio gelombang berdiri selalu merupakan fungsi dari kedudukan beban.

2.7. Jenis-jenis kesalahan

Pengukuran yang dihasilkan idealnya tidak sempurna yang diinginkan. Penting untuk diketahui ketelitian yang sebenarnya dan bagaimana kesalahan yang berbeda digunakan dalam pengukuran. Langkah pertama yang diperlukan untuk menguranginya adalah mempelajari kesalahan – kesalahan tersebut. Kesalahan-kesalahan dapat dibagi menjadi:

- Kesalahan umum: kebanyakan disebabkan oleh kesalahan manusia diantaranya kesalahan pembacaan alat ukur, penyetelan yang tidak tepat dan pemakaian instrument yang tidak sesuai dan kesalahan penaksiran.
- Kesalahan sistematis: disebabkan kekurangan-kekurangan pada instrumen sendiri seperti kerusakan atau ada bagian-bagian yang aus dan pengaruh lingkungan terhadap peralatan atau pemakai.
- Kesalahan yang tak disengaja : diakibatkan oleh penyebab-penyebab yang tidak dapat langsung diketahui sebab perubahan parameter-parameter.

2.8. Analisis Statistik

Analisis statistic terhadap data pengukuran adalah pekerjaan yang biasa sebab disebabkan penentuan ketidak pastian hasil pengujian akhir secara analitis. Hasil dari suatu pengukuran dengan metoda tertentu dapat diramalkan berdasarkan data.

2.8.1. Nilai rata-rata

Nilai yang paling mungkin dalam variable yang diukur adalah nilai rata-rata dari semua pembacaan yang dilakukan. Persamaan ditulis sbb:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \dots\dots\dots = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots 2.53$$

2.8.2. Penyimpangan terhadap nilai rata-rata

Penyimpangan adalah selisih antara suatu pembacaan terhadap nilai rata-rata dalam sekelompok pembacaan. Jika penyimpangan pembacaan pertama x_1 adalah d_1 , penyimpangan pembacaan ke dua x_2 adalah d_2 dan seterusnya maka penyimpangannya terhadap nilai rata-rata dapat dituliskan sebagai berikut:

$$d_1 = x_1 - \bar{x}$$

$$d_2 = x_2 - \bar{x}$$

$$d_n = x_n - \bar{x}$$

2.8.3. Deviasi

Deviasi rata-rata adalah suatu indikasi ketepatan instrument-instrumen yang digunakan untuk pengukuran. Instrumen-instrumen yang ketepatannya tinggi akan menghasilkan deviasi rata-rata yang rendah antara pembacaan-pembacaan. Menurut definisi deviasi rata-rata adalah penjumlahan nilai-nilai mutlak dari penyimpangan-penyimpangan dibagi dengan jumlah pembacaan. Deviasi rata-rata dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + |d_3| + \dots + |d_n|}{n} = \frac{\sum |d_i|}{n} \dots\dots\dots 2.54$$

2.8.3.1. Deviasi Standar

Deviasi standar merupakan cara yang sangat ampuh untuk menganalisa kesalahan kesalahan acak secara statistic. Deviasi standar dari jumlah data terbatas didefinisikan sebagai akar dari penjumlahan dari penyimpangan setelah dikuadratkan dibagi dengan banyaknya pembacaan. Secara matematis dituliskan sbb:

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \dots\dots\dots 2.55$$

Jumlah pengamatan yang terbatas digunakan persamaan deviasi sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \dots\dots\dots 2.56$$

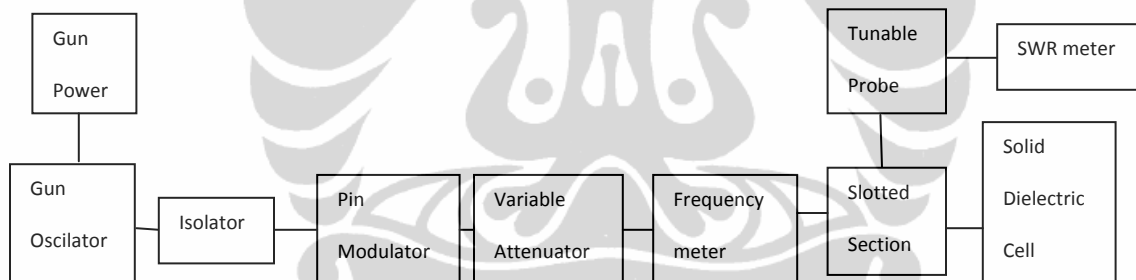
BAB III

PERAKITAN ALAT DAN PERAMBATAN GELOMBANG

Peralatan dirakit untuk memperoleh data. Power Suplai dan Standing Wave Ratio (SWR) meter dihidupkan mengalir arus dan tegangan. SWR meter sebagai deteksi ada perubahan tegangan. Frekuensi meter diatur sampai diperoleh yang optimum. Meterial yang akan diukur dimasukkan pada solidcell dielectric.

3.1. Blok Diagram Rakitan Peralatan Pengukur Dielektrik zat padat

Blok diagram rakitan peralatan pengukur dielektrik zat padat digambarkan sebagai berikut:

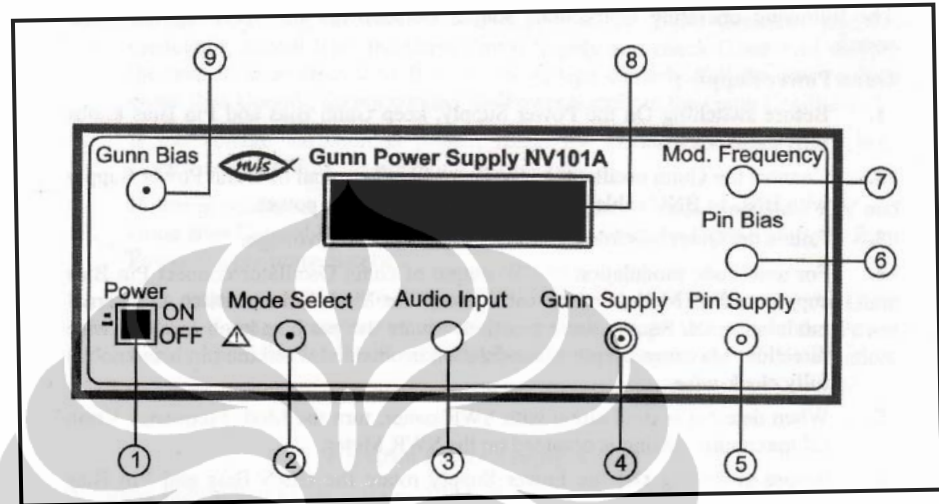


Gambar 3.1. Blok diagram pengukur dielektrik zat padat

3.1.1. Gunn Power Supply NV101A

- Alat elektronik yang mengatur sumber power DC yang akan membangkitkan Gunn Oscillator dan PIN modulator.
- Tegangan DC mempunyai variable dari 0 sampai 10 Volt.
- Frekuensi gelombang persegi dapat menjalar dengan variasi 800 sampai 1200 Hz.
- Front panel meter dapat membaca tegangan dan arus dengan Gunn Dioda.

- Sumber daya ditandai dengan proteksi gunn diode dari penjabaran fungsi antara aplikasi tegangan transient dan frekuensi rendah dari oscillator.



Gambar 3.2. Gunn Power Supply NV101A

Keterangan gambar:

1. Power ;2. Mode Select; 3. Audio Input; 4. Gunn Supply; 5. PIN Supply;
6. PIN Bias; 7. Mod. Frequency; 8. LCD Display; 9. Gunn Bias

3.1.1.1. Instruksi Operasi Gunn Power Supply

- Sebelum menggunakan power supply, dijaga gunn bias dan pin bias atur volume yang sangat kecil.
- Hubungkan gunn osilator ke terminal gunn bias dari power suplai dengan kabel BNC sekarang dapat menghubungkan ke power.
- Putar tombol gun bias dengan mengoperasikan tegangan.
- Untuk modulasi amplitude dari output gelombang kontinyu osilator yang dihubungkan Pin bias suplai untuk Pin modulator dengan kabel.
- Detektor digunakan dengan SWR meter, putar modulasi frekuensi tombol sampai pembacaan maximum yang diperoleh dengan SWR meter.

- Sebelum dimatikan power suplai putar gun bias dan tombol pin bias diputar menjadi minimum dan tidak terhubung gun osilator dan pin modulator.

3.1.2. Gunn Oscillator

- Alat ini menghasilkan sumber gelombang mikro.
- Gunn ini mempunyai kapasitas frekuensi antara 8,5 sampai 11,5 GHz, dengan keluaran daya 5 – 10 mW.

3.1.2.1. Instruksi Operasi Gunn Oscilator

- Naikkan tegangan power suplai untuk operasi tegangan. Kapasitas gunn osilator dapat digerakan yang minimum dan dihubungkan dengan micrometer.
- Jika kegagalan gunn osilator untuk memberi output dengan cek gunn diode.
- Tegangan negative atau positif 12 V tidak pernah dipakai gunn osilator, yang akan merusak permanen gunn Dioda.

3.1.3. PIN Modulator

- Output gelombang kontinu (CW) dari gunn oscillator dapat dimodulasi ke bentuk gelombang persegi dengan modulasi tegangan pada gunn diode bias tegangan. Hal ini terjadi agak sulit benar-benar modulasi dengan baik, variasi impedansi dengan temperature. Rangkaian pembangkit dari tegangan modulasi harus mempunyai impedansi ouput yang kecil dan harus dapat membawa 300 sampai 500 mA.
- PIN modulator adalah saluran transmisi contohnya pembawa gelombang shunt dengan PIN diode. Pada bias negative atau nol adanya diode dengan impedansi rendah terjadi refleksi sinyal. Pada bias positif adanya diode dengan impedansi tinggi dan tidak mempengaruhi perambatan sinyal saluran transmisi. Daya propagasi selama periode refleksi ketika tegangan positif pada PIN diode.

- Penempatan isolator antara Gunn Oscilator dan PIN Modulator untuk melindungi bentuk.

3.1.3.1. Instruksi Operasi Pin Modulator

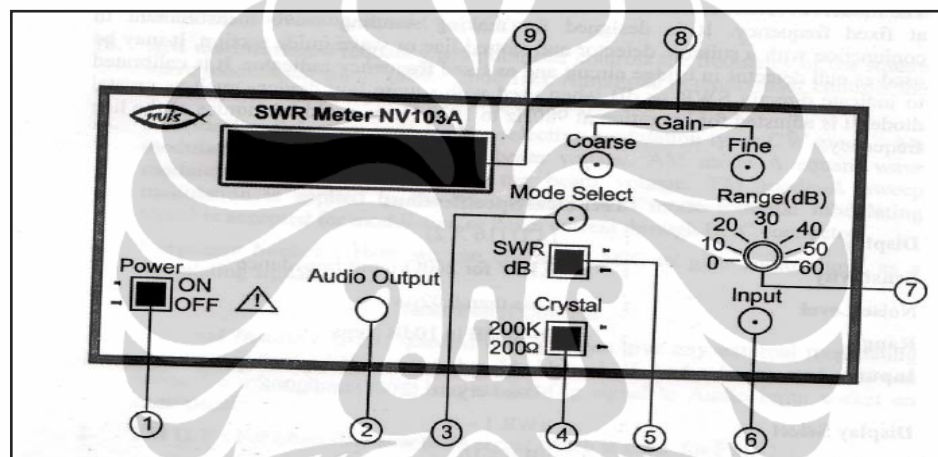
- Jika output gelombang kontinyu dari gunn osilator diperlukan amplitude modulasi, Pin Modulator harus dihubungkan ke output band X sumber gunn yang mengalirkan daya melalui modulator dalam arah yang menyempit dan pilih mode untuk mendapat modulasi.
- Jika modulasi amplitude dengan frekuensi 1 KHz dan 50 % putaran diperlukan mengukur SWR, bias Pin Modulator digunakan power suplai sebagai penggerak mula.
- Pelemahan 3 dB ditentukan gelombang pin modulator untuk gun diode dan pin diode. Bias DC pin modulator dengan 10 sampai 20 mA arus DC, output yang diperoleh 3 dB.
- Output gelombang kontinyu, pin modulator diubah dari test pengaturan.

3.1.4. Faktor Keselamatan Kerja Alat

- Sebelum menghubungkan power supply ke gunn oscillator dan Pin Modulator, arahkan saklar ke on gunn power supply dan cek gunn bias variasi tombol control dari 0 sampai 10 V. Jika tegangan melebihi 12 V untuk beberapa posisi gunn bias control, jangan menghubungkan power supply ke gunn osilator.
- Jika variasi tegangan yang dimiliki, putar tombol gunn bias kearah minimum dan diikuti instruksi operasi.
- Jika selama operasi gun osilator, pembacaan meter lebih dari 12 V dan gunn bias control dari supply, putuskan gunn osilator dari power supply segera.
- Jika on putar tombol gunn bias searah jarum jam tegangan gunn supply jenuh pada kira-kira 3 sampai 5 Volt lagi putuskan power supply segera.

3.1.5. SWR Meter NV 103 A

SWR meter dirancang untuk mengukur gelombang berdiri yang dihubungkan dengan detector dan garis gelombang. Pengukuran SWR digunakan sebagai nol detector dalam rangkaian jembatan dan sebagai frekuensi indicator. Kalibrasi untuk indicator SWR langsung atau dB ketika menggunakan peralatan persegi yang berupa Kristal diode. SWR diatur beroperasi dengan frekuensi 980 sampai 1020 Hz untuk menghindari harmonisa dari garis frekuensi.



Gambar 3.3. SWR meter NV 103 A

Keterangan Gambar

1. Power : Tekan tombol untuk mensupply power instrument.
2. Audio Output : Socket yang disediakan untuk headphone
3. Mode Select : Tombol yang diberikan untuk memilih mode SWR meter
4. Crystal : sebagai input impedansi yang dipilih 200 Ω rendah dan 200 K tinggi
5. SWR/dB : saklar untuk memilih dalam dB
6. Input : BNC Female konektor untuk menghubungkan sinyal yang diukur
7. Range Switch : 7 posisi attenuator minimum dalam 10 dB
8. Gain Coarse : Kontrol untuk mengatur meter dari beberapa bacaan

9. LCD display : LCD display, untuk mengukur SWR dan penguatan.

3.2. Perambatan Pemandu Gelombang

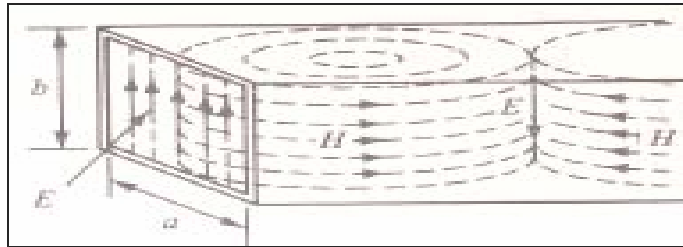
Frekuensi tinggi lebih dari 3000 MHz, transmisi gelombang elektromagnetik sepanjang lintasan menjadi sulit, terutama terhadap kerugian (losses) yang terjadi dalam dielektrik zat padat yang mendukung konduktor. Transmisi gelombang elektromagnetik dalam tabung metalik. Bentuk umum penghantar gelombang (waveguides) adalah rectangular dalam perpotongan seperti gambar 3.4. yang menunjukkan arus dalam dinding penghantar yang ditimbulkan daya, resistansi dinding penghantar dibuat sangat rendah. Dinding penghantar gelombang adalah konduktor. Dua kondisi yang penting dari perambatan gelombang elektromagnetik yaitu medan listrik dan medan magnet, seperti gambar 3.5. Spektrum gelombang mikro dari 300 MHz sampai 300 GHz.



Gambar 3.4. Rambatan gelombang dalam media persegi

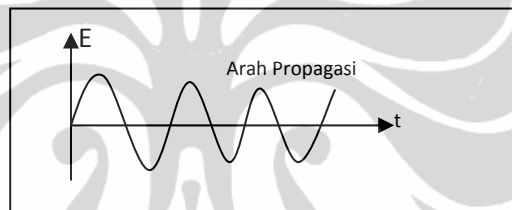
3.2.1. Perambatan Gelombang dalam Media persegi

Perambatan gelombang transversal elektromagnetik ketika perambatan medan magnet membentuk sudut ke arah kanan dari rambatan propagasi. Perambatan medan listrik membentuk loop sepanjang arah rambatan gelombang. Seperti gambar 3.5.



Gambar 3.5. Standing Wave Ratio

Variasi rambatan gelombang medan listrik dalam fungsi jarak sepanjang arah rambatan gelombang ditunjukkan pada gambar 3.6.



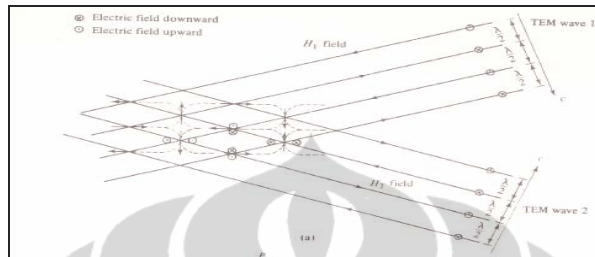
Gambar 3.6. Amplitudo rambatan medan listrik

Gambar mode perambatan gelombang pada gambar 3.5 dan 3.6 merupakan bentuk gelombang transversal listrik. Variasi dari medan listrik sebagai fungsi jarak sepanjang perambatan. Pencatatan setiap setengah gelombang dari variasi yang terjadi sepanjang sisi datar dan sepanjang sisi tegak lurus. Mode yang dominan dalam transmisi perambatan gelombang yang ditunjukkan untuk mendukung dalam frekuensi rendah.

3.2.2. Mode dominan dalam Transmisi Perambatan Gelombang

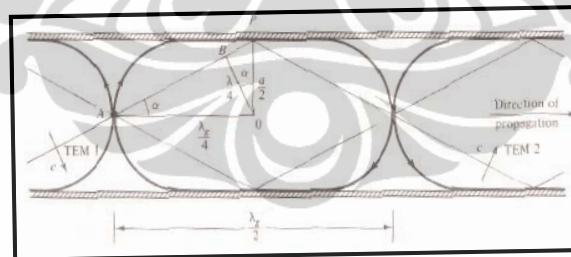
Mode dominan perambatan gelombang membentuk resultan dari dua gelombang transversal elektromagnetik. Titik perpotongan ditunjukkan vector masing-masing gelombang. Titik-titik itu adalah medan listrik yang ditunjukkan dua

persimpangan dan dua titik medan magnet ke arah atas dan bawah. Pada titik yang lain medan listrik ditunjukkan dengan titik dan bersebrangan. Medan magnet arahnya kekanan dan kekiri. Seperti pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Gelombang mode transmisi yang dominan

Arah lup medan magnet ditunjukkan gambar 3.8. Satu menempati jarak setengah panjang gelombang ($\frac{1}{2} \lambda$) dalam gelombang penghantar. Perbedaan dari setengah panjang gelombang dari gelombang transversal elektromagnetik dan ditunjukkan seperti $\frac{1}{2} \lambda_g$, dimana λ_g batas panjang gelombang pemandu.



Gambar 3.8. Geometri gelombang transmisi dominan

Frekuensi dari gelombang transversal medan listrik akan sama seperti gelombang transversal medan elektromagnetik. Kecepatan fasa (v_p) dari gelombang medan listrik dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

Persamaan Gelombang Transversal Medan Listrik:

$$\lambda_g f = v_p \dots\dots\dots 3.1$$

dimana:

λ_g : panjang gelombang phasa (m)

f : frekuensi (Hz)

v_p : kecepatan phasa (m/det)

Persamaan Gelombang Transversal Medan Elektromagnetik:

$$\lambda f = c \dots\dots\dots 3.2$$

dimana:

λ : panjang gelombang (m)

f : frekuensi (Hz)

c : kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/det)

Gabungan dua persamaan gelombang maka diperoleh persamaan berikut:

$$v_p = c \frac{\lambda_g}{\lambda} \dots\dots\dots 3.3$$

dimana:

v_p : kecepatan fase (m/s)

c : kecepatan cahaya (m/s)

λ : panjang gelombang ruang hampa (m)

λ_g : panjang gelombang pemandu (m)

Dari gambar 3.8. diperoleh: Segitiga OBP dan Segitiga ABO :

$$\cos \alpha = \frac{\lambda}{2a} \dots\dots\dots 3.4$$

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{\lambda_g} \dots\dots\dots 3.5$$

Persamaan trigonometri :

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \dots\dots\dots 3.6$$

Penurunan persamaan geometri menjadi:

$$\left(\frac{\lambda}{\lambda_g}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2 = 1 \dots\dots\dots 3.7$$

Persamaan 3.7 dapat diubah menjadi persamaan 3.8.

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \left(\frac{1}{2a}\right)^2 \dots\dots\dots 3.8$$

Jika $\lambda = 2a$ maka panjang gelombang penghantar menjadi terbatas. Hubungan gelombang transversal medan elektromagnetik dari pantulan sisi kesisi dengan komponen kecepatan lurus sepanjang penghantar pemandu. $\lambda = 2a$ mewakili panjang gelombang transversal medan elektromagnetik yang dapat merambat dalam penghantar pemandu. Lebar $2a$ sebagai titik batas panjang gelombang pemandu sebagai λ_c , persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \dots\dots\dots 3.9$$

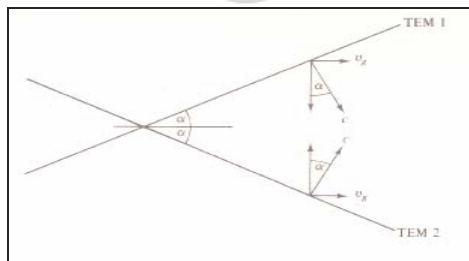
Dimana:

- λ_g : panjang gelombang phasa (m)
- λ : panjang gelombang di ruang hampa (m)
- λ_c : panjang gelombang cutoff (m)

Dari gambar 3.9 persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_p = \frac{c}{\sin \alpha} \dots\dots\dots 3.10$$

$\sin \alpha$ nilainya tidak pernah lebih dari satu, v_p tidak pernah lebih kecil dari c . Gelombang sendiri yang pergerakannya zigzag komponen kecepatan sepanjang lintasan penghantar yang membawa energy lebih kecil dari kecepatan cahaya c .
Gambar 3.9



Gambar 3.9. Kecepatan group sebagai komponen horizontal dari c

Komponen-komponennya sebagai kecepatan group v_g , ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$v_g = c \sin \alpha \dots\dots\dots 3.11$$

$$v_g \cdot v_p = c^2 \dots\dots\dots 3.12$$

$$v_g = c \frac{\lambda}{\lambda_g} \dots\dots\dots 3.13$$

Perambatan propagasi gambar 3.9 persamaan dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\text{tg} \beta (ls + DR - D)}{\beta \cdot ls} = \frac{\text{Tg} X}{X} \text{ (sumber buku manual microwave test bench)} \dots\dots\dots 3.14$$

Dari persamaan 3.14 rumus dielektrik diperoleh dengan hasil konstanta propagasi, dituliskan

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{a}{\pi^2}\right)\left(\frac{X}{l_g}\right)^2 + 1}{\left(\frac{a}{\lambda_g}\right)^2 + 1} \text{ (sumber buku manual microwave test bench)} \dots\dots\dots 3.15$$

Dari gambar 3.5 dan 3.6. lebih mudah komponen transversal dari medan magnet H terletak sepanjang dimensi a dan dituliskan sebagai berikut:

$$H_a = H \sin \alpha \dots\dots\dots 3.16$$

Impedansi gelombang untuk mode gelombang transmisi dominan sebagai berikut:

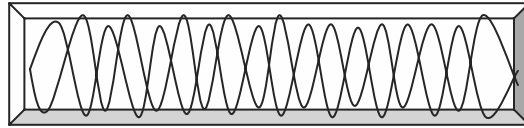
$$Z_w = E_b H_a \dots\dots\dots 3.17$$

$$Z_w = E H \sin \alpha \dots\dots\dots 3.18$$

3.2.3. Gelombang Berdiri

Pertimbangan bagian dari pandu gelombang ditutup dengan sempurna dibagian akhir. Kondisi batas memerlukan media untuk menyesuaikan sehingga medan listrik adalah nol, dan medan magnet tangensial penuh pada penutupan. Pola gelombang resultan dapat dipertanggungjawabkan dalam hal kejadian gelombang transversal elektromagnetik, dan tercermin gelombang transversal elektromagnetik, kombinasi yang mengatur pola gelombang berdiri disepanjang panduan gelombang. Pola gelombang resultan adalah stasionary bervariasi dalam ruang dan waktu. Disebelah kiri menunjukkan kondisi memandu hubung singkat pada suatu waktu interval keempat kalinya dari gelombang periodic, referensi waktu dipilih pada

kondisi media maksimum. Ujung tertutup medan magnet transversal adalah nol sedangkan medan listrik maksimum. Pada setengah media medan listrik adalah nol. Seperti gambar 3.10.

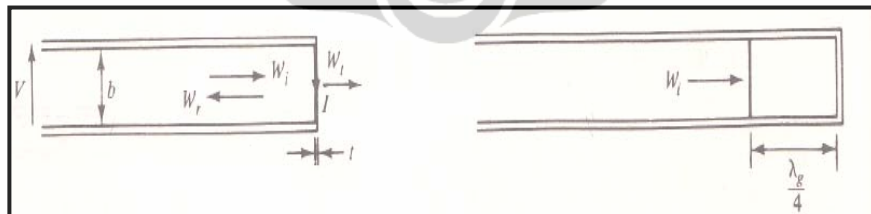


Gambar3.10. Bentuk Gelombang berdiri

Gambar akan diamati pada $\frac{1}{4} \lambda_g$ dari gelombang tertutup gelombang medan magnet adalah nol ketika medan listrik maximum. Impedansi gelombang pada bagian penghantar. Pada $\frac{1}{2} \lambda_g$ medan listrik sama dengan nol ketika medan magnet maximum, sehingga impedansi gelombang sama dengan nol. Pada $\frac{1}{4}$ gelombang dan $\frac{1}{2}$ gelombang dari penghantar (gb.3.10.).

3.2.4. Terminal Gelombang Penghantar

Batasan gelombang penghantar yang menyebabkan tidak terjadi refleksi, Batasan impedansi sama dengan impedansi gelombang. Jika penghantar gelombang adalah resistif seperti gambar 3.11.



Gambar 3.11. Terminasi pemandu gelombang dengan resistansi

Antara puncak dan dasar nilai resistansi mewakili lebar penghantar b dan bagian melintang mewakili luas ta , dimana t ketebalan penghantar. R_s nilainya sama untuk

luas setiap inci juga centimeter persegi. Hubungan Arus medan magnet tangensial sebagai berikut:

Dan untuk medan listrik sebagai berikut:

E_T dan H_T terdiri tiga (3) komponen yaitu: $W_{incident}$, $W_{reflected}$, $W_{transmitted}$

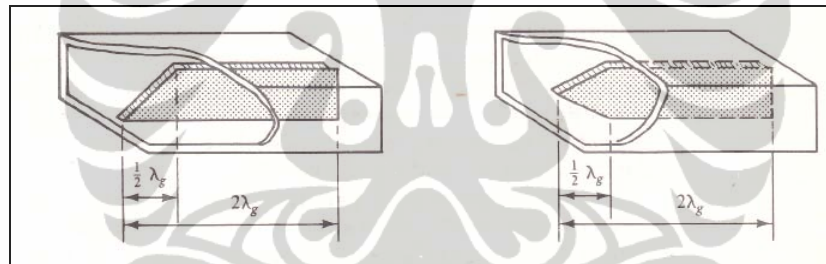
Gelombang. Tansmisi gelombang dapat dihilangkan dengan panjang penghantar $\frac{1}{4} \lambda_g$ batasan impedansi, Resistif R_S dibuat sama pada kejadian impedansi gelombang Z_w sebagai berikut:

$$Z = R_S \dots\dots\dots 3.19$$

Pendekatan:

$$E_T / H_T = E_i / H_i = E/H \dots\dots\dots 3.20$$

Pengaturan batasan perambatan gelombang seperti gambar 3.12.



Gambar 3.12. Terminasi praktis pemandu gelombang

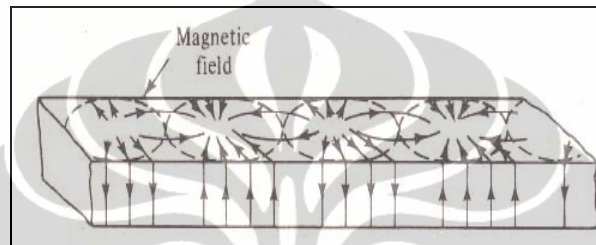
3.2.5. Atenuasi

Metoda umum atenuasi dapat diterangkan sebagai berikut:

- Lapisan resistansi tipis dapat digerakan dari sisi dinding yang menghasilkan atenuasi minimum, kepusat perambatan gelombang, juga menghasilkan maximum. Mekanik micrometer control diatur mekanik sehingga atenuasi dapat diatur dengan kalibrasi.
- Konstruksi mudah posisi slotsection meminimalkan radiasi, sehingga radiasi yang terjadi dan jenisnya tidak digunakan ketelitian kerja.

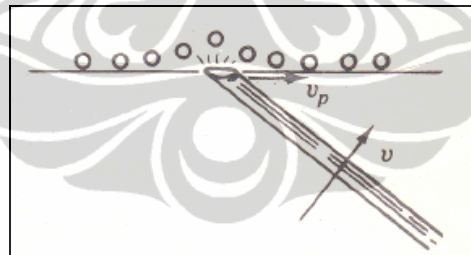
3.2.6. Perambatan Arus dalam dinding Penghantar

Perambatan model gelombang bervariasi bentuk yang tampak merambat dibawah penghantar. Sebagian menyebarkan pemandu penghantar medan magnet dan listrik tampak lup bervariasi. Ini menyebabkan arus induksi pada dinding penghantar arus-arus ini pada sudut sebelah kanan medan magnet. Perambatan arus ditunjukkan pada gambar 3.13.



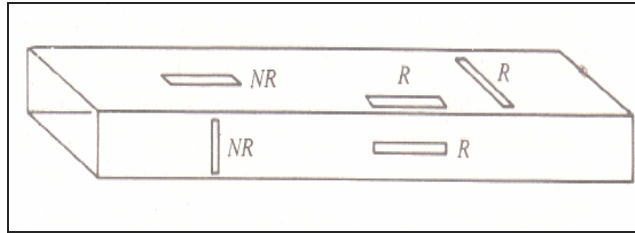
Gambar 3.13. Perambatan arus pada dinding penghantar

Perambatan kecepatan phase v_p searah dengan perambatan gelombang, ditunjukkan gambar 3.14.



Gambar 3.14. Analogi kecepatan gelombang fase

Perambatan Arus pada gambar 3.15. tampak dalam dinding penghantar perambatan ada radiasi dan ada yang tidak teradiasi.



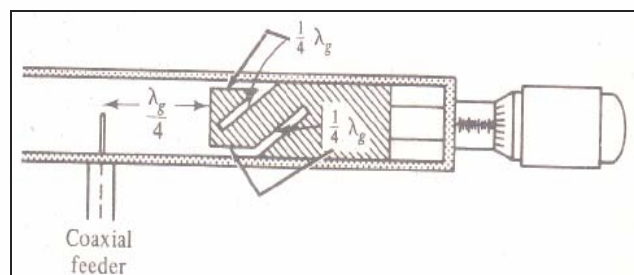
Gambar 3.15. Pembatas radiasi dan tidak radiasi

3.2.7. Pengaturan Panjang Gelombang dengan Micrometer

Mode perambatan gelombang dapat diatur dengan mengubah-ubah micrometer sehingga panjang gelombang yang terbentuk akan sesuai keinginan yang dapat diukur, misal $\frac{1}{4} \lambda_g$ yang artinya $\frac{1}{4}$ panjang gelombang penghantar.

3.2.8. Pengaturan Nilai Reaktif

Pengaturan nilai reaktif dengan memutar skrup sehingga akan diperoleh nilai reaktif kapasitif maupun induktif. Reaktif kapasitif akan menambah kerapatan flux elektrik dari Penjumlahan seri anatra capacitor dan inductor dibentuk dari pemutaran skrup. Pemutaran skrup akan perambatan gelombang. Pada lintasan akan memberikan arus induksi yang menghasilkan inductor. membuat keserasian antara peralatan penghantar gelombang dan beban. Seperti gambar 3.16.



Gambar 3.16. Pembentukan seri $\frac{1}{4} \lambda$

BAB IV
PENGUKURAN DATA DAN ANALISA

Alat dirakit untuk memperoleh data. Diacu pada lampiran 1. Power diberikan pada alat yang nilai diukur tegangannya. SWR(standing wave ratio) meter dihidupkan dan diatur nilai sampai menunjukkan nilai 1. Frekuensi meter juga diatur agar nilai SWR meter tetap menunjukkan 1, setelah itu Frekuensi meter diukur berapa nilainya. Percobaan dilakukan lagi material dimasukkan pada alat pengukur(solid cell dielectric). Pengukurannya sama seperti awal sebelum material dimasukkan. Data yang diperoleh dari ke tiga material tersebut dianalisa . Analisa yang dilakukan membuat persamaan hubungan antara dielektrik dengan konstanta gelombang yang merambat pada pemandu gelombang. Diacu pada gambar 3.5. 3.6. dan 3.7. Hasil pengukuran data dituliskan pada table 4.1.

4.1. Pengukuran Data Diambil dari Pembacaan Alat

Percobaan dilakukan untuk memperoleh data. Data yang dibaca Tegangan(volt), Arus(ampere), SWR, frekuensi(Hz), jarak yang diperoleh slotsection (Cm) atau dalam inchi. Data yang diperoleh dari pengukuran ditulis dalam table 4.1.

Tabel4.1. Hasil Pengukuran Data Material I

No. Sample	Tegangan (volt)	Arus (A)	SWR	Frekuensi (GHz)	Pembacaan Slotsection $D_R - D$ (Cm)	Pembacaan Slotsection $D_R - D$ (in)
1	5,02	0,16	1.02	9,622	3,091	1,217
					3,089	1,216
					3,094	1,218
					3,096	1,219
					3,094	1,218

					3,091	1,217
					3,094	1,218
					3,096	1,219
					3,094	1,218
					3,094	1,218

4.1.1. Perhitungan Dielektrik dari Parameter yang diperoleh

Frekuensi diukur tanpa bahan dielektrik. Panjang gelombang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda f = c \text{ (rumus 3.2)}$$

Beberapa parameter diketahui dan juga dari hasil pengukuran dan yang lain dihitung sebagai berikut :

$$\lambda_c = 2a \text{ (rumus 3.4)}$$

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda_c^2} - \frac{1}{\lambda_0^2} \text{ (rumus 3.9)}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ (rumus 2.53)}$$

$$\frac{\text{tg} \beta (1 \pm DR - D)}{\beta \cdot 1 \pm \epsilon} = \frac{\text{Tg} X}{X} \text{ (rumus 3.14)}$$

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{a}{\lambda_c}\right)^2 \left(\frac{X}{\beta}\right)^2 + 1}{\left(\frac{2a}{\lambda_0}\right)^2 + 1} \text{ (rumus 3.15)}$$

Hasil perhitungan data-data dibuat pada lampiran dan hasil dituliskan dalam table 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Dielektrik Material I

No.	a(inchi)	b(inchi)	λ_0 (inchi)	λ_g (inchi)	β (radian)	X(radian)	ϵ_R
1	0,900	0,4	1,2275	1,6781	3,74233	2,7331	2,4401
						2,7311	2,4401
						2,7401	2,4551
						2,7451	2,4561

						2,7402	2,4552
						2,7332	2,4402
						2,7333	2,4413
						2,7403	2,4553
						2,7452	2,4562
						2,7404	2,4554

Keterangan:

λ_0 : panjang gelombang dalam pemandu penghantar tanpa material(m)

a : Lebar penghantar pemandu(inchi)

b : tinggi penghantar pemandu(inchi)

λ_g : panjang gelombang dalam pemandu penghantar ada dielektrik(m)

β : konstanta propagasi (radian)

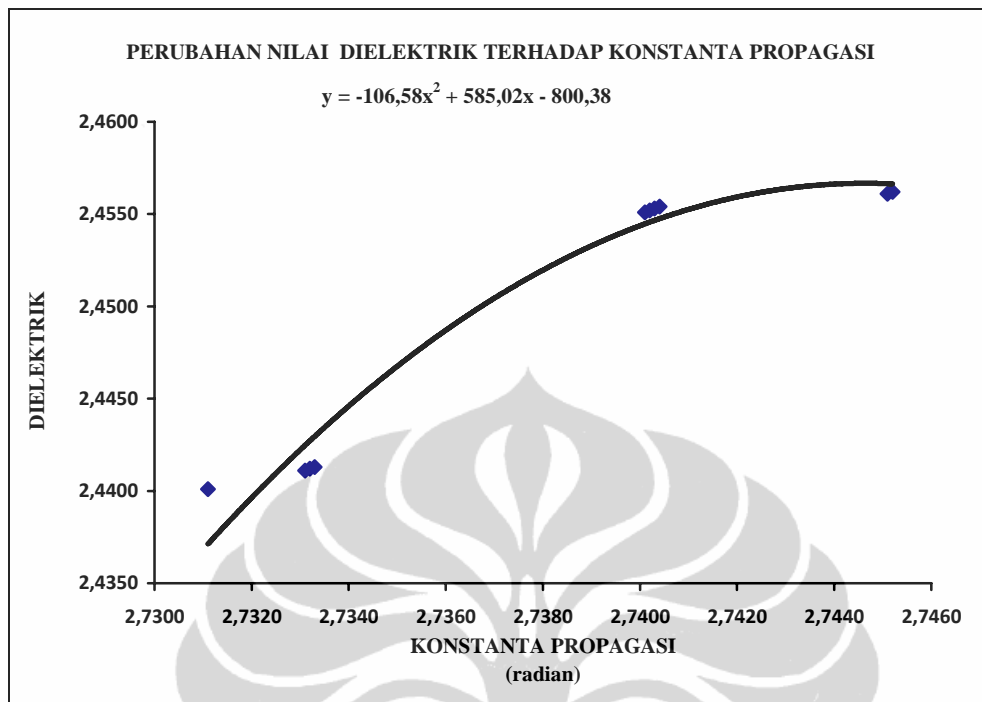
X : Konstanta propagasi hasil perhitungan (radian)

ϵ_R : dielektrik (Farad/meter)

Data dari table 4.2. Konstanta propagasi (X) dan dielektrik dibuat gambar grafik.

Gambar grafik dibuat garis yang polynomial antara ke dua parameter tersebut. Garis

yang diperoleh dibuat persamaan. Gambar dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap Konstanta propagasi (material I)

Persamaan kuadrat dari gambar grafik 4.1. dihitung dengan persamaan polynomial perhitungannya dalam lampiran dan hasilnya adalah :

$$Y = -106,58 X^2 + 585,02 X - 800,38$$

Dimana:

Y = Fungsi dielektrik

X = Konstanta Propagasi (rad)

Dari persamaan garis yang diperoleh untuk membantu menentukan nilai konstanta propagasi yang terukur diantara titik-titik sample yang belum diketahui nilainya. Fungsi garis merupakan fungsi polynomial ini mengacu pada persamaan dielektrik $\epsilon_R = k X^2$, k = Konstanta dan X konstanta propagasi.

Data berikut yang diambil dari material ke 2. Hasil pengukuran dituliskan pada table 4.3. Pengukuran yang dilakukan tegangan(volt), arus(ampere), SWR, Frekuensi(Hz), jarak yang diukur slotsection(cm).

Tabel4.3. Hasil Pengukuran Data Material II

No. Sample	Tegangan (volt)	Arus (A)	SWR	Frekuensi (GHz)	D _R - D (Cm)	D _R - D (in)
2	5,09	0,17	1,01	9,521	3,175	1,25
					3,226	1,27
					3,251	1,26
					3,2	1,26
					3,226	1,27
					3,175	1,25
					3,251	1,26
					3,2	1,26
					3,15	1,24
3,175	1,25					

Keterangan:

D_R-D : selisih posisi tegangan maximum dan minimum (cm)

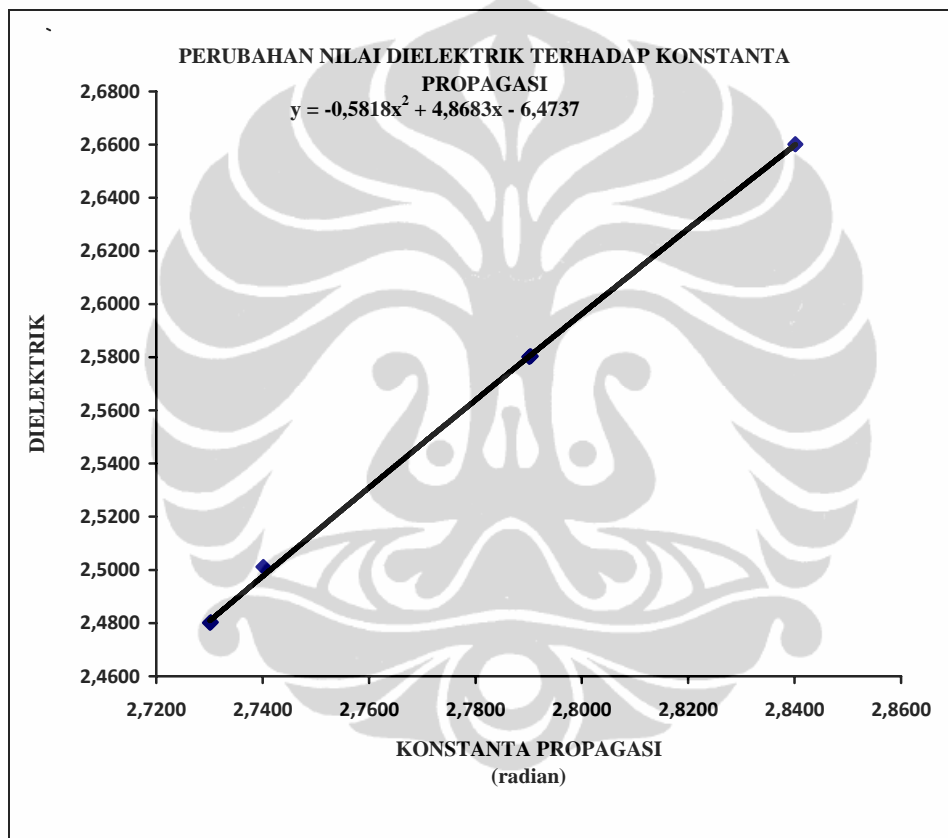
Perhitungan data-data dibuat pada lampiran dan hasil dituliskan dalam table 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Dielektrik Material II

No. Sample (Material)	a (inchi)	b= $l\epsilon$ (inchi)	λ_0 (inchi)	λ_g (inchi)	β (radian)	X (radian)	ϵ_R
2	0,9	0,4	1,24052	1,71198	3,6701	2,730	2,480
						2,840	2,660
						2,790	2,580
						2,790	2,580
						2,840	2,660
						2,730	2,480
						2,790	2,580

						2,790	2,580
						2,740	2,510
						2.730	2,480

Data dari table 4.3. Konstanta propagasi (X) dan dielektrik dibuat gambar grafik. Gambar grafik dibuat garis yang polynomial antara ke dua parameter tersebut. Garis yang diperoleh dibuat persamaan. Gambar dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap Konstanta propagasi (material II)

Persamaan kuadrat dari gambar grafik 4.2. dihitung dengan persamaan polynomial perhitungannya dalam lampiran dan hasilnya adalah :

$$Y = -0,5818 X^2 + 4,8683 X - 6,4737$$

Dimana:

Y = Fungsi dielektrik (F/m)

X = Konstanta Propagasi (rad)

Data berikut yang diambil dari material ke 3. Hasil pengukuran dituliskan pada table 4.5. Pengukuran yang dilakukan tegangan(volt), arus(ampere), SWR, Frekuensi(Hz), jarak yang diukur slotsection(cm).

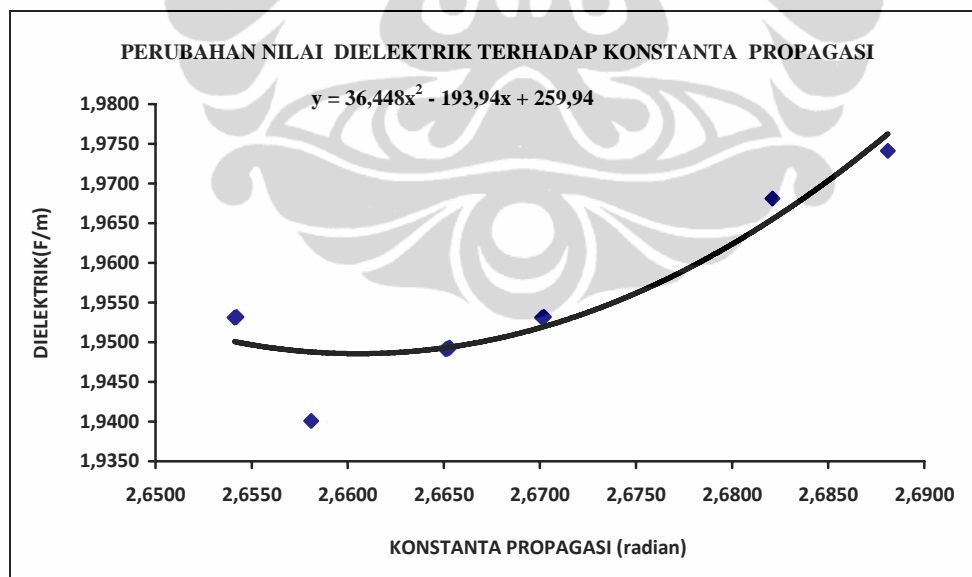
Tabel4.5. Hasil Pengukuran Data Material III

No. Sample	Tegangan (volt)	Arus (A)	SWR	Frekuensi (GHz)	D _R - D (Cm)	D _R - D (in)
3	5,00	0,17	1,01	10,565	2,413	0,95
					2,418	0,952
					2,431	0,957
					2,423	0,954
					2,426	0,955
					2,421	0,953
					2,416	0,951
					2,418	0,952
					2,418	0,952
					2,416	0,951

Perhitungan data-data dibuat pada lampiran dan hasil dituliskan dalam table 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Dielektrik Material III

No. Sample (Material)	a (inchi)	b=lε (inchi)	λ_0 (inchi)	λ_g (inchi)	β (radian)	X (radian)	ϵ_R (F/m)
3	0,9	0,4	1,11794	1,4266	4,4043	2,658	1,940
						2,665	1,949
						2,688	1,974
						2,670	1,953
						2,682	1,968
						2,670	1,953
						2,654	1,935
						2,665	1,949
						2,665	1,949
2,654	1,953						



Gambar 4.3. . Grafik perubahan nilai dielektrik terhadap Konstanta propagasi (material III)

Persamaan kuadrat dari gambar grafik 4.3. dihitung dengan persamaan polynomial perhitungannya dalam lampiran dan hasilnya adalah :

$$Y = 36,448 X^2 - 193,94 X + 259,94$$

Dimana:

Y = Fungsi dielektrik (F/m)

X = Konstanta Propagasi (rad)

4.2. Menghitung Deviasi Dielektrik Hasil Pengukuran

Hasil perhitungan dielektrik dihitung nilai rata-rata, setelah itu dicari penyimpangan dari nilai rata. Perhitungan standart deviasi juga dilakukan untuk mengetahui kesalahan pengukuran yang dilakukan. Data-data ada pada lampiran , sebagai berikut:

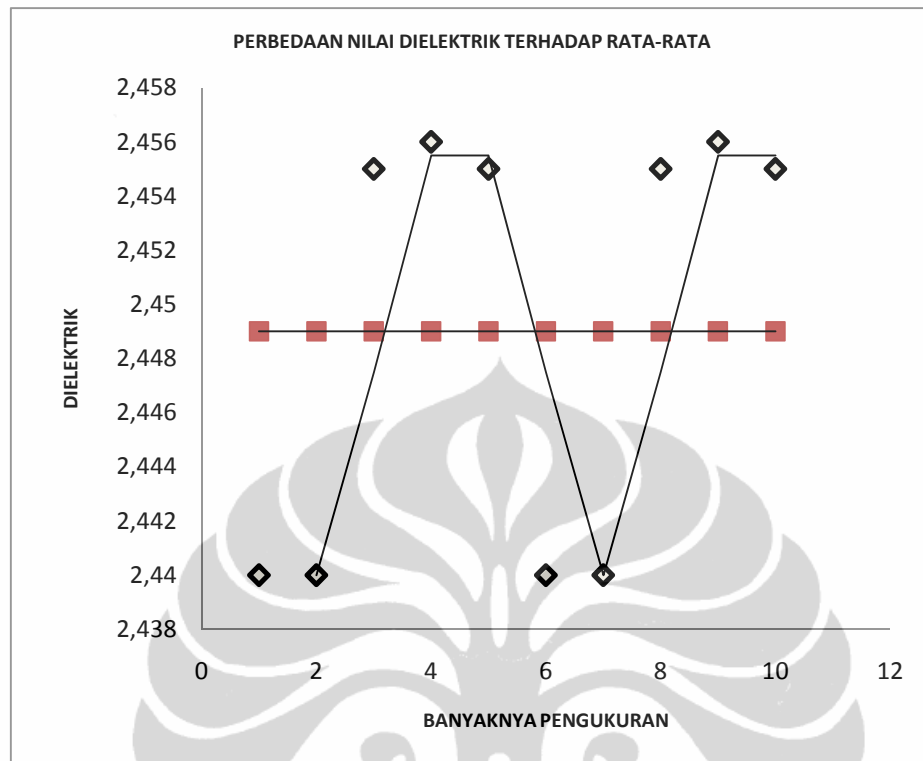
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \text{ (persamaan 2.56)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \text{ (persamaan 2.59)}$$

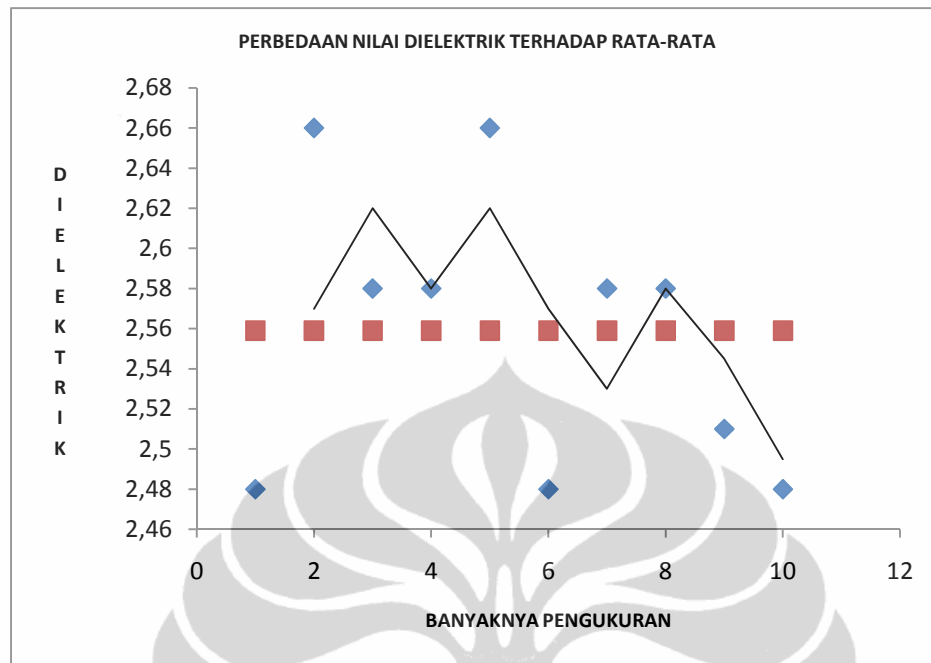
Data dihitung dengan persamaan rata-rata dan standart deviasi hasilnya dilampiran 4.

4.3. Penyimpangan Nilai Dielektrik terhadap rata-rata

Hasil perhitungan dielektrik dibuat rata-rata, setelah itu untuk mengetahui simpangan dielektrik nilai sebenarnya dibandingkan dengan rata-rata. Pembacaan yang lebih mudah dibuat diagram seperti dalam gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

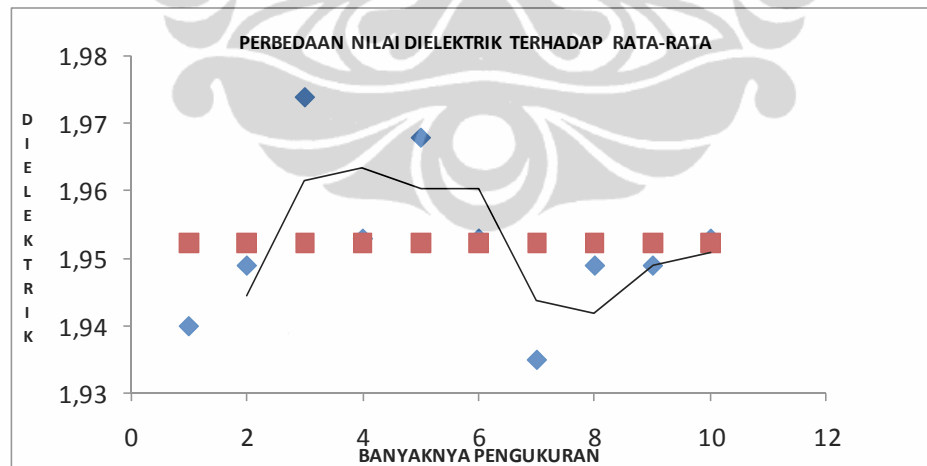


Gambar 4.4 Perbandingan Nilai pengukuran dengan rata-rata material I
 Gambar 4.4. Simpangan umumnya diatas rata-rata. Jika dilihat nilai rata-rata dielektrik material I antara 2,44 sampai 2,458 maka material I nilai dielektrik 2,449.



Gambar 4.5. Perbandingan Nilai pengukuran dengan rata-rata material II

Gambar 4.5 nilai dominan 2,58 dan rata-rata 2,559 simpangan 0,021 maka yang paling baik nilai dielektrik 2,58 untuk material II.



Gambar 4.6. Perbandingan Nilai pengukuran dengan rata-rata material III

Gambar 4.6. nilai dominan 1,953 dan rata-rata 1,9523 simpangan 0,0007 maka yang paling baik nilai dielektrik 1,953 untuk material III.

4.4. Nilai Dielektrik Referensi dan Pengukuran

Material mempunyai nilai dielektrik yang berbeda-beda sesuai dengan bahan masing-masing. Nilai dielektrik diperoleh dari referensi ditabelkan pada table 4.4.

Tabel 4.7. Daftar Nilai Dielektrik

No.	Bahan	Dielektrik	No.	Bahan	Dielektrik
1.	Udara	1,00054	7.	Karet	7
2.	Polietilena	2,25	8.	Silikon	11,68
3.	Kertas	3,5	9.	Metanol	30
4.	PTFE(Teflon)	2	10.	Beton	4,5
5.	Polistirena	2,4 – 2,7	11.	Air	80,1
6.	Kaca Pyrex	4,7	12.	Barium Titanat	1200

Sumber www.tkjone.blok.com/tag/listrik_dan_elektronika_tgl.18/4/2010

Hasil pengukuran dengan menggunakan alat Microwave Test Bench dari ke tiga material tersebut adalah:

Material I nilai dielektrik 1,953

Material II nilai dielektrik 2,58

Material III nilai dielektrik 2,455

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pembahasan mengenai pengukuran bahan dielektrik dari ke tiga material dapat disimpulkan dan saran. Sebaran data yang dibuat dalam grafik dapat dibuat persamaan. Persamaan dari ke tiga nilai dielektrik dapat disimpulkan pada 5.1 dan saran 5.2 .

5.1. KESIMPULAN

Hasil perhitungan dari percobaan yang dilakukan oleh alat dan dikonversikan terhadap Tabel 4.4 tentang nilai dielektrik maka:

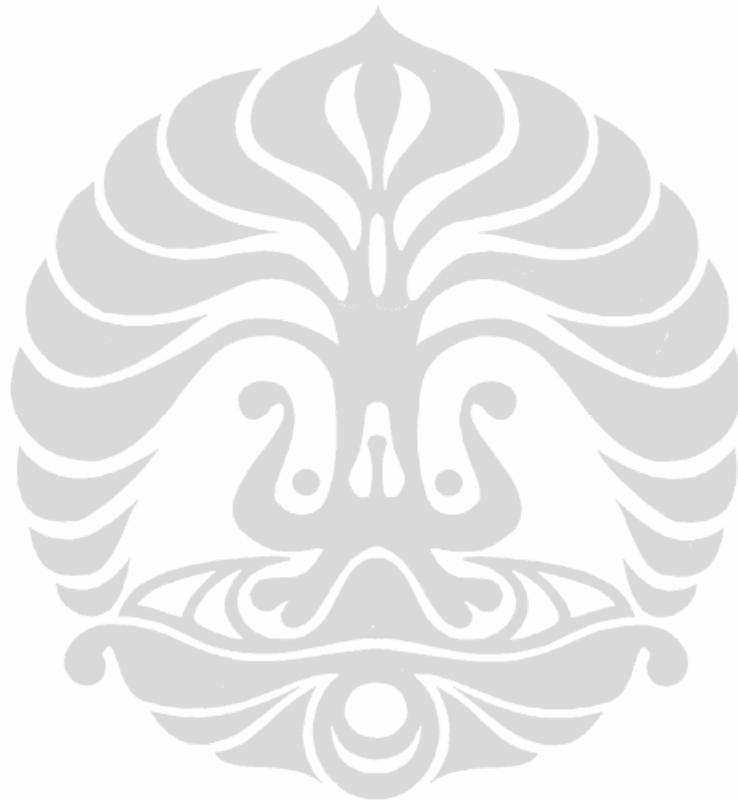
1. Persamaan dari sebaran data yang diperoleh dari penelitian sebagai berikut:
Material I $Y = - 106,58 X^2 + 585,02 X - 800,38$
Material II $Y = - 0,5818 X^2 + 4,8683 X - 6,4737$
Material III $Y = 36,448 X^2 - 193,94 X + 259,94$
2. Nilai dielektrik dapat diperoleh dengan memasukkan nilai konstanta propagasi (X).
3. Pengukuran rata-rata penelitian
Material I nilai 2,455 nilai ini termasuk bahan Polistirena.
Material II nilai 2,58 nilai ini termasuk bahan Polistirena.
Material III nilai 1,953 nilai ini lebih dekat teflon (PTFE).
4. Nilai frekuensi yang terukur merupakan daerah gelombang mikro.
5. Nilai konstanta fase perambatan gelombang juga pengaruhi pengukuran nilai dielektrik.

5.2.SARAN

Saran dalam percobaan pengukuran dielektrik dapat dibuat beberapa saran penggunaan alat Microwave Test Bench;

1. Alat sangat peka diperlukan ketelitian dalam pengamatan.

1. Pengukuran dilakukan pada tempat yang terbebas gelombang elektromagnetik yang ada disekitarnya.
2. Pemakaian alat yang baik jika grounding baik.
3. Alat bekerja sangat sensitif maka dalam penggunaan alat harus memahami prosedur yang diberikan.



DAFTAR REFERENSI

Cooper.WD.1985, Instrumen Elektronik dan Teknik Pengukuran, Erlangga, Jakarta.

Dennis Roddy.1981, Electronic Communications, Prentice Hall of India Private Limited New Delhi

Glazier PHD,1975, Transmission and Propagation, Standard Publishers Distributors Delhi.

Jones, P.R. Rowley, A.T. 1996, Dielectric Drying. Drying Technology

Malvino, AP. 1996, Prinsip-prinsip elektronika, Penerbit Erlangga, Edisi ke-3, jilid 2, Jakarta

Microwave Test Bench,2009, User Manual, India

Ryynanen, S, 1995, The Elektromagnetic properties of Food of Materials: A Review The Basic Principles. J. Food Engineering

William H. Hayt, JR. 1987, Elektromagnetika Teknologi, Erlangga, Jakarta.

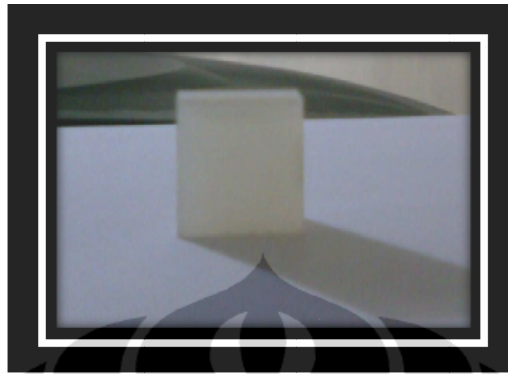
www.tk.jone.blok.com/tag/listrik dan elektronika tgl 18-4-2010

Lampiran 1: Perakitan Alat

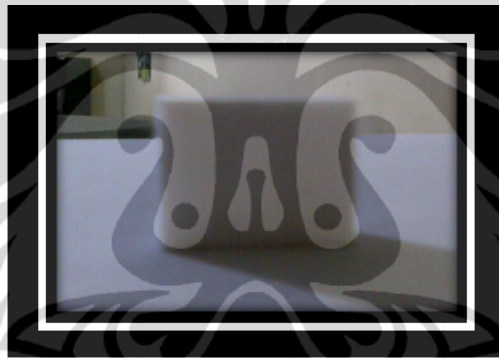


Gambar Perakitan Alat

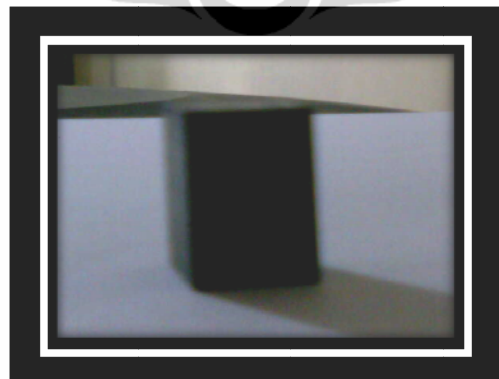
Lampiran 2: Foto Material



Gambar Foto Material Dielektrik I



Gambar Foto Material Dielektrik II



Gambar Foto Material Dielektrik III

Lampiran 3: Tabel Perhitungan Dielektrik

TABEL HASIL PERHITUNGAN DIELEKTRIK MATERIAL I

KONTANTA PROPAGASI	DIELEKTRIK
2,7311	2,4401
2,7331	2,4411
2,7332	2,4412
2,7333	2,4413
2,7401	2,4551
2,7402	2,4552
2,7403	2,4553
2,7404	2,4554
2,7451	2,4561
2,7452	2,4562

TABEL HASIL PERHITUNGAN DIELEKTRIK MATERIAL II

PARAMETER PROPAGASI	DIELEKTRIK
2,7301	2,4801
2,7302	2,4802
2,7303	2,4803
2,7401	2,5011
2,7901	2,5801
2,7902	2,5802
2,7903	2,5803
2,7904	2,5804
2,8401	2,6601
2,8402	2,6602

TABEL HASIL PERHITUNGAN DIELEKTRIK MATERIAL III

PARAMETER PROPAGASI	DIELEKTRIK
2,6541	1,9531
2,6542	1,9532
2,6581	1,9401
2,6651	1,9491
2,6652	1,9492
2,6653	1,9493
2,6701	1,9531
2,6702	1,9532
2,6821	1,9681
2,6881	1,9741

Lampiran 4: Tabel Deviasi Pengukuran

Tabel 4.3. Deviasi Pengukuran Dielektrik pada Material I

No.	$X = \epsilon_r$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
1.	2,440	0,009	0,000081
2.	2,440	0,009	0,000081
3.	2,455	0,006	0,000036
4.	2,456	0,007	0,000049
5.	2,455	0,006	0,000036
6.	2,440	0,009	0,000081
7.	2,440	0,009	0,000081
8.	2,455	0,006	0,000036
9.	2,456	0,007	0,000049
10.	2,455	0,006	0,000036
	$\sum x = 24,492$	$\sum x - \bar{x} = 0,074$	$\sum x - \bar{x} ^2 = 5,66 \cdot 10^{-4}$

Tabel 4.4. Deviasi Pengukuran Dielektrik pada material II

No.	$X = \epsilon_r$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
1.	2,480	0,079	0,006241
2.	2,66	0,101	0,010
3.	2,58	0,021	0,000441
4.	2,58	0,021	0,000441
5.	2,66	0,101	0,010
6.	2,48	0,079	0,006241
7.	2,58	0,021	0,000441
8.	2,58	0,021	0,000441
9.	2,51	0,049	0,002401
10.	2,48	0,079	0,006241
	$\sum x = 25,59$	$\sum x - \bar{x} = 0,572$	$\sum x - \bar{x} ^2 = 0,0429$

Tabel 4.4. Deviasi Pengukuran Dielektrik pada material III

No.	$X = \epsilon_r$	$ x - \bar{x} $	$ x - \bar{x} ^2$
1.	1,94	0,0123	0,00015129
2.	1,949	0,0033	0,00001089
3.	1,974	0,0217	0,00047089
4.	1,953	0,0007	0,00000049
5.	1,968	0,0157	0,00024649
6.	1,953	0,0007	0,00000049
7.	1,935	0,0173	0,00029929
8.	1,949	0,0033	0,00001089
9.	1,949	0,0033	0,00001089
10.	1,953	0,0007	0,00000049
	$\sum x = 19,523$	$\sum x - \bar{x} = 0,079$	$\sum x - \bar{x} ^2 = 0,001202$

Lampiran 5: Contoh Perhitungan

$$C = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad \text{dan} \quad f = 9,622 \cdot 10^9 \frac{1}{s}$$

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{9,622 \cdot 10^9} = 3,11785 \text{ Cm} = 1,2275 \text{ in}$$

$$a = 0,900 \text{ in dan } l\epsilon = 0,4 \text{ in dan } \lambda_c = 2a$$

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}$$

$$\frac{1}{\lambda_g^2} = \left\{ \frac{1}{1,2275} \right\}^2 - \left\{ \frac{1}{1,8} \right\}^2 = 0,3551$$

$$\lambda_g = 1,6781 \text{ in}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2,3,14}{1,6781} = 3,7423$$

$$\frac{tg\beta(l\epsilon + DR - D)}{3,7423 \cdot 0,4} = \frac{tg 3,7423(0,4 + 1,217)}{3,7423 \cdot 0,4} = -0,15743$$

$$\frac{\beta \cdot l\epsilon}{X} = -0,15743, \text{ maka } X = -2,73298$$

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{a}{\pi^2}\right)\left(\frac{x}{l\epsilon}\right)^2 + 1}{\left(\frac{2a}{\lambda_g}\right)^2 + 1}$$

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{0,9}{\pi^2}\right)\left(\frac{2,73298}{0,4}\right)^2 + 1}{\left(\frac{1,8}{1,6781}\right)^2 + 1} = 2,444$$