

SKRIPSI

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK PEMANTAU GLUKOSA
DARAH *NON-INVASIVE***



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

Disusun Oleh:

MUTIAH RAYHANA

D411 16 518

DEPARTEMEN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

SKRIPSI
DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK PEMANTAU GLUKOSA
DARAH *NON-INVASIVE*



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

Disusun Oleh:

MUTIAH RAYHANA

D411 16 518

DEPARTEMEN ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Desain Antena Mikrostrip untuk Pemantau Glukosa Darah *Non-Invasive*

Disusun Oleh:

Mutiah Rayhana

D411 16 518

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Program Studi Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 22 November 2020

Disahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



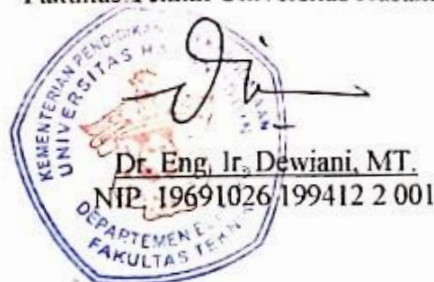
Mema Baharuddin, ST., M.Tel.Eng., Ph.D.
19751205 200501 2 002



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
19691026 199412 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutiah Rayhana

NIM : D411 16 518

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK PEMANTAU GLUKOSA DARAH NON-INVASIVE

Ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan plagiarisme atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam tradisi keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menerima tindakan/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian ditemukan pelanggaran atas etika akademik dalam karya saya ini, atau ada klaim terhadap keaslian karya saya ini.

Makassar, 20 November 2020

Yang membuat pernyataan,



MUTIAH RAYHANA
NIM. D411 16 518

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Desain Antena Mikrostrip untuk Pemantau Glukosa Darah *Non-Invasive*” untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

Walaupun demikian, dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat dibutuhkan dari semua pihak yang mana dapat membuat skripsi ini lebih baik di waktu yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai dapat terlaksana karena adanya bantuan, motivasi, serta bimbingan dari berbagai pihak. Maka, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewa kepada kedua orang tua penulis, Ayahanda Muhammad Husni dan Ibunda Mardian Syawalina, yang menjadi sumber semangat dan motivasi yang dengan luar biasanya selalu mendukung baik dalam dukungan moral maupun materi dan tanpa henti selalu mendoakan keberhasilan penulis.
2. Bunda Musni Darti dan Ayah Usman Pakasi yang selalu memberi semangat dan motivasi yang luar biasa serta tanpa henti selalu mendoakan keberhasilan penulis.

3. Ibu Merna Baharuddin S.T., M.Tel.Eng., Ph.D. selaku pembimbing 1 dan Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Pembimbing 2 yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian serta memberikan bimbingan, saran, dukungan, dan motivasinya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Syafruddin Syarif, M.T selaku Penguji 1, dan Bapak Dr. Eng. Elyas Palentei, S.T., M.Eng. selaku Penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T. selaku dekan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
7. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Elektro atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih empat tahun.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Elektro.
9. Muhammad Hanan Abiyyi, Dzakia Rayhana, dan Kholisatul Mutmainnah selaku saudara penulis yang selalu memberi dukungan moral tanpa henti.
10. Muhamamd Fajri Sachruddin, selaku teman seperjuangan penulis dalam penelitian ini yang telah banyak mencurahkan waktu dan tenaganya untuk penulis selama proses menyelesaikan skripsi ini.
11. Dan kepada keluarga besar saya, rekan, partner penelitian, sahabat, dan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terima kasih atas tiap bantuan dan doa yang diberikan.

Makassar, 18 November 2020

Penulis,

Mutiah Rayhana

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penulisan	4
I.4 Manfaat Penulisan	5
I.5 Batasan Masalah.....	6
I.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II	8
II.1 Gelombang Elektromagnetik	8
II.1.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	10
II.2 Antena	11
II.2.1 Pola Radiasi	12
II.2.2 <i>Bandwidth</i>	15
II.2.3 <i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	16
II.3 Antena Mikrostrip.....	17
II.3.1 Elemen Peradiasi (<i>Patch</i>).....	17
II.3.2 Elemen Substrat (<i>Substrate</i>)	19
II.3.3 Elemen Saluran Pencatu (<i>Feed Line</i>).....	20
II.3.4 Elemen Pentanahan (<i>Ground Plane</i>)	21
II.4 Kadar Glukosa Darah.....	21

II.5 Pengaruh Jaringan Tubuh	23
II.5.1 Interaksi <i>Microwave</i> dan Tubuh	23
II.5.2 Permittivitas dan Parameter S	25
II.5.3 Dielektrik Properti Jaringan Tubuh	27
II.5.4 Hubungan Glukosa Terhadap Properti Dielektrik	29
BAB III	35
III.1 Perangkat yang Digunakan	35
III.2 Diagram Alir Penelitian.....	36
III.3 Penjelasan Diagram Alir.....	37
III.4 Desain Antena.....	38
III.4.1 Penentuan Desain Awal Antena	38
III.4.2 Modifikasi <i>Patch</i>	40
III.4.3 Desain Akhir Antena	43
III.5 Simulasi Antena dan Model Jaringan Tubuh	46
III.6 Pengambilan Data.....	48
BAB IV	51
IV.1 Hasil Pengukuran Sensor Antena Mikrostrip.....	51
IV.1.1 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i>	51
IV.1.2 Nilai <i>Error</i>	54
IV.2 Hasil Simulasi Antena dan Model Jaringan Tubuh.....	55
IV.3 Hasil Uji Sensor Antena Mikrostrip.....	57
IV.3.1 Hasil Uji Material <i>Substrate</i> FR4.....	58
IV.3.2 Hasil Uji Material <i>Substrate</i> NPC H220	65
BAB V	74
V.1 Kesimpulan.....	74
V.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Gelombang Elektromagnetik pada Tiga Waktu Berbeda.....	9
Gambar II.2	Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	10
Gambar II.3	Spektrum Gelombang Radio	11
Gambar II.4	Antena Sebagai Divais Transisi	12
Gambar II.5	(a) Pola Radiasi Antena pada Sistem Koordinat (b) Pola Radiasi Data pada Koordinat Polar (c) Pola Radiasi pada Koordinat <i>Rectangular</i>	14
Gambar II.6	Antena Mikrostrip	17
Gambar II.7	Bentuk-bentuk <i>Patch</i> Antena Mikrostrip	18
Gambar II.8	Geometri Antena Mikrostrip Persegi	18
Gambar II.9	Antena Mikrostrip dengan Pencatu <i>Microstrip Line</i>	21
Gambar II.10	Blok Diagram 2-Port VNA	27
Gambar II.11	Wilayah Dispersi dalam Jaringan Tubuh Manusia	28
Gambar II.12	(a) Permittivitas Relatif dan (b) Konduktivitas dari Model Jaringan Tubuh.....	29
Gambar II.13	Permittivitas Relatif dan Eritrosit.....	30
Gambar II.14	Konstanta Dielektrik Berdasarkan Konsentrasi Glukosa (a) <i>real</i> (ϵ_r') dan (b) <i>imaginary</i> (ϵ_r'')	30
Gambar II.15	Perubahan (a) Permittivitas dan (b) Konduktivitas Terhadap Perubahan Frekuensi Pada Model Tiruan	31
Gambar II.16	Permittivitas Relatif Plasma Darah Terhadap Konsentrasi Kadar Glukosa	32
Gambar II.17	Pemodelan Pengukuran Glukosa.....	33
Gambar II.18	(a) Permittivitas Relatif yang Digunakan pada Simulasi (b) <i>Return Loss</i> Hasil Simulasi Antena.....	33
Gambar II.19	Pergeseran Frekuensi Resonansi Terhadap Permittivitas Darah	34
Gambar III.1	Desain Awal <i>Patch</i> Antena (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	40
Gambar III.2	Nilai <i>Return Loss</i> Antena Sebelum Modifikasi	40
Gambar III.3	<i>Patch</i> Antena Setelah Modifikasi.....	41
Gambar III.4	Nilai <i>Return Loss</i> Antena Setelah Modifikasi.....	41
Gambar III.5	<i>Patch</i> Antena Setelah Modifikasi <i>Patch</i>	42

Gambar III.6	Nilai <i>Return Loss</i> Antena Setelah Modifikasi <i>Patch</i>	42
Gambar III.7	Desain Antena Mikrostrip (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	43
Gambar III.8	Ukuran Desain Antena Mikrostrip (a) Awal (b) Akhir.....	44
Gambar III.9	Hasil Akhir Simulasi Antena	44
Gambar III.10	Animasi <i>E-Field</i> dari Antena	46
Gambar III.11	Animasi <i>H-Field</i> dari Antena.....	46
Gambar III.12	Pola Radiasi Antena dalam Bentuk 3D.....	46
Gambar III.13	Simulasi Antena dan Model Jaringan Tubuh (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping Tanpa Jarak (c) Tampak Samping dengan Jarak 3mm	48
Gambar III.14	Pengambilan Data <i>Non-Invasive</i>	49
Gambar III.15	Metode Pengambilan Data <i>Non-Invasive</i>	50
Gambar IV.1	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	51
Gambar IV.2	Perbandingan <i>Return Loss</i> Pengukuran dan Simulasi.....	52
Gambar IV.3	Grafik VSWR dari Antena yang Telah Diukur.....	54
Gambar IV.4	Hasil Simulasi Antena Mikrostrip dan Model Jaringan Tubuh Tanpa Jarak	56
Gambar IV.5	Hasil Simulasi Antena Mikrostrip dan Model Jaringan Tubuh dengan Jarak 3mm.....	57
Gambar IV.6	Grafik Hasil Uji Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4	58
Gambar IV.7	Grafik Hasil Uji Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4	59
Gambar IV.8	Pergeseran f_0 pada Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4	61
Gambar IV.9	Pergeseran f_0 pada Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	61
Gambar IV.10	Linieritas Sensor Antena Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	62
Gambar IV.11	Linieritas Sensor Antena Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	63
Gambar IV.12	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	66

Gambar IV.13	_Grafik Hasil Uji Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	66
Gambar IV.14	Grafik Hasil Uji Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	67
Gambar IV.15	_Pergeseran f_0 pada Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	69
Gambar IV.16	_Pergeseran f_0 pada Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220.....	69
Gambar IV.17	Linieritas Sensor Antena Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220.....	70
Gambar IV.18	Linieritas Sensor Antena Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Konstanta Bahan Dielektrik	20
Tabel II.2	Kadar Glukosa Darah Sewaktu dan Puasa	22
Tabel II.3	Tingkat SAR yang Diterima untuk Paparan di dalam Tubuh Manusia pada Rentang Frekuensi 100 KHz – 6 GHz	25
Tabel III.1	Perbandingan Ukuran Desain Awal dan Akhir Antena Mikrostrip.....	44
Tabel III.2	Nilai Permittivitas, Konduktivitas dan Ketebalan Model Jaringan Tubuh	46
Tabel IV.1	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran	53
Tabel IV.2	Tabel Hasil Uji Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4	59
Tabel IV.3	Tabel Hasil Uji Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4	60
Tabel IV.4	Data Validasi Pengujian Sensor Antena Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	64
Tabel IV.5	Data Validasi Pengujian Sensor Antena dengan Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> FR4.....	64
Tabel IV.6	Tabel Hasil Uji Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	67
Tabel IV.7	Tabel Hasil Uji Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220	68
Tabel IV.8	Data Validasi Pengujian Sensor Antena Keadaan Tangan Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220.....	72
Tabel IV.9	Data Validasi Pengujian Sensor Antena dengan Keadaan Tangan Tidak Menyentuh Sensor Antena Mikrostrip Material <i>Substrate</i> NPC H220.....	72

ABSTRAK

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK PEMANTAU GLUKOSA NON- INVASIVE

Diabetes Mellitus (DM) merupakan salah satu penyakit dengan penderita yang cukup banyak di dunia. Saat ini para penderita DM masih menggunakan teknologi *invasive* untuk memantau kadar glukosa dalam darah dimana diperlukan sampel darah pada pengukurannya. Teknologi yang tidak memerlukan sampel darah dapat meningkatkan kenyamanan dari penderita DM. Skripsi ini mempresentasikan antena mikrostrip sebagai pemantau kadar glukosa dalam darah secara *non-invasive*. Variasi pada kadar glukosa dalam darah menyebabkan variasi pada permitivitas darah. Perubahan permitivitas darah dapat menyebabkan pergeseran frekuensi resonansi dari antena mikrostrip.

Perancangan dan simulasi antena dilakukan menggunakan *software CST Microwave Studio*. Antena dirancang pada substrat FR4($\epsilon_r = 4.3$) dan NPC H220($\epsilon_r = 2.17$) dengan $h = 1.6\text{mm}$. *Patch* ditempatkan bersebrangan dengan *ground plane* dan dihubungkan oleh *SMA connector*. Hasil fabrikasi pada antena yang dirancang memiliki frekuensi kerja 2.17 GHz. Pada skripsi ini dilakukan pengukuran antena mikrostrip untuk melihat korelasi antara perubahan frekuensi resonansi dengan perubahan kadar glukosa dalam darah. Pengukuran dilakukan dengan mendekati antena mikrostrip pada bagian lengan tangan. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi resonansi baik pada keadaan tangan menyentuh sensor ataupun tangan tidak menyentuh sensor mengalami perubahan seiring dengan perubahan kadar glukosa dalam darah. Berdasarkan nilai akurasi, kepekaan, dan linieritas maka dapat disimpulkan bahwa antena mikrostrip dapat dikembangkan untuk dijadikan alat pemantau glukosa darah secara *non-invasive*.

Kata kunci— *mikrostrip, permitivitas, glukosa, return loss, frekuensi resonansi*

ABSTRACT

MICROSTRIP ANTENNA DESIGN FOR NON-INVASIVE BLOOD GLUCOSE MONITORING

Diabetes Mellitus (DM) is one of disease with a lot of patient in the world. Current method used by diabetics was invasive approach using blood samples to monitor their blood glucose level. Non-invasive approach that not required blood samples, would increase ease-of-use for diabetics. This research presents microstrip antenna to monitor glucose level on human blood non-invasively. The background concept of this approach was blood glucose variation causes variations of blood permittivity accordingly. This blood permittivity will affect the resonant frequency of microstrip antenna.

Antenna design and simulation were performed using CST Microwave Studio software. The antenna is designed on FR4($\epsilon_r = 4.3$) dan NPC H220($\epsilon_r = 2.17$) substrate with $h = 1.6$. Patch of microstrip antenna placed on one side and ground plane on another side, they are connected using SMA connector. The fabrication result of designed antenna has working frequency at 2.17 GHz. In this research, correlation between blood glucose and changing resonant frequency of microstrip antenna was observed. For this non-invasive method, microstrip antenna is placed facing the forearm. Experimental result of both approach, antenna placement with and without spacing to forearm, shows shift of resonant frequency according to changes of blood glucose. Based on linearity, accuracy, and sensitivity result of this research, microstrip antenna shows potential as glucose sensing device for non-invasive method with further development.

Keyword— *microstrip, permittivity, glucose, return loss, resonancy frequency*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Diabetes Mellitus merupakan salah satu kelompok penyakit metabolik yang disebabkan oleh gangguan produksi insulin sehingga menyebabkan peningkatan kadar glukosa dalam darah yang ditandai dengan hiperglikemia kronis. Diabetes yang tidak terkontrol dapat menyebabkan pingsan dan koma serta jika tidak diobati dapat menyebabkan kematian[1].

Penyakit *diabetes mellitus* telah meningkat secara dramatis dalam beberapa dekade terakhir, terutama karena perubahan dalam gaya hidup, peningkatan prevalensi obesitas dan umur panjang. Di Indonesia prevalensi penyakit ini meningkat dari tahun ke tahun sehingga Indonesia merupakan negara yang menempati urutan keempat dengan jumlah penderita diabetes terbesar di dunia setelah India, Cina dan Amerika Serikat. Hal ini disebabkan karena sekitar 8,4% penduduk di Indonesia menderita *diabetes mellitus* pada tahun 2000 dan diperkirakan terus meningkat sebanyak 21,3 juta orang penderita *diabetes mellitus* di Indonesia pada tahun 2030[2][3]. Proyeksi global saat ini memperkirakan bahwa jumlah penderita *diabetes mellitus* telah meningkat 50% pada tahun 2010, dan hampir akan berlipat ganda pada tahun 2025 [4][5]. *World Health Organization* (WHO) dan *International Diabetes Federation* (IDF) telah meramalkan bahwa jumlah penderita diabetes akan meningkat

secara signifikan pada tahun 2030 menjadi sekitar 366 juta, meningkat 214% dibandingkan dengan persentase tahun 2006[6].

Untuk mengetahui seseorang mengidap penyakit diabetes adalah dengan menguji kadar gula dalam darah. Sebagian besar perangkat yang digunakan untuk pengujian kadar gula dalam darah pada saat ini masih menggunakan teknik *invasive* yaitu darah diambil dengan menggunakan jarum suntik dan menyebabkan rasa sakit saat proses pengujian berlangsung, karena itu tidak cocok digunakan untuk pemantauan kadar gula dalam darah secara terus menerus. Teknologi pemantauan kadar gula dalam darah *non-invasive* diinginkan karena tidak memerlukan sampel darah untuk diekstraksi dari tubuh manusia[7].

Dalam jurnal penelitian yang dibuat oleh Benjamin Freer dan Jayanti Venkataraman[8], sebuah antena *monopole* ditempatkan di manset dan melilit pergelangan tangan untuk memantau glukosa secara *non-invasive*. Antena disimulasikan di atas lapisan jaringan menggunakan sifat dielektrik dalam tiga kondisi hipoglikemia (3 mM glukosa), normoglikemia (6 mM glukosa), dan hiperglikemia (8 mM glukosa). Pada hasil jurnal penelitian tersebut frekuensi resonansi antena terlihat bergeser dengan perubahan kadar gula dalam darah.

Dalam jurnal penelitian yang dibuat oleh Fauziyah Firdausi M.S., Suhariningsih dan Delima Ayu Saraswati[9], Sensor *microwaves* yang dibuat dalam 3 variasi ketebalan dan mampu bekerja pada frekuensi 500 Mhz – 2000 MHz dengan mengukur perubahan permitivitas di dalam tubuh yang

merepresentasikan nilai kadar gula di dalam darah dimana sensor menerima transmisi gelombang mikro sekaligus menerima kembali hamburan gelombang mikro setelah melewati tubuh. Pada hasil jurnal penelitian tersebut berdasarkan nilai akurasi, kepekaan dan linieritas bahwa alat ukur kadar gula darah secara *non-invasive* menggunakan sensor *microwaves* yang telah dibuat dapat dijadikan sebagai alat alternatif pengukuran kadar gula darah.

Dari rujukan penelitian di atas, penulis dapat mengetahui bahwa variasi sifat dielektrik darah mempengaruhi input impedansi dari antena yang kemudian mempengaruhi frekuensi resonansinya. Sehingga pergeseran frekuensi ini digunakan untuk mengobservasi permitivitas dan konduktivitas darah sebagai estimasi konsentrasi glukosa dalam darah.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan merancang sebuah sensor antena mikrostrip yang mampu mendeteksi perubahan kadar gula darah dengan sistem *non-invasive*. Adapun judul dari tugas akhir ini adalah **DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK PEMANTAUAN GLUKOSA DARAH NON-INVASIVE**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah antena mikrostrip dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi perubahan kadar gula darah secara *non-invasive*?

2. Bagaimana merancang dan merealisasikan sensor antena yang dapat mendeteksi perubahan kadar gula darah?
3. Bagaimana hasil pengukuran parameter antena lewat simulasi menggunakan *software* CST?
4. Bagaimana hasil pengukuran antena yang telah direalisasikan?
5. Bagaimana perbandingan hasil pengukuran antena yang direalisasikan dan hasil simulasi?
6. Bagaimana kemampuan antena sebagai sensor untuk deteksi kadar gula darah?

I.3 Tujuan Penulisan

Penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan sebuah antena yang dapat memantau glukosa darah. Adapun tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh antena mikrostrip yang dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi perubahan kadar gula darah secara *non-invasive*.
2. Merancang dan merealisasikan sensor antena mikrostrip yang dapat mendeteksi perubahan kadar gula darah.
3. Memperoleh nilai parameter simulasi menggunakan *software* CST dan pengukuran yang sesuai dengan spesifikasi antena.
4. Memperoleh hasil pengukuran antena yang telah direalisasikan.
5. Memperoleh dan menganalisis perbandingan hasil pengukuran antena yang direalisasikan dan hasil simulasi.

6. Memperoleh dan menganalisis data kemampuan antena sebagai sensor untuk mendeteksi kadar gula darah.

I.4 Manfaat Penulisan

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat seperti yang diuraikan berikut ini :

1. Bagi penulis, penelitian ini diharapkan menjadi evaluasi untuk mengukur kemampuan dan potensi diri sendiri. Serta dapat menerapkan disiplin ilmu teori dan aplikasi yang telah didapatkan selama masa perkuliahan.
2. Bagi masyarakat dan mahasiswa, penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk menambah wawasan dan menjadi acuan untuk mengembangkan penelitian serupa di masa yang akan datang.
3. Bagi Institusi Pendidikan Departemen Teknik Elektro & pada bidang Teknologi Telekomunikasi dan Informasi, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi ilmiah untuk mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan topik antena.
4. Bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian ini diharapkan menjadi pemicu kreativitas untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

I.5 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Pembuatan desain dan simulasi antena mikrostrip menggunakan *software CST Studio Suite*.
2. Frekuensi kerja antena yang dirancang adalah 2 GHz.
3. Parameter antena yang akan diukur meliputi VSWR, *Return Loss* (S11), dan *Bandwidth*.
4. Proses pengukuran parameter S11 dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* dan ZVH View kemudian data diolah menggunakan *Matrix Laboratory*.
5. Pengukuran antena dilakukan di ruang *chamber* kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
6. Tidak akan membahas mengenai glukosa secara mendalam.

I.6 Sistematika Penulisan

Agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka Tugas Akhir ini akan dibagi ke dalam lima bab. Isi masing-masing dari bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi tentang teori dasar yang menunjang dan berhubungan dalam penulisan laporan ini.

BAB III METODE PERANCANGAN DAN REALISASI, berisi tentang proses perancangan desain antena yang kemudian akan direalisasikan serta metode pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS, berisi hasil dan analisis simulasi dan pengukuran secara langsung di lapangan, meliputi parameter-parameter yang telah dijelaskan di batasan masalah serta hasil dan analisis dari pengambilan data yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP, berisi simpulan dan saran-saran dari penulis yang perlu di tingkatkan dalam penelitian di kemudian hari.

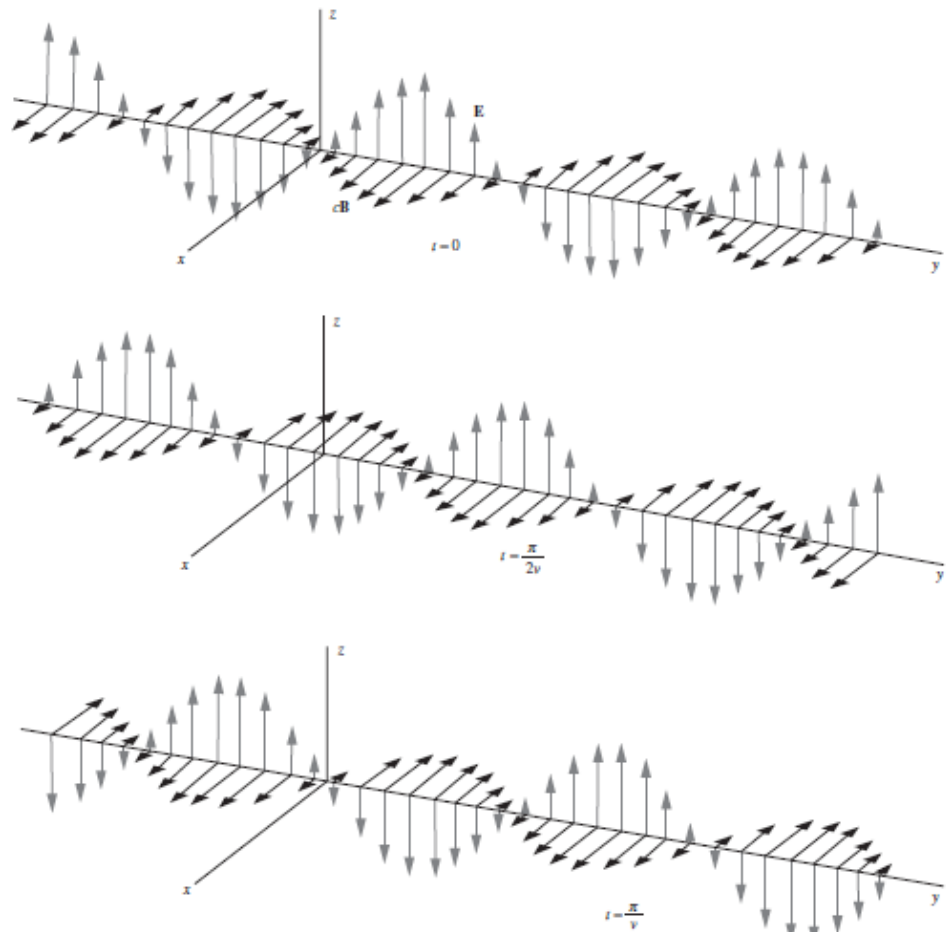
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Gelombang Elektromagnetik

Elektromagnetik terdiri dari dua kata yaitu elektro yang berasal dari Bahasa Yunani *electron* dan magnet yang diturunkan dari magnesita yang merupakan tempat ditemukannya batu alam dengan sifat magnet. Sebelum gelombang elektromagnetik dikenal seperti saat ini, telah banyak peneliti-peneliti terkenal yang mempelajarinya [10].

Gelombang elektromagnetik tidak seperti gelombang lainnya, gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium atau perantara untuk melakukan perambatannya [11]. Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berosilasi secara sinkron. Maxwell menurunkan persamaan berkaitan dengan gelombang elektromagnetik ini. Berdasarkan persamaan Maxwell, perubahan medan listrik selalu berkaitan dengan perubahan medan magnet. Begitu pula perubahan medan magnet berkaitan dengan perubahan medan listrik [12]. Gambar II.1 Menunjukkan gelombang elektromagnetik kaitan medan listrik dan medan magnet [11]. Kedua hubungan medan ini terjadi tanpa mempengaruhi yang lain, bahkan mereka terjadi bersamaan.



Gambar II.1 Gelombang Elektromagnetik pada Tiga Waktu Berbeda.

Terdapat beberapa properti yang terkait gelombang elektromagnetik ini

[11] :

1. Pola dari medan merambat dengan kecepatan c . Jika $v = -c$, maka ini merambat dalam arah berlawanan.
2. Dalam setiap titik pada gelombang dalam suatu waktu, kekuatan medan listriknya sama dengan c dikali dengan kekuatan medan magnet.
3. Medan listrik dan medan magnet tegak lurus antara satu dengan lainnya dan tegak lurus menuju arah rambatnya.

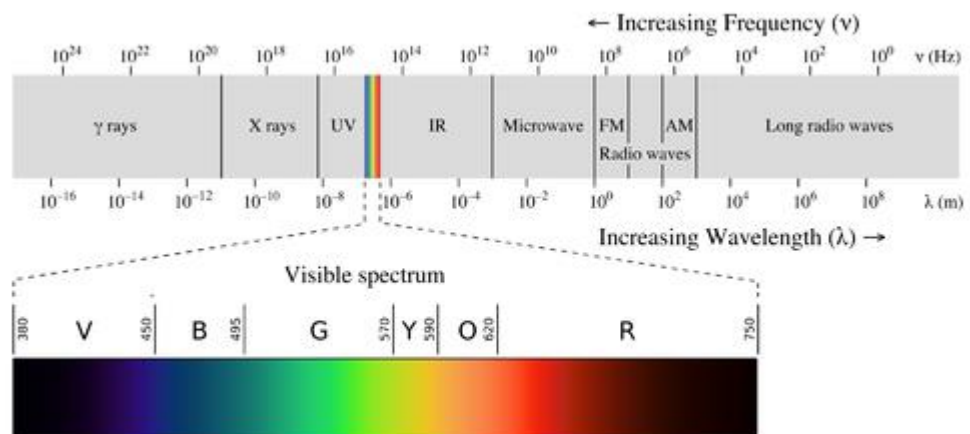
II.1.1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik yang diradiasikan dapat diklasifikasikan ke beberapa kelompok. Hal di didasarkan panjang gelombang ataupun frekuensi gelombang. Hubungan panjang gelombang serta frekuensi gelombang dapat dilihat pada persamaan (2.1) [10] :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.1)$$

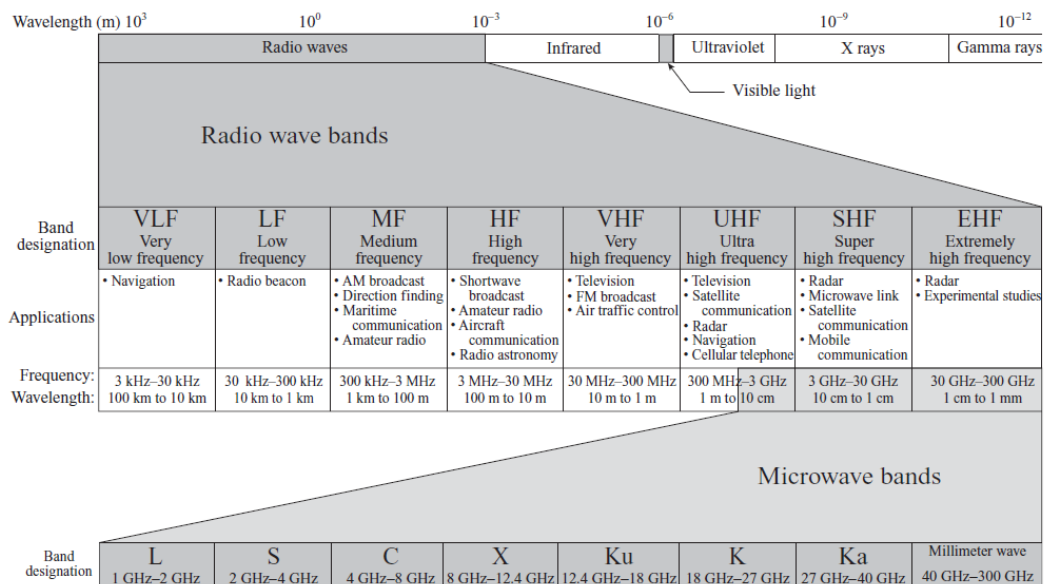
Lambda menunjukkan panjang gelombang, f menunjukkan frekuensi serta v menunjukkan cepat rambat gelombang. Dalam keadaan ruang hampa (vakum), cepat rambat gelombang seperti di bawah ini.

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.2)$$



Gambar II.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Panjang gelombang elektromagnetik berkisar dari beberapa millimeter hingga beberapa kilometer dan digunakan untuk beragam aplikasi. Pada Gambar II.3 menunjukkan spektrum gelombang radio beserta aplikasinya[13].



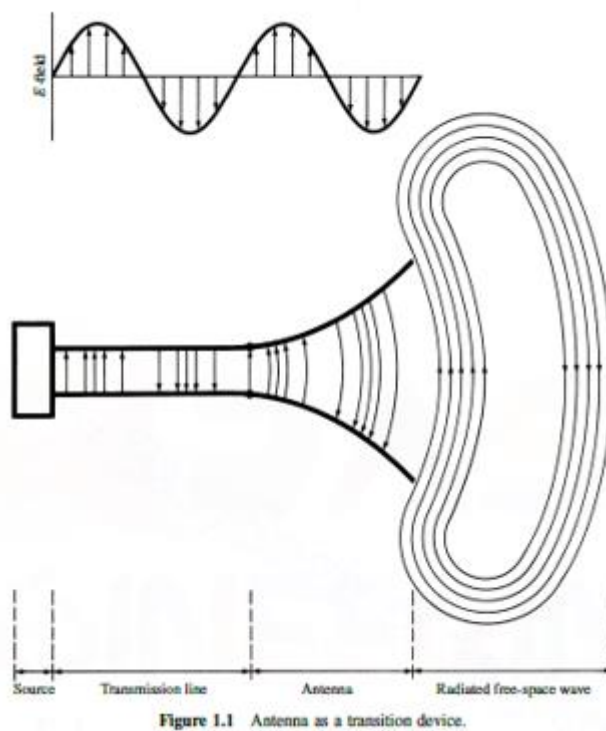
Gambar II.3 Spektrum Gelombang Radio

Gelombang radio (*RF wave*) berada pada rentang frekuensi 3 KHz – 300 GHz. *Microwave* merupakan salah satu gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi 300 MHz – 300 GHz. *Microwave* dikatakan sebagai gelombang mikro karena panjang gelombangnya yang sangat pendek yakni 1 mm – 1 m.

II.2 Antena

Sebuah antena didefinisikan oleh kamus Webster sebagai “sebuah divais metal (dalam bentuk batang atau kabel) untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio”. Pada IEEE *standard definitions of for antenna* (IEEE Std

145-1983) mendefinisikan antenna sebagai sebuah benda untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio. Berdasarkan ini, antenna merupakan struktur transisional antara *free-space* dan sebuah divais pengarah, seperti pada Gambar II.4 divais pengarah atau *transmission line* dapat berupa sebuah kabel *coaxial* atau pipa berongga dan digunakan untuk mengantarkan energi elektromagnetik dari suatu sumber ke antenna atau dari antenna ke penerima [14].



Gambar II.4 Antena Sebagai Divais Transisi

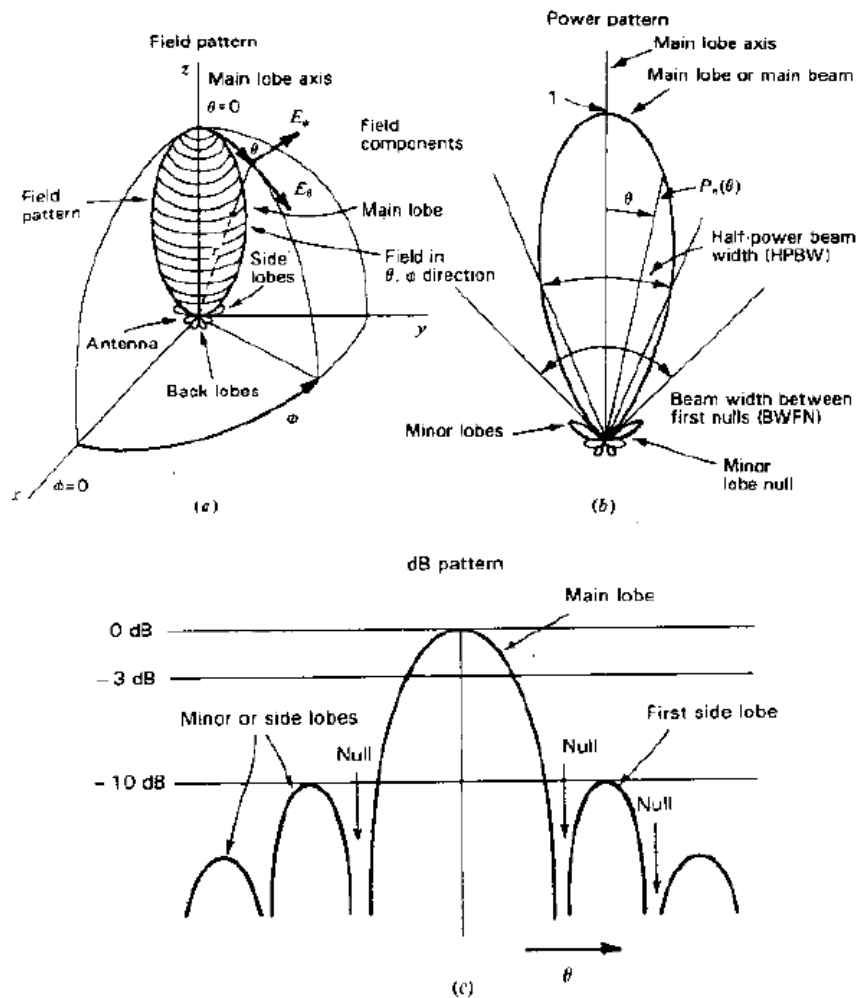
II.2.1 Pola Radiasi

Pola radiasi atau pola antena didefinisikan berdasarkan IEEE Std 145-1990 sebagai distribusi spasial dari sebuah besaran yang menggambarkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh antena. Besaran ini merujuk pada amplitudo medan, daya, intensitas

radiasi, polarisasi antena, fasa *relative* dan lain sebagainya. [13]. Pola radiasi juga dapat didefinisikan sebagai sebagai sebuah fungsi matematis atau sebuah representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Sifat antena yang paling penting adalah distribusi spasial dua atau tiga dimensi dari energi yang diradiasikan sebagai sebuah fungsi dari posisi pengamat sepanjang jalan atau permukaan dari radius yang konstan[14].

Untuk sebuah pola radiasi memiliki *main lobe* dengan nilai maksimum pada direksi z dengan *minor lobe* atau *side lobe* pada direksi yang lain dan diantaranya kosong dalam hal direksi atau radiasi minimum seperti pada gambar II.4 [10][15]. Biasanya pola medan dan daya dinormalkan berdasarkan nilai maksimumnya. Juga, pola daya biasanya diplot pada skala logaritma atau biasanya dalam desibel (dB). Skala logaritma berguna untuk menonjolkan nilai parameter yang sangat kecil, atau biasa disebut *minor lobes*. Pada sebuah antena, (1) pola daya dalam skala liner biasanya merepresentasikan sebuah plot dari besarnya medan listrik atau magnetik sebagai fungsi dari ruang angular. (2) Pola daya dalam skala linear biasanya merepresentasikan sebuah plot dari kuadrat besar medan listrik atau magnetik sebagai fungsi dari ruang angular. (3) Pola daya dalam (dB) merepresentasikan besarnya medan

listrik atau magnetik dalam desibel, sebagai fungsi dari ruang angular[14].



Gambar II.5 (a) Pola Radiasi Antena pada Sistem Koordinat (b) Pola Radiasi Data pada Koordinat Polar (c) Pola Radiasi pada Koordinat

Rectangular

Pola radiasi antena berupa tiga dimensi, akan tetapi dapat dideskripsikan dalam dua dimensi pada kertas. Untuk melakukannya Teknik yang populer dilakukan ialah merekam level signal sepanjang lingkaran atau *conical cut* melewati pola radiasi. Ini berarti satu sudut koordinat

ditahan pada nilai tertentu, sementara yang lainnya diubah-ubah. Pola radiasi biasanya ditampilkan sebagai medan relatif, daya relatif, atau daya relatif logaritmik terhadap sudut pada diagram polar atau *rectangular*. Diagram *rectangular* dapat dengan mudah dikembangkan sepanjang sumbu angular dengan mengubah kecepatan diagram relatif pada nilai angular dari positioner antenna dan ini merupakan keuntungan ketika mengukur pola dari *narrow-beam* antenna. Pola diagram memberikan gambaran lebih realistis dari pola radiasi, sehingga sering digunakan pada *broad-beam* antenna [15]

II.2.2 Bandwidth

Bandwidth dari suatu antenna didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi yang menggambarkan performa antenna dengan beberapa karakteristik. *Bandwidth* dapat dianggap sebagai jangkauan frekuensi pada kedua sisi dari frekuensi tengah (biasanya berupa resonan frekuensi dari antenna *dipole*) dimana karakteristik antenna (seperti *input impedance*, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *side lobe level*, *gain*, direktivitas beam efisiensi radiasi) berada dalam nilai yang dapat diterima dari frekuensi tengah tersebut. Pada antenna *broadband*, *bandwidth*nya dinyatakan sebagai rasio dari atas-ke-bawah dari frekuensi dengan operasi yang dapat diterima [14].

Performa dari sebuah antenna seperti *input reflection coefficient*, pola *gain*, dan lainnya merupakan fungsi frekuensi. Jangkauan dari frekuensi terhadap performa antenna pada batas yang ditentukan dikenal dengan

bandwidth antena. Sebagai contoh, pada suatu *band* frekuensi terdapat f_L hingga f_V ($f_V > f_L$), jika *gain* antena berada pada batas yang ditentukan, maka *bandwidth* dari antena dapat dinyatakan sebagai persentase dari frekuensi tengah f_0 , seperti persamaan di bawah[13].

$$BW = \frac{f_V - f_L}{f_0} \times 100\% \quad (2.3)$$

II.2.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Pada telekomunikasi, *standing wave ratio* (SWR) merupakan rasio dari sebuah amplitudo dari sebuah *standing wave* parsial pada antinode(maksimum) hingga amplitude pada node yang berdekatan (minimum) dari sebuah jalur transmisi elektrik. SWR biasanya didefinisikan sebagai sebuah rasio tegangan yang dikenal *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Sebuah vswr dari 1:1 berarti tidak ada daya yang terefleksikan kembali dari sumber. Ini merupakan sebuah kondisi ideal yang jarang terjadi. Pada implementasinya, vswr dengan nilai 1,2 :1 dianggap sebagai hasil terbaik. Nilai tersebut menggambarkan sebuah amplitudo *standing wave* maksimum yang mana 1,2 kali lebih besar dari nilai minimum *standing wave*. Persamaan dari vswr dapat dilihat pada persamaan (2.6)[16].

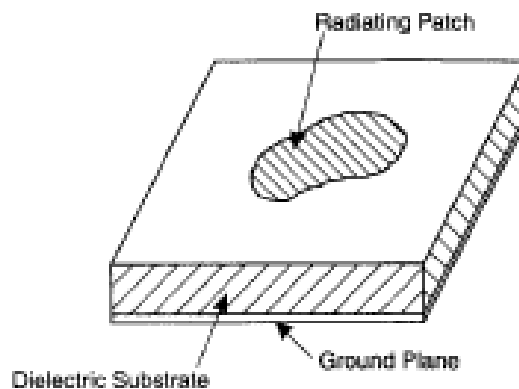
$$V_{min} = V_{fwd}(1 - \rho) \quad (2.4)$$

$$V_{max} = V_{fwd}(1 + \rho) \quad (2.5)$$

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{(1+\rho)}{(1-\rho)} \quad (2.6)$$

II.3 Antena Mikrostrip

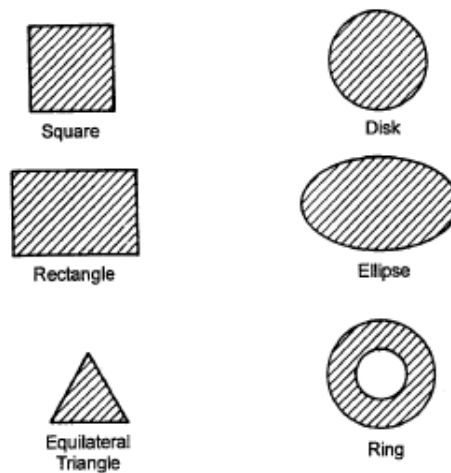
Antena mikrostrip (*microstrip antenna*) merupakan salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti strip/potongan yang mempunyai ukuran sangat tipis dan kecil. Antena mikrostrip dimodelkan sebagai resonator rongga[17]. Resonator rongga tersusun atas dua buah dinding elektrik yaitu konduktor pada bagian atas dan bawah antena yang direpresentasikan sebagai *radiating patch* dan *ground plane*. Serta sebuah dinding konduktor magnetik silindris di sekitar area sirkular dari resonator rongga, *dielectric substrate* diasumsikan terhubung diantara dua buah konduktor[18].



Gambar II.6 Antena Mikrostrip

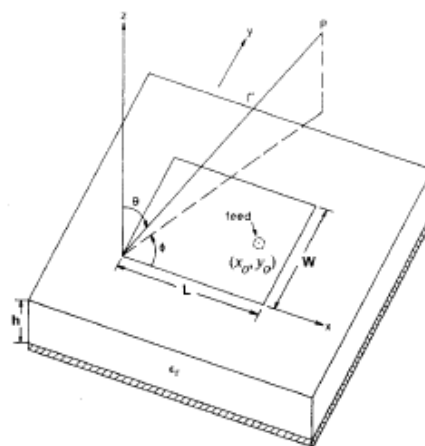
II.3.1 Elemen Peradiasi (*Patch*)

Elemen peradiasi (*patch*) merupakan sebuah lempengan bahan konduktor tipis yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya. Bentuk *patch* sangat bervariasi sesuai dengan rancangan yang diinginkan. Bentuk-bentuk *patch* dapat dilihat pada Gambar II.7 [18].



Gambar II.7 Bentuk-bentuk *Patch* Antena Mikrostrip

Dari berbagai macam bentuk *patch* antena mikrostrip, persegi dan lingkaran merupakan bentuk dasar dan paling umum digunakan untuk antena mikrostrip. Antena ini memiliki elemen umum yang terdiri dari sebuah garis konduktor dengan dimensi $L \times W$ pada sebuah *dielectric substrate* dengan konstanta dielektrik ϵ dan ketebalan h , serta elemen *ground* pada bagian sebelahnya [18], seperti ditunjukkan gambar II.8.



Gambar II.8 Geometri Antena Mikrostrip Persegi

Untuk menentukan besaran panjang (L) dan lebar (W) serta dimensi *ground plane* pada antenna mikrostrip dapat digunakan persamaan berikut [18] design and study of compact and wideband][14]:

$$W = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r+1)}{2}}} \quad (2.7)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12h/W}} \right) \quad (2.8)$$

$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.3)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (2.9)$$

$$L = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (2.10)$$

$$W_g = 6h + W \quad (2.11)$$

$$L_g = 6h + L \quad (2.12)$$

Dimana c adalah kecepatan rambat gelombang elektromagnetik di ruang bebas yaitu sebesar $3 \times 10^8 \text{ m/det}$, f_r adalah frekuensi resonansi (frekuensi kerja yang diharapkan dari antenna), ϵ_r adalah konstanta *dielectric substrate*, h adalah tebal *substrate*, L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif, ΔL adalah perbedaan panjang antara L dan L_{eff} , serta ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik relatif[19].

II.3.2 Elemen Substrat (*Substrate*)

Elemen substrat (*substrate*) merupakan bahan dielektrik yang memisahkan antara *patch* dan *ground plane*. Elemen ini memiliki jenis

yang bervariasi dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berbeda-beda. Konstanta dielektrik ini memiliki pengaruh terhadap *fringing field* dari *patch*, semakin kecil nilainya maka *fringing field* dan juga daya yang diradiasikan semakin meningkat [18]. Tabel II.1 memperlihatkan nilai konstanta dielektrik dari beberapa jenis bahan dielektrik [19]

Tabel II.1 Konstanta Bahan Dielektrik

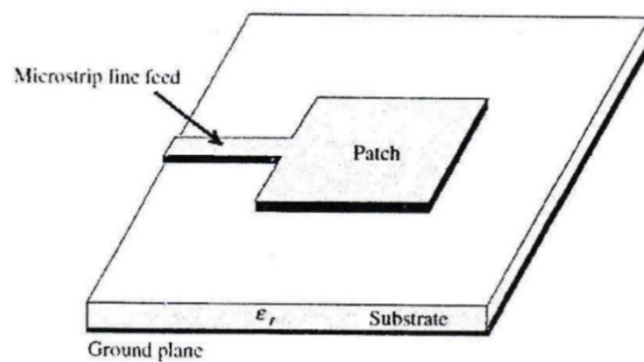
Jenis Bahan (material)	Konstanta Dielektrik
Udara	1
Foam	1,07
Epoxy FR 4	4,4
RT/Duroid 5880	2,2
Polysterene-quartz	2,6
Teflon-ceramic	2,3
Polyolefin-ceramic	3 – 10
Polyester-ceramic	6
Silicon	3 – 25

Dalam pemilihan *substrate* ini perlu diperhatikan ketebalan h serta *loss tangent*. *Substrate* yang tebal, akan meningkatkan daerah radiasi, mengurangi *loss* konduktor, dan memperbaiki impedansi *bandwidth*. Meskipun demikian, hal tersebut juga memperbesar berat antenna, *loss* dielektrik, *loss* gelombang permukaan [18].

II.3.3 Elemen Saluran Pencatu (*Feed Line*)

Elemen saluran pencatu merupakan saluran yang menghubungkan *patch* dengan perangkat pengirim atau penerima radio. Teknik pencatu pada antenna mikrostrip dapat dibedakan atas 2 bagian, yaitu pencatuan langsung (*excited directly*) dan pencatuan tidak langsung (*excited*

indirectly). Teknik pencatuan langsung yang umum digunakan adalah saluran mikrostrip (*microstrip line*), pada pencatuan ini *patch* dan *microstrip line* terletak pada *substrate* yang sama. Gambar II.9 menunjukkan pencatuan *patch* dengan menggunakan saluran mikrostrip (*microstrip line feed*)[19].



Gambar II.9 Antena Mikrostrip dengan Pencatu *Microstrip Line*

II.3.4 Elemen Pentanahan (*Ground Plane*)

Elemen pentanahan (*ground plane*) merupakan pembumian bagi sistem antena mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi, tetapi memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda. *Ground plane* umumnya menutupi seluruh pada bagian bawah dari antena mikrostrip[19].

II.4 Kadar Glukosa Darah

Kadar gula darah merupakan banyaknya glukosa di dalam peredaran darah manusia. Dapat terjadi peningkatan kadar gula darah setelah makan dan mengalami penurunan di waktu pagi hari saat bangun tidur. Seseorang

dikatakan mengalami *hyperglycemia* apabila keadaan kadar gula dalam darah jauh di atas normal, sedangkan *hypoglycemia* suatu kondisi dimana seseorang mengalami pengurangan kadar gula darah di bawah normal [20][2].

Nilai untuk kadar gula darah bisa dihitung dengan beberapa cara dan kriteria yang berbeda. Berikut ini tabel untuk penggolongan kadar glukosa dalam darah[2].

Tabel II.2 Kadar Glukosa Darah Sewaktu dan Puasa

			Bukan DM	Belum pasti DM	DM
Kadar Darah (mg/dL)	Glukosa sewaktu	Plasma Vena	<100	100-199	≥200
		Plasma Kapiler	<90	90-199	≥200
Kadar Darah (mg/dL)	Glukosa puasa	Plasma Vena	<100	100-125	≥126
		Plasma Kapiler	<90	90-99	≥100

Sedangkan hasil pemeriksaan kadar gula darah dikatakan normal bila :

- a. Gula darah sewaktu : <100 mg/dL
- b. Gula darah puasa : 70-110 mg/dL
- c. Waktu tidur : 110-150 mg/dL
- d. 1 jam setelah makan : <160 mg/dL
- e. 2 jam setelah maka : <140 mg/dL
- f. Pada wanita hamil : <140 mg/dL

II.5 Pengaruh Jaringan Tubuh

II.5.1 Interaksi *Microwave* dan Tubuh

Sebuah gelombang elektromagnetik dapat berinteraksi terhadap jaringan tubuh. Berdasarkan buku berjudul *RF/Microwaves Interaction with Biological Tissue* [21]. Ketika material konduktif terkena gelombang elektromagnetik, material tersebut akan memiliki nilai dielektrik karena pergerakan ion-ion yang terjadi pada material tersebut. Arus yang dimiliki material tersebut berada pada nilai yang terbatas karena adanya tabrakan *electron* terhadap ion positif.

Konduktor yang baik seperti emas, perak dan tembaga akan mengabaikan nilai dielektrik karena pergerakan ion sehingga nilai konduktivitas sebanding dengan nilai medan listrik yang melewati material tersebut. Material biologi, salah satu contohnya adalah tubuh manusia, bukanlah suatu konduktor yang baik. Material biologi bersifat konduktif untuk melewatkan arus akan tetapi nilai arus yang hilang juga cukup besar.

Propagasi gelombang elektromagnetik dalam materi di atur oleh persamaan difusi yang terjadi dalam suatu bahan. Persamaan difusi ini merupakan penurunan dari persamaan Maxwell dan berlaku terutama pada suatu material dengan nilai konduktivitas yang baik, dimana besarnya nilai konduktivitas arus berhubungan dengan perpindahan arus dan memperlihatkan peluruhan nilai medan listrik secara eksponensial

ketika berinteraksi dengan materi. Untuk mengetahui seberapa dalam gelombang elektromagnetik menembus suatu jaringan, persamaan yang digunakan adalah :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{(\omega\mu\sigma/2)}} \quad (2.13)$$

Nilai δ disini adalah kedalaman kulit dan nilai ini sama dengan ketebalan yang dimiliki suatu material dimana keberadaan partikel dalam material akan mengurangi nilai frekuensi gelombang elektromagnetik yang masuk hingga setengahnya (sekitar 37%) dari nilai frekuensi yang dimiliki oleh gelombang elektromagnetik tersebut ketika berada di permukaan. Berkurangnya kedalaman kulit akan meningkatkan nilai frekuensi dan konduktivitas material kulit.

Efek dari material kulit ketika ditembus oleh gelombang elektromagnetik adalah adanya medan listrik, arus dan konsentrasi di sekitar permukaan material. Aplikasi gelombang elektro magnetic pada bidang medis menunjukkan semakin tinggi frekuensi maka akan semakin kecil nilai penetrasi yang dapat dilakukan sehingga akan menurunkan nilai efisiensi dari aplikasi gelombang elektromagnetik itu sendiri sehingga pemilihan nilai frekuensi yang tepat akan berpengaruh pada kualitas pengukuran. Aplikasi di bidang media menunjukkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi tinggi membuat organ-organ tubuh lebih terlindungi dibanding pada frekuensi renda [21].

Specific Absorption Rate (SAR) merupakan ukuran tingkat

penyerapan energi disampaikan pada unsur massa dari jaringan tubuh ketika terekspos oleh medan elektromagnetik frekuensi radio. Penggunaan gelombang elektromagnetik perlu mengikuti pedoman yang ditetapkan agar tidak membahayakan untuk manusia. Menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineers* ada perbedaan radiasi yang diterima di setiap jaringan tubuh. Hal ini bergantung pada lingkungan dimana radiasi tersebut terjadi. Besarnya radiasi yang terjadi pada bagian tubuh tertentu dengan frekuensi radiasi 100 KHz – 6 GHz dapat dilihat pada Tabel II.3. [22]

Tabel II.3 Tingkat SAR yang diterima untuk paparan di dalam tubuh manusia pada rentang frekuensi 100 KHz – 6 GHz

Jenis Lingkungan	Jumlah paparan di seluruh tubuh	Jumlah paparan di kepala dan torso	Jumlah paparan di tangan, kaki, pergelangan kaki dan tangan
Terkontrol	0,4 W/kg	10 W/kg	20 W/kg
tidak terkontrol	0,08 W/Kg	2 W/kg	4 W/kg

II.5.2 Permittivitas dan Parameter S

Permittivitas merupakan sebuah properti makroskopik material dari medium yang berkaitan dengan kepadatan fluks listrik terhadap medan

listrik dalam suatu medium[23]. Permittivitas (ϵ) adalah nilai dari efek medan listrik terhadap suatu material ketika suatu medan listrik melewati bidang dielektrik dari awal sampai akhir. Inti dari permittivitas adalah kemampuan suatu material untuk mentransmisikan medan listrik dan ditentukan oleh kemampuan material tersebut untuk mempolarisasi partikel sehingga terpengaruh oleh medan listrik. Dan *relative permittivity* merupakan kompleks permittivitas dari suatu medium terhadap permittivitas ruang hampa (ϵ_0).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.14)$$

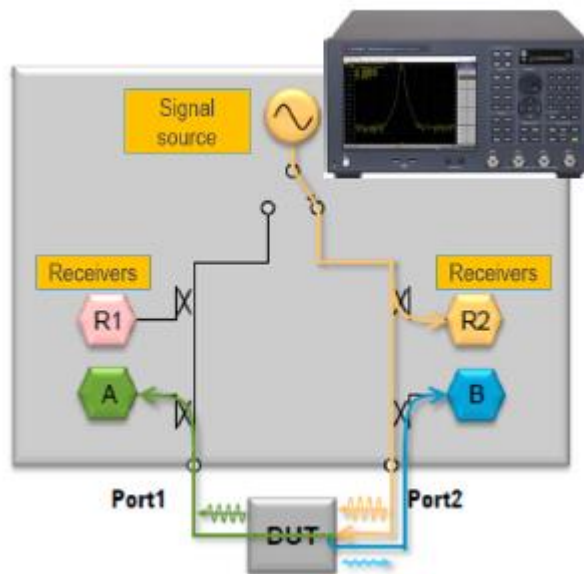
Kompleks permittivitas dari suatu material dituliskan dengan persamaan [24][25] :

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2.15)$$

Dimana ϵ_r' merupakan konstanta dielektrik atau permittivitas relative dan mengukur jumlah energy dari sebuah medan listrik eksternal yang tersimpan pada suatu material dan ϵ_r'' merupakan *loss factor* dan mengukur *loss energy* dari material akibat pengaruh medan listrik eksternal.

Parameter S menjelaskan hubungan *input-output* antar port dalam suatu jaringan listrik. Hal ini berhubungan dengan pola gelombang yang tersebar atau dipantulkan ketika jaringan dimasukkan ke dalam saluran transmisi dengan karakteristik impedansi tertentu. Pengukuran parameter S ini umumnya diukur menggunakan sebuah alat bernama

Vector Network Analyzer. *Vector Network Analyzer* ini merupakan instrument yang digunakan untuk mengukur parameter suatu jaringan dan dapat mengukur amplitude serta fasa. Penggunaannya sering digunakan untuk menguji spesifikasi komponen dan memverifikasi hasil simulasi untuk memastikan komponen tersebut bekerja dengan benar. Gambar II.10 menunjukkan blok diagram dari 2-port *Vector Network Analyzer* [26].

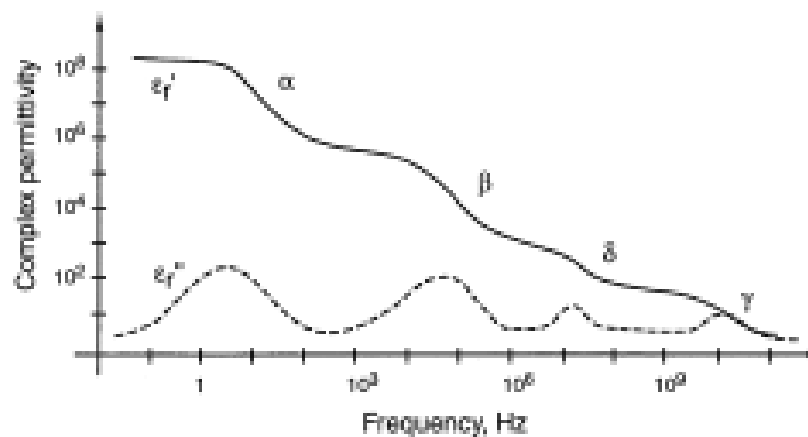


Gambar II.10 Blok Diagram 2-Port VNA

II.5.3 Dielektrik Properti Jaringan Tubuh

Properti dielektrik dari sebuah objek dapat didapat melalui pengukuran, termasuk juga jaringan tubuh. Dari penelitian yang dilakukan, hubungan gelombang elektromagnetik terhadap properti dielektrik dari jaringan tubuh diketahui seperti pada Gambar II.11. Peneliti memberi nama pada daerah penurunan permitivitas itu dengan

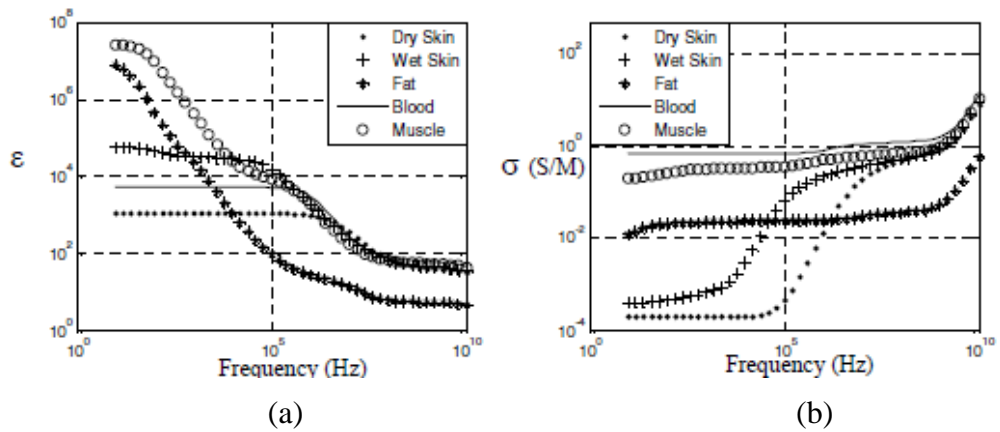
sebutan α , β , γ dan δ . Dispersi α terjadi pada frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dispersi γ . Dispersi nilai β terdapat pada kisaran *microwave*, begitu juga dengan dispersi δ yang merupakan tambahan dari wilayah dispersi β juga masuk dalam kisaran *microwave*[27].



Gambar II.11 Wilayah Dispersi dalam Jaringan Tubuh Manusia

Permittivitas kompleks merupakan konstanta dielektrik yang menggambarkan bagian *real* yang mendefinisikan permitivitas (ϵ_r') dan bagian kompleks yang mendefinisikan *loss tangent* (ϵ_r''). Permittivitas kompleks dari jaringan tubuh bergantung pada bagian *real* yang menggambarkan perubahan permitivitas terhadap frekuensi [28].

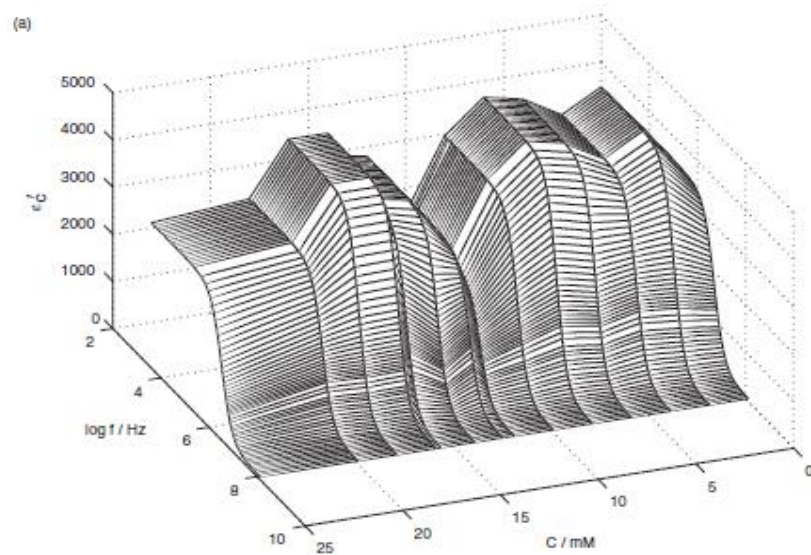
Pada Gambar II.12 ditunjukkan dari *The Dielectric Properties of Biological Tissues: II. Measurements in the Frequency Range 10 Hz to 20 GHz*, telah dilakukan studi terkait jaringan tubuh yang dalam hal ini terdiri dari kulit kering, kulit basah, lemak, darah dan otot [29].



Gambar II.12 (a) Permittivitas Relatif dan (b) Konduktivitas dari Model Jaringan Tubuh

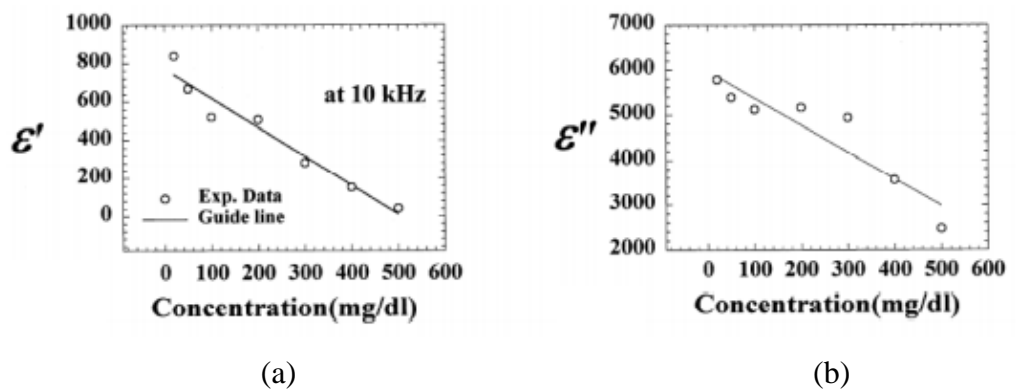
II.5.4 Hubungan Glukosa Terhadap Properti Dielektrik

Pada penelitian [30] menjelaskan hubungan glukosa terhadap membran eritrosit manusia. Konsentrasi gula darah pada sel darah merah mempengaruhi kepadatan lemak pada dinding sel, yang secara signifikan mempengaruhi permitivitas pada darah. Gambar II.13 menunjukkan perubahan permitivitas darah sesuai frekuensi kerja [30].



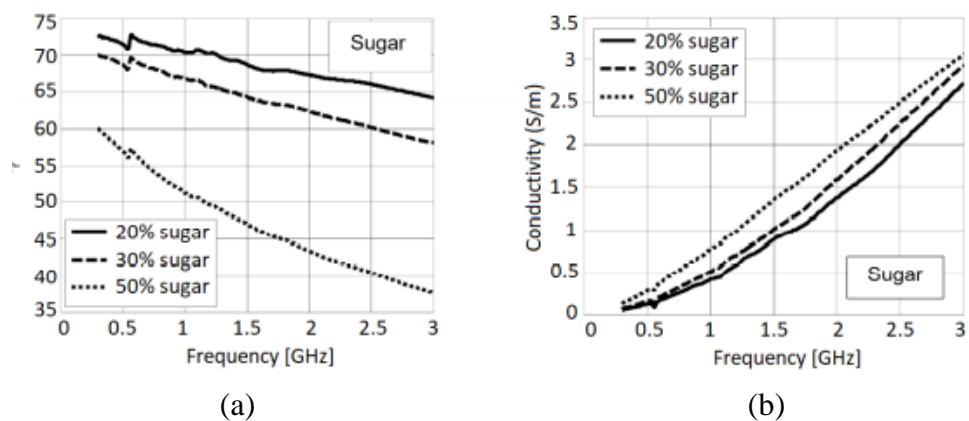
Gambar II.13 Permittivitas Relatif dari Eritrosit

Selain penelitian di atas, juga terdapat penelitian yang dilakukan untuk mengetahui peningkatan konstanta dielektrik baik *real* (ϵ_r') maupun *imaginary* (ϵ_r'') seiring dengan penurunan kadar glukosa darah. Penelitian dilakukan pada ekor hamster dimana diamati korelasi antara kadar glukosa darah dan permitivitas pada frekuensi 10 kHz seperti ditunjukkan pada Gambar II.14[31].



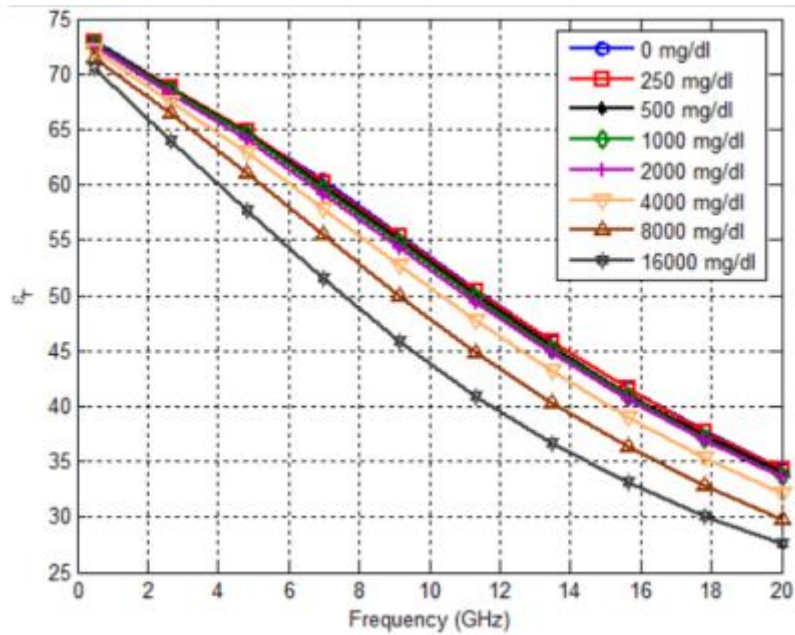
Gambar II.14 Konstanta Dielektrik Berdasarkan Konsentrasi Glukosa
(a) *real* (ϵ_r') dan (b) *imaginary* (ϵ_r'')

Selanjutnya, dilakukan penelitian efek gula pada sebuah tiruan kulit dimana frekuensi bervariasi untuk melihat pengaruhnya terhadap konstanta dielektrik dan konduktivitas. Seperti ditunjukkan pada Gambar II.15 dapat diamati penambahan gula pada percobaan menurunkan permitivitas relatifnya secara signifikan dan meningkatkan konduktivitas dengan perubahan yang relatif kecil.



Gambar II.15 Perubahan (a) Permittivitas dan (b) Konduktivitas Terhadap Perubahan Frekuensi Pada Model Tiruan

Penelitian lain juga menunjukkan nilai permitivitas yang diukur secara *in-vitro* pada kadar glukosa 0 mg/dL hingga 16.000 mg/dL dengan rentang frekuensi dari 500 MHz hingga 20 GHz. Gambar II.16 menunjukkan penurunan permitivitas relatif seiring meningkatnya frekuensi dan ketika kadar glukosa darah meningkat, maka permitivitas relatif menurun[31].



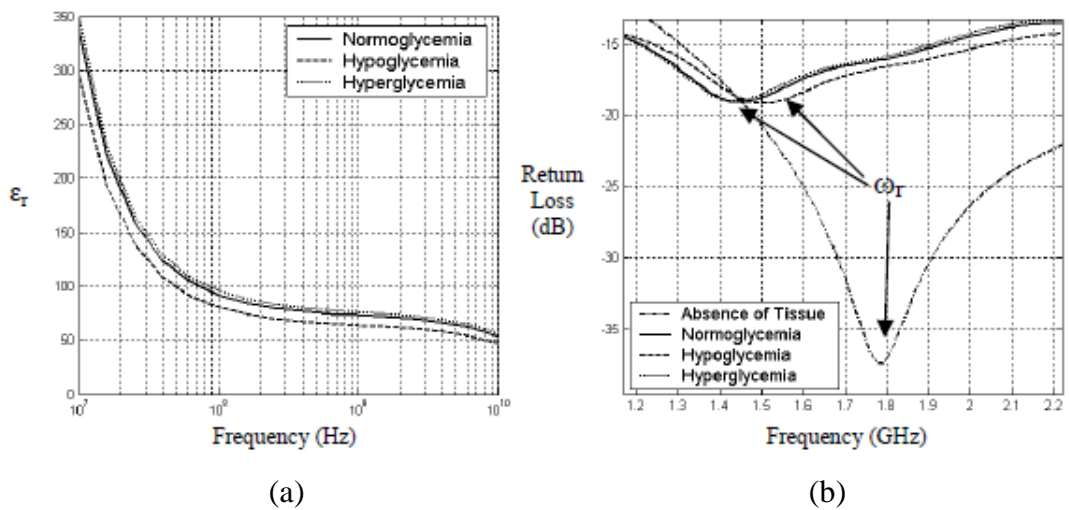
Gambar II.16 Permittivitas Relatif Plasma Darah Terhadap Konsentrasi Kadar Glukosa

Berdasarkan korelasi ini, digunakan untuk pengembangan pengukuran gula darah secara *non-invasive*. Terdapat beberapa penelitian terkait dengan pengukuran glukosa dengan memanfaatkan properti dielektrik ini, salah satunya memanfaatkan antena mikrostrip dengan melihat parameter antena yang berubah sesuai perubahan permittivitas [8][24], [25], [28],[31]. Pada penelitian [8] dilakukan simulasi berdasarkan parameter permittivitas relatif seperti pada Gambar II.17 dengan implementasi menggunakan antena mikrostrip. Penelitian ini menunjukkan terdapat pergeseran pada frekuensi kerja berdasarkan permittivitas relatif dari darah sesuai kadar glukosanya seperti ditunjukkan pada Gambar II.18. Penelitian [31] juga dilakukan

pemodelan jaringan dengan variasi permitivitas pembuluh darah dan menghasilkan *return loss*, S11 seperti ditunjukkan pada Gambar II.19. Dapat dilihat perubahan permitivitas darah mempengaruhi frekuensi resonan.

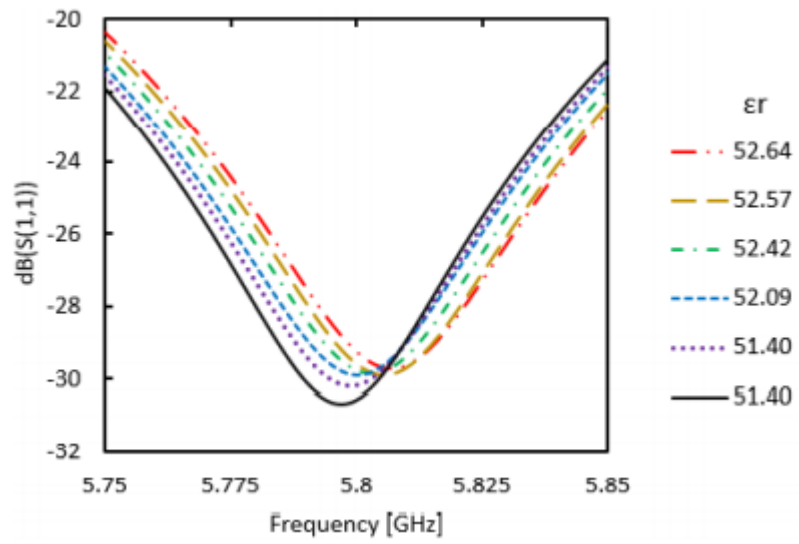


Gambar II.17 Pemodelan Pengukuran Glukosa



Gambar II.18 (a) Permitivitas Relatif yang Digunakan pada Simulasi

(b) *Return Loss* Hasil Simulasi Antena



Gambar II.19 Pergeseran Frekuensi Resonan Terhadap Permittivitas

Darah