

Perancangan Sensor Gelombang Mikro Untuk Aplikasi Pengukuran Kadar Gula Darah Secara *Non-Invasive*

Haryo Dwi Prananto¹, Mohammad Khoirul Anam²

Pusat Riset Teknologi Pengujian dan Standar, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Gedung 417, KST BJ Habibie, Setu, Tangerang Selatan

¹haryo.prananto@gmail.com ; haryo11@brin.go.id

²moha084@brin.go.id

Abstrak— Penyakit diabetes menjadi salah satu penyakit yang mematikan dewasa ini. Oleh karena itu kadar gula darah pada tubuh harus dideteksi lebih dini agar dapat dilakukan pencegahan maupun penyembuhannya. Pengukuran kadar gula darah banyak menggunakan alat yang bersifat *invasive* pada tubuh dimana beberapa orang masih takut untuk melakukannya. Pengukuran kadar gula darah secara *non-invasive* dapat dilakukan salah satunya menggunakan sensor gelombang mikro. Pada penelitian ini, sensor gelombang mikro dirancang adalah tipe *complementary split ring resonator* (CSRR) berbahan FR4 yang memiliki frekuensi kerja 2 GHz. Pengukuran awal kadar gula darah dilakukan dengan meletakkan model kadar gula darah berupa larutan gula diatas CSRR kemudian diamati grafik S_{21} menggunakan Vector Network Analyzer. Model kadar gula yang digunakan adalah larutan air dengan kadar gula yang berbeda. Hasil pengukuran awal menunjukkan adanya perbedaan grafik pada S_{21} seiring pertambahannya kadar gula pada larutan.

Kata kunci— CSRR, S_{21} , kadar gula darah, *non-invasive*

I. PENDAHULUAN

Penyakit diabetes mellitus merupakan salah satu penyakit kronis yang dapat menyebabkan kematian secara tiba-tiba tanpa adanya gejala yang kentara dirasakan pada awal-awalnya (*silent killer*) [1]. Berdasarkan *International Diabetes Federation* penyakit diabetes mellitus merupakan penyebab kematian di urutan ke 7 di dunia sejak tahun 2013 [2]. Sementara itu Indonesia merupakan salah satu dari 10 negara tertinggi yang memiliki jumlah penderita diabetes tertinggi tahun 2019 dan diprediksi akan naik di tahun 2045 [3]. Upaya pencegahan berupa edukasi mengenai bahayanya penyakit tersebut beserta deteksi dini diperlukan untuk menurunkan angka penyakit diabetes [4].

Deteksi kadar gula dalam darah pada seseorang untuk mengetahui apakah memiliki penyakit diabetes umumnya dilakukan dengan mengambil darah orang tersebut menggunakan jarum suntik. Metode pengambilan darah menggunakan jarum suntik merupakan metode yang *invasive*, artinya meninggalkan bekas luka pada orang tersebut. Namun masih ada beberapa orang *traumatic* akan bekasnya luka akibat pengambilan darah [5] sehingga menghambat deteksi dini penyakit ini. Oleh karena itu ada metode lain yang bersifat *non-invasive* yang dapat dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut. Beberapa metode *non-invasive* dapat dilakukan

dengan berbagai cara yaitu antara lain berbasis optik [6] dan elektromagnetik [7].

Deteksi kadar gula darah berbasis elektromagnetik khususnya sensor gelombang mikro sudah banyak dikembangkan dengan berbagai tipe sensor. Sensor tersebut antara lain antena *microstrip* [8], *interdigital* [9], *microstrip ring resonator* [10], *split ring resonator* [11], dan *Complementary Split Ring Resonator* [12] [13].

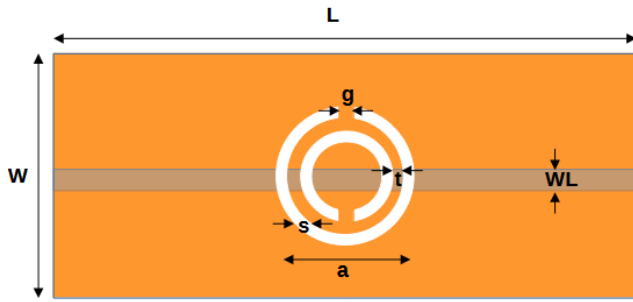
Pada penelitian ini dilakukan perancangan sensor gelombang mikro untuk aplikasi pengukuran kadar gula darah secara *non-invasive*. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gula darah menggunakan sensor gelombang mikro khususnya tipe *complementary split ring resonator* yang memiliki kelebihan dalam kemudahan fabrikasi, konsumsi daya yang lebih rendah, dan sensitivitas tinggi [13].

II. METODE

Sensor yang digunakan adalah tipe *Complementary Split Ring Resonator* (CSRR) dengan jalur *microstrip* pada sisi bawah, dimana dapat bekerja di antara rentang frekuensi 1 – 6 GHz [13]. Prinsip kerja dari sensor CSRR agar dapat melakukan deteksi dan pengukuran kadar gula darah secara garis besar adalah dapat merasakan perubahan permitivitas suatu cairan berdasarkan konsentrasi kadar gula [14]. Hal tersebut karena sensor CSRR merupakan ekuivalensi dari rangkaian RLC yang berhubungan dengan perubahan permitivitas suatu cairan.

A. Perancangan dan Optimasi

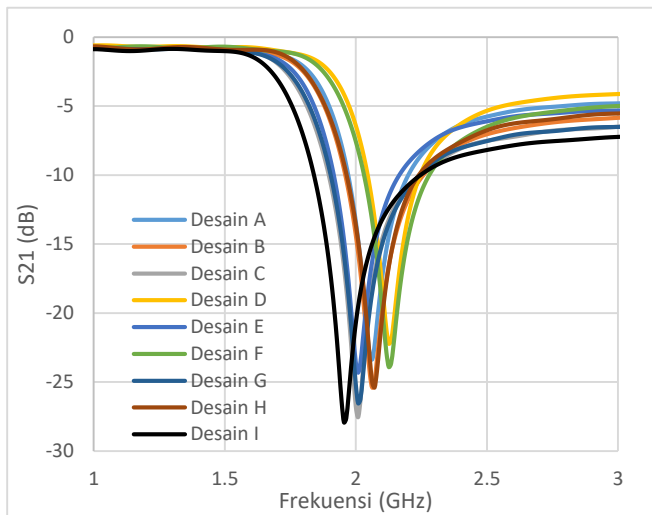
Perancangan dimensi CSRR didapatkan dengan memodifikasi dan mencari hasil optimasi dari [15] melalui simulasi CST Studio. Optimasi didapatkan dari memvariasikan dimensi pada parameter a , s , t , g , dan WL yang ditunjukkan pada Tabel 1, sehingga terdapat 9 Desain yang akan dibandingkan nilai S_{21} satu sama lain. Keterangan parameter dari konfigurasi sensor CSRR diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar. 1 Konfigurasi Sensor CSRR

TABEL 1
DIMENSI PADA SETIAP DESAIN

Desain	a (mm)	s = t = g (mm)	WL (mm)
A	12,08	1	3,137
B	13,58	1,5	3,137
C	15,08	2	3,137
D	12,08	1	2,137
E	12,08	1	4,137
F	13,58	1,5	2,137
G	13,58	1,5	4,137
H	15,08	2	2,137
I	15,08	2	4,137



Gambar 2. Perbandingan S_{21} dari setiap Desain

Koefisien transmisi S_{21} dari berbagai Desain dengan variasi parameter ditunjukkan pada Gambar 2. Desain yang memiliki nilai S_{21} paling rendah yaitu sekitar -27 dB terdapat pada Desain I sehingga dipilih untuk dibuat pada penelitian ini. Desain I memiliki frekuensi resonansi di sekitar 1,9 GHz dan memiliki dimensi yang diperlihatkan pada Tabel 2.

TABEL 2
DIMENSI SENSOR CSRR

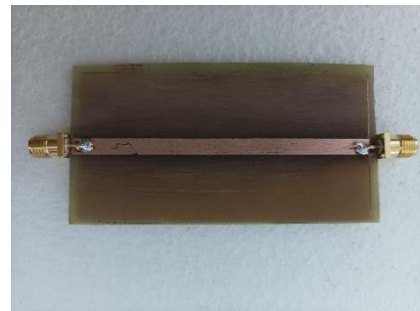
L	79 mm
W	40 mm
WL	2,137 mm
a	15,08 mm
g	2 mm
s	2 mm
t	2 mm

B. Pembuatan dan Pengukuran

Desain I yang memiliki nilai S_{21} optimal kemudian dicetak menggunakan bahan FR4 dengan ketebalan 1,6 mm. Gambar 2 menunjukkan sensor CSRR bagian atas dan bawah yang telah dibuat. Pengukuran dilakukan menggunakan Vector Network Analyzer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



a) Tampak atas

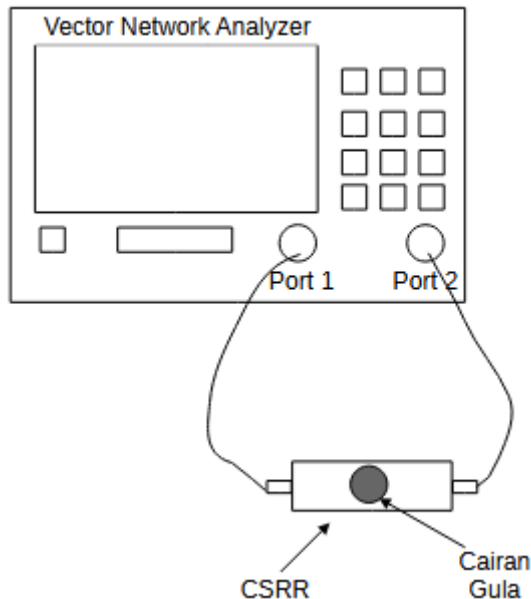


b) Tampak bawah

Gambar 3. Sensor CSRR tampak a). atas b). bawah

Eksperimen awal dilakukan pada sensor CSRR agar dapat diaplikasikan sebagai pengukur kadar gula darah. Kadar gula darah yang dijadikan objek pengukuran dimodelkan dengan cairan gula dengan berbagai konsentrasi gula. Data pengukuran yang diambil berupa *S-Parameter* khususnya grafik S_{21} (koefisien transmisi) yang didapatkan dari 6 kondisi antara lain CSRR saja, CSRR dengan wadah saja, CSRR dengan wadah yang diisi air tanpa gula, CSRR dengan wadah yang diisi gula

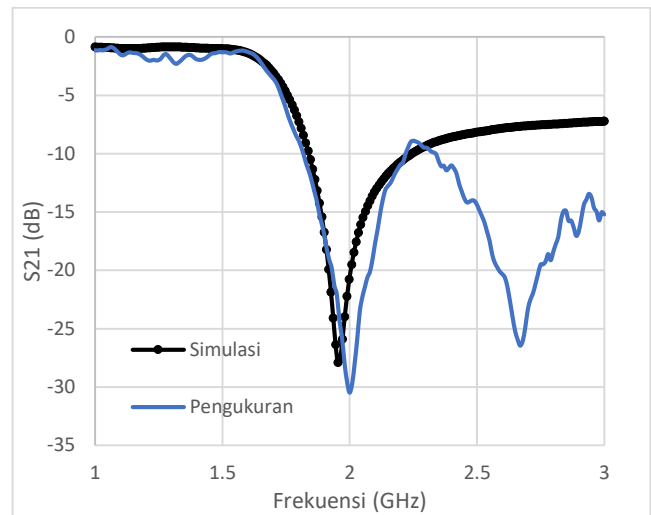
dengan konsentrasi 0,53 gram/mL. CSRR dengan wadah yang diisi gula dengan konsentrasi 1,06 gram/mL, dan CSRR dengan wadah yang diisi gula dengan konsentrasi 1,6 gram/mL. Volume air yang mengandung gula maupun tidak dibuat seragam sebesar 5 mL.



Gambar 4. Skema pengukuran kadar gula dengan sensor CSRR

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

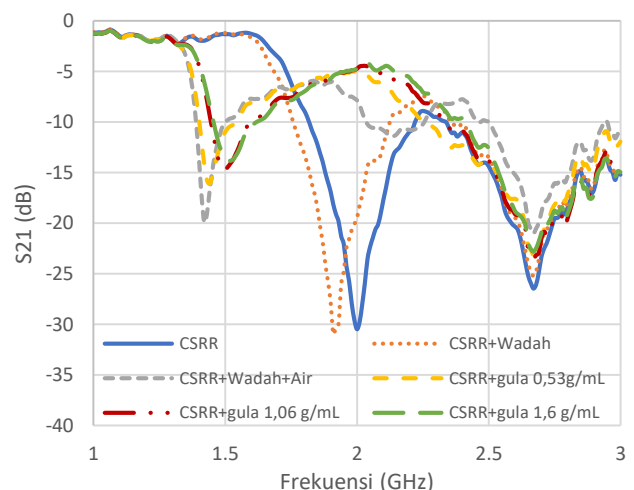
Gambar 5 menunjukkan grafik S_{21} hasil simulasi dan pengukuran pada sensor CSRR. Hasil pengukuran dari sensor CSRR yang telah dicetak pada FR4 memiliki frekuensi resonansi di 2 GHz sebesar sekitar 30 dB, sedangkan hasil simulasi berada di frekuensi sekitar 1,981 GHz dengan amplitudo sebesar -27 dB. Perbedaan antara simulasi dengan pengukuran terletak pada frekuensi resonansi yang memiliki selisih sekitar 19 MHz, dan perbedaan pada besaran amplitudo S_{21} yang memiliki selisih sekitar 6 dB. Pada grafik S_{21} hasil pengukuran terlihat memiliki puncak terendah kedua di frekuensi sekitar 2,7 GHz selain di frekuensi resonansi 2 GHz. Hal ini juga berbeda dengan hasil simulasi yang tidak memiliki puncak tersebut. Penyebab dari adanya puncak terendah kedua ini dan perbedaan hasil pengukuran dengan simulasi kemungkinan disebabkan oleh pembuatan sensor CSRR yang kurang presisi karena dibuat dengan cara manual beserta berasal dari kabel koaksial pada konektor yang kualitasnya tidak terlalu bagus.



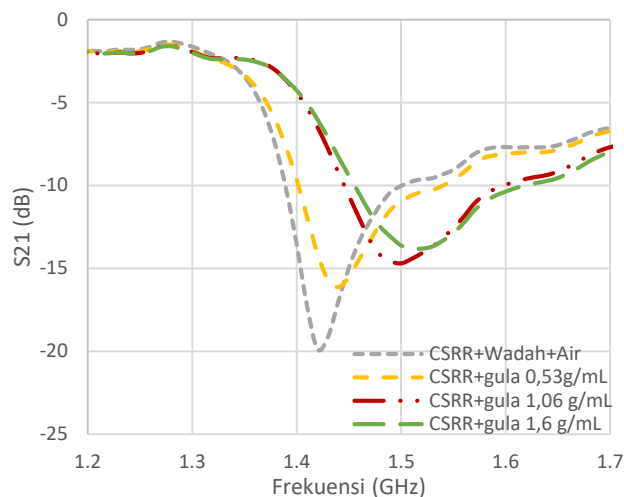
Gambar 5. Grafik S_{21} sensor CSRR hasil simulasi dan pengukuran

Perbandingan hasil pengukuran S_{21} antara 6 kondisi diperlihatkan pada Gambar 6. Jika dibandingkan antara CSRR saja, CSRR + wadah, dan CSRR + wadah + air, maka didapatkan kecenderungan frekuensi resonansi yang bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah. Sementara itu dengan ditambahkannya air pada CSRR, selain frekuensi resonansi yang bergeser, terdapat bertambahnya nilai S_{21} . Bertambahnya nilai S_{21} kemungkinan disebabkan oleh adanya hambatan yaitu berupa cairan sehingga koefisien transmisi di frekuensi resonansinya jadi bertambah.

Sementara itu berdasarkan grafik S_{21} pada kondisi variasi konsentrasi glukosa yang ditunjukkan lebih detail pada Gambar 7 mengalami perubahan dan pergeseran frekuensi resonansi. Pada kondisi tersebut terjadi kecenderungan pergeseran menuju frekuensi yang lebih tinggi diiringi oleh bertambahnya nilai amplitudo S_{21} .



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran dengan 6 kondisi



Gambar 7. Grafik S_{21} yang telah diperbesar dan detail mengenai perbandingan CSRR dengan variasi konsentrasi kadar gula

IV. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan sensor gelombang mikro tipe CSRR untuk aplikasi pengukuran kadar gula darah dengan frekuensi resonansi berada di 2 GHz. Sensor CSRR yang telah dirancang dapat mengukur dan mendeteksi kadar gula darah secara *non-invasive* melalui pergeseran frekuensi koefisien transmisi S_{21} .

REFERENSI

- [1] Nazliansyah, Amiruddin, and A. Y. S. Lubis, "Peningkatan Health Promotion Behavior pada Penderita Diabetes Mellitus Tipe 2 di Wilayah Kerja Puskesmas Tanjung Binga Kabupaten Belitung," *J. Pengabd. Masy. Bestari*, vol. 1, no. 7, pp. 659–668, Oct. 2022, doi: 10.55927/jpmb.v1i7.1596.
- [2] D. W. Hestiana, "Faktor-Faktor yang Berhubungan Dengan Kepatuhan Dalam Pengelolaan Diet Pada Pasien Rawat Jalan Diabetes Mellitus Tipe 2 di Kota Semarang," 2017.
- [3] Kementerian Kesehatan RI, "InfoDatin Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI," pp. 1–10, 2021.
- [4] Erika, "Meningkatkan Pemahaman Masyarakat Pentingnya Deteksi Dini Diabetes Melitus Melalui Penyuluhan dan Pengukuran Gula dan Tekanan Darah," *Ejoin J. Pengabd. Masy.*, vol. 1, no. 7, pp. 685–697, 2023.
- [5] R. Wahyuningrum, D. Wahyono, M. Mustofa, and Y. S. Prabandari, "Masalah-Masalah terkait Pengobatan Diabetes Melitus Tipe 2: Sebuah Studi Kualitatif," *Indones. J. Clin. Pharm.*, vol. 9, no. 1, p. 26, Mar. 2020, doi: 10.15416/ijcp.2020.9.1.26.
- [6] H. Suyono and H. Hambali, "Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik Non-Invasive Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *JTEV J. Tek. Elektro Dan Vokasional*, vol. 6, no. 1, p. 69, Jan. 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.107482.
- [7] E. Mansour, M. I. Ahmed, A. Allam, R. K. Pokharel, and A. B. Abdel-Rahman, "A Microwave Sensor Based on Double Complementary Split-Ring Resonator Using Hexagonal Configuration for Sensing Diabetics Glucose Levels," in *2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Florence, Italy: IEEE, Mar. 2023, pp. 1–5. doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133248.
- [8] S. Saha *et al.*, "Evaluation of the sensitivity of transmission measurements at millimeter waves using patch antennas for non-invasive glucose sensing," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Davos, Switzerland: IEEE, Apr. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/EuCAP.2016.7481304.
- [9] W. H. W. Morshidi *et al.*, "Inter-digital sensor for non-invasive blood glucose monitoring," in *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD)*, Bangkok: IEEE, May 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIRD.2018.8376339.
- [10] B. George, A. S. Mol, and S. K. Mneon, "Microstrip resonator as microfluidic sensor for blood-glucose monitoring," in *2017 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Coimbatore: IEEE, Oct. 2017, pp. 496–499. doi: 10.1109/CESYS.2017.8321126.
- [11] H. Choi, J. Nylon, S. Luzio, J. Beutler, and A. Porch, "Design of continuous non-invasive blood glucose monitoring sensor based on a microwave split ring resonator," in *2014 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio2014)*, London, UK: IEEE, Dec. 2014, pp. 1–3. doi: 10.1109/IMWS-BIO.2014.7032398.
- [12] C. Jang, J.-K. Park, H.-J. Lee, G.-H. Yun, and J.-G. Yook, "Non-Invasive Fluidic Glucose Detection Based on Dual Microwave Complementary Split Ring Resonators With a Switching Circuit for Environmental Effect Elimination," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 15, pp. 8520–8527, Aug. 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2984779.
- [13] A. E. Omer, G. Shaker, S. Safavi-Naeini, H. Kokabi, G. Alquie, and F. Deshours, "Multiple-Pole CSRR-based Microwave Sensor for Glucose Levels Detection," in *2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Copenhagen, Denmark: IEEE, Mar. 2020, pp. 1–5. doi: 10.23919/EuCAP48036.2020.9135777.
- [14] Z. Sun, H. Zhang, S. Zhang, N. Zhang, K. Li, and X. Wang, "A Microwave CSRR Sensor for Non-Invasive Glucose-Level Detection," in *2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)*, Hefei, China: IEEE, Aug. 2022, pp. 01–03. doi: 10.1109/ICEICT55736.2022.9909431.
- [15] A. E. Omer *et al.*, "Multiple-Cell Microfluidic Dielectric Resonator for Liquid Sensing Applications," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 5, pp. 6094–6104, Mar. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3041700.