



UNIVERSITAS TRISAKTI

KAMPUS A – Jl. Kyai Tapa No. 1 – Grogol – Jakarta Barat 11440 – Indonesia

Telp : +62-21-5663232, +62-21-5605835 (Hunting)

Fax : +62-21-5673001, +62-21-5671356, +62-21-56958209

FH : +62-21-5637014

FEB : +62-21-5644271

FKG : +62-21-5672731

FTSP : +62-21-5684643

FTKE : +62-21-5670496

FALTL : +62-21-5602575

E-mail : usakti@trisakti.ac.id

Website : <https://www.trisakti.ac.id/>

FK : +62-21-5672731

FTI : +62-21-5605841

FSRD : +62-21-5630815

SURAT TUGAS

Nomor: 1659/AU.00.02/USAKTI/WR.I/XI/2024

Dasar : Surat dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor: Manual.230/E5/DT.05.00/2024 tanggal 26 Juli 2024 perihal Pengumuman Penerima Pendanaan Program Penelitian *Batch* II dan Program Kolaborasi Penelitian Strategis (KATALIS) Tahun Anggaran 2024

MENUGASKAN

Kepada : Nama-nama terlampir

Untuk : Berperan serta secara aktif dalam melaksanakan kegiatan penelitian pada Program Kolaborasi Penelitian Strategis (KATALIS) BIMA Tahun Anggaran 2024.

Waktu : Tahun Akademik 2024

Tempat : Jakarta dan sekitarnya

Demikian Surat Tugas ini dibuat agar dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya serta dilaporkan hasilnya kepada Wakil Rektor I melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat.

Ditetapkan di : Jakarta

Pada tanggal : 5 November 2024



Wakil Rektor I
Universitas Trisakti

Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc., IPU., ASEAN Eng
NIK: 1978/USAKTI

Tembusan kepada Yth.:

1. Dekan FTI Usakti
2. Nama yang tersebut dalam lampiran
3. Arsip

Lampiran Surat Tugas

Nomor : 1659/AU.00.02/USAKTI/WR.I/XI/2024

Tanggal : 5 November 2024

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
1	SYAH ALAM (3617/USAKTI)	FTI	1. INDRA SURJATI 2. LYDIA SARI 3. IZNIH	1331/USAKTI 3498/USAKTI Mahasiswa	Perancangan Detektor Komposisi dan Adulterasi Susu Sapi Segar Secara Kontak dan Non-Kontak Berbasis Antena Sensor	KATALIS



Wakil Rektor I
Universitas Trisakti

Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc., IPU., ASEAN Eng
NIK: 1978/USAKTI



UNIVERSITAS TRISAKTI

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
INSTITUTION OF RESEARCH AND COMMUNITY SERVICES - UNIVERSITAS TRISAKTI

Kampus A - Jl. Kyai Tapa No.1 - Grogol - Jakarta Barat 11440 - Indonesia

Telp : +62-21-5663232 Ext. 8141

Fax : +62-21-5684021

E-mail : lppm@trisakti.ac.id

Website : <https://lppm.trisakti.ac.id>

KONTRAK PENELITIAN TAHUN ANGGARAN 2024

ANTARA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS TRISAKTI

DENGAN
PENELITI UNIVERSITAS TRISAKTI

Nomor: 253/A/LPPM/USAKTI/VIII/2024

Pada hari ini Jumat tanggal Sembilan bulan Agustus tahun Dua Ribu Dua Puluh Empat kami yang bertandatangan dibawah ini:

1. **Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T., IPM., ASEAN Eng. 2234/USAKTI** : Direktur Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Trisakti, berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Trisakti No. 265/USAKTI/SKR/IV/2022 dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Trisakti, yang berkedudukan di Gedung M Lt. 11 Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol Jakarta-11440, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
2. **Syah Alam 0315048604** : Dosen Tetap Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2024 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu kontrak, dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut:

Pasal 1 Dasar Hukum

Kontrak Penelitian ini berdasarkan kepada:

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara;

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 1 dari 10
..... 	

Takwa-Tekun-Terampil, Asah-Asih-Asuh, Satria-Setia-Sportif

2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2004 tentang Perbendaharaan Negara;
4. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara;
5. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2015 tentang bentuk dan Mekanisme Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
7. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
8. Peraturan Presiden Nomor 16 tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
9. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 139/PMK.02/2015 tentang Tata Cara Penyediaan, Pencairan, dan Pertanggungjawaban Pemberian Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
10. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun 2019;
11. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 60/PMK.02/2018 tentang Persetujuan Kontrak Tahun Jamak oleh Menteri Keuangan;
12. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 69/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2019;
13. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan tinggi;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 tahun 2016 tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;
15. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 6 tahun 2018 tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;
16. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 tahun 2018 tentang Penelitian;
17. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 2 dari 10
.....	

Pasal 2
Ruang Lingkup

- (1) Ruang lingkup **Kontrak Penelitian** yang pendanaannya bersumber dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2024, Nomor SP DIPA- 023.17.1.690523/2024 revisi ke-4 tanggal 8 Agustus 2024 dan berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 1091/LL3/AL.04/2024 Tanggal 8 Agustus 2024
- (2) Identitas penelitian ini adalah sebagai berikut:
- a) Ketua Peneliti : Syah Alam
 - b) Judul penelitian : Perancangan Detektor Komposisi dan Adulterasi Susu Sapi Segar Secara Kontak dan Non-Kontak Berbasis Antena Sensor

Pasal 3
Jangka Waktu

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sampai selesai 100%, adalah terhitung sejak **11 Juni 2024** dan berakhir pada **10 Desember 2024**.

Pasal 4
Target Luaran

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa:
- a) Laporan Kemajuan
 - b) Laporan Final
- (2) **PIHAK KEDUA** diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa:
- a) Artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi
 - b) HKI
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 5
Jangka Waktu

- (1) **Kontrak Penelitian** ini dilaksanakan dalam jangka waktu 1 (satu) tahun sebagaimana tersebut pada Pasal 3

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 3 dari 10
..... 	

- (2) **Kontrak Penelitian** sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilaksanakan untuk penelitian sebagaimana tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari **Kontrak Penelitian** ini.

Pasal 6
Hak dan Kewajiban

- (1) **PIHAK PERTAMA** mempunyai kewajiban:
- a. Menyalurkan pendanaan penelitian kepada **PIHAK KEDUA**;
 - b. Melakukan pemantauan dan evaluasi;
 - c. Melakukan penilaian luaran penelitian; dan
 - d. Melakukan validasi luaran tambahan.
- (2) **PIHAK KEDUA** mempunyai kewajiban:
- a. **Menandatangani Kontrak Penelitian** yang mengatur hak dan kewajiban yang memuat antara lain:
 1. Nama pelaksana;
 2. Judul penelitian;
 3. Jumlah dana penelitian;
 4. Tata cara dan termin pembayaran;
 5. Jangka waktu pelaksanaan;
 6. Batas akhir pelaporan;
 7. Mencantumkan pemberi dana penelitian dalam publikasi ilmiah;
 8. Luaran penelitian; dan
 9. Sanksi.
 - b. Mengkoordinir tim peneliti dan bertanggung jawab atas terlaksananya **Kontrak Penelitian** yang dilakukan.
 - c. Memantau pengunggahan ke laman **BIMA** dokumen sebagai berikut:
 1. Revisi proposal penelitian;
 2. Catatan harian pelaksanaan penelitian;
 3. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
 4. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 5. Laporan akhir penelitian;
 6. Luaran penelitian.

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 4 dari 10
..... 	

- (3) **PIHAK PERTAMA** mempunyai hak menerima dokumen hasil unggahan di laman **BIMA** sebagai berikut:
1. Revisi proposal penelitian
 2. Catatan harian pelaksanaan penelitian
 3. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
 4. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
 5. Laporan akhir penelitian
 6. Luaran penelitian
- (4) **PIHAK KEDUA** mempunyai hak mendapatkan dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 7

Laporan Pelaksanaan Penelitian

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA** yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Kemajuan dan Catatan harian penelitian yang telah dilaksanakan ke **BIMA** sesuai jadwal yang ditetapkan Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan *Softcopy* Laporan Kemajuan dan Rekapitulasi Penggunaan Anggaran 80% kepada **PIHAK PERTAMA**, sesuai jadwal yang ditetapkan Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.
- (4) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah laporan akhir, capaian hasil, poster, artikel ilmiah dan profil pada **BIMA** paling lambat sesuai jadwal yang ditetapkan Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional.

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 5 dari 10
..... 	

(5) Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Bentuk/ukuran kertas A4;
- b. Warna cover putih
- c. Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2024,

Nomor SP DIPA - 023.17.1.690523/2024 revisi ke-4 tanggal 8 Agustus 2024

dan

Berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 1091/LL3/AL.04/2024 Tanggal 8 Agustus 2024

Pasal 8

Monitoring dan Evaluasi

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2024 ini sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional

Pasal 9

Penilaian Luaran

Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/*Reviewer* Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima oleh peneliti harus disetorkan kembali ke kas negara.

Pasal 10

Cara Pembayaran

PIHAK PERTAMA menyalurkan pendanaan penelitian sebesar: **Rp.133.530.000,- (seratus tiga puluh tiga juta lima ratus tiga puluh ribu rupiah)** yang dibebankan kepada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2024, Nomor SP DIPA-023.17.1.690523/2024 revisi ke-4 tanggal 8 Agustus 2024 dan berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 1091/LL3/AL.04/2024 Tanggal 8 Agustus 2024

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 6 dari 10
.....		

- (1) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap:
- a) Pembayaran Tahap Pertama sebesar 80% yaitu: **Rp.106.824.000,- (seratus enam juta delapan ratus dua puluh empat ribu rupiah)**
 - b) Pembayaran Tahap Kedua sebesar 20% yaitu: **Rp.26.706.000,- (dua puluh enam juta tujuh ratus enam ribu rupiah)**
 - c) Dari Bank BNI kepada rekening Peneliti melalui mekanisme kliring dan pemindah bukuan.
- (2) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a, diberikan dengan ketentuan apabila revisi proposal penelitian telah diunggah ke laman **BIMA**.
- (3) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, dengan ketentuan apabila **PIHAK PERTAMA** telah menerima dokumen sebagai berikut:
- a) Laporan akhir pelaksanaan penelitian
 - b) Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
- (4) Dana luaran tambahan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** bersamaan dengan pembayaran Tahap Kedua.
- (5) Apabila luaran tambahan dinyatakan tidak valid oleh **PIHAK PERTAMA** sebagaimana dimaksud Pasal 4 ayat (1), maka dana luaran tambahan yang sudah diterima harus disetorkan kembali ke kas negara.
- (6) Pendanaan **Kontrak Penelitian** sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan kepada peneliti sebagai berikut.
- Nama Ketua Peneliti / Pemilik : **Syah Alam**
 Rekening
 Nomor Rekening : **17842160**
 Nama Bank : **BNI**
 Alamat Bank : **Jl. Pecenongan No.52 1, RT.1/RW.4, Kb. Klp.,
 Kecamatan Gambir, Kota Jakarta Pusat,
 Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10120**
- NPWP Ketua Peneliti : **893117804036000**
- (7) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggungjawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana, yang disebabkan oleh kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan informasi sebagaimana dimaksud pada ayat (9).

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 7 dari 10
..... 	

Pasal 11
Penggantian Keanggotaan

- (1) Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (2) Apabila Ketua tim pelaksana penelitian tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (3) Dalam hal tidak adanya pengganti ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

Pasal 12
Pajak

PIHAK KEDUA berkewajiban memungut dan menyetor pajak ke Bank setempat yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa:

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan.

Pasal 13
Kekayaan Intelektual

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan **PIHAK PERTAMA** sebagai pemberi dana.
- (3) Hasil penelitian berupa peralatan adalah milik negara dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST)

Pasal 14
Keadaan Kahar

- (1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam **Kontrak Penelitian** disebabkan atau

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 8 dari 10
..... 	

diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).

- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam **Kontrak Penelitian** ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan **Kontrak Penelitian** ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **PARA PIHAK** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

Pasal 15 **Penyelesaian Perselisihan**

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan **Kontrak Penelitian** ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat
- (2) Dalam hal tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum yang berlaku dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Jakarta Barat.

Pasal 16 **Amandemen Kontrak**

Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam **Kontrak Penelitian** ini, maka akan dilakukan amandemen **Kontrak Penelitian**.

Pasal 17 **Sanksi**

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (2), maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 9 dari 10
.....		

- (2) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.

Pasal 18
Lain-Lain

Dalam hal **PIHAK KEDUA** berhenti dari jabatannya sebelum **Kontrak Penelitian** ini selesai, maka **PIHAK KEDUA** wajib melakukan serah terima tanggung jawabnya kepada pejabat baru yang menggantikannya.

Pasal 19
Penutup

Surat Perjanjian kontrak ini dibuat rangkap 2 (dua) bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA

PIHAK KEDUA



Prof. Dr. Ir. Astri Rinanti, M.T., IPM, ASEAN Eng.
NIK: 2234/USAKTI

Syah Alam
0315048604

Mengetahui
Dekan

Prof. Dr. Ir. Rianti Dewi Wulansari Sulamet-Ariobimo, S.T, M.Eng, IPM.
2289/USAKTI

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 10 dari 10
.....		



PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR KOLABORASI PENELITIAN STRATEGIS

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi proposal ini dalam bentuk apapun kecuali oleh pengusul dan pengelola administrasi pengabdian kepada masyarakat

LAPORAN AKHIR 2024

Rencana Pelaksanaan Kolaborasi Penelitian Strategis: tahun 2024 s.d. tahun 2024

1. JUDUL PENELITIAN

Perancangan Detektor Komposisi dan Adulterasi Susu Sapi Segar Secara Kontak dan Non-Kontak Berbasis Antena Sensor

Bidang Fokus	Tema	Topik (jika ada)	Prioritas Riset
Pangan	Teknologi Ketahanan dan Kemandirian Pangan	Pengembangan teknologi untuk deteksi pemalsuan produk pertanian, peternakan, dan perikanan	Blue Economy

Rumpun Ilmu Level 1	Rumpun Ilmu Level 2	Rumpun Ilmu Level 3
ILMU HEWANI	ILMU PETERNAKAN	Teknologi Hasil Ternak

Skema Penelitian	Strata (Dasar/Terapan/Pengembangan)	Nilai SBK	Target Akhir TKT	Lama Kegiatan
Kolaborasi Penelitian Strategis	Riset Dasar	150.000.000	3	1 Tahun

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
SYAH ALAM 0315048604 Ketua Pengusul Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	- Melakukan permodelan simulasi sensor antena - Melakukan perancangan dan realisasi sensor antena - Melakukan validasi dan verifikasi sensor antena di laboratorium - Melakukan penyusunan laporan kemajuan dan laporan akhir penelitian - Melakukan penyusunan luaran penelitian (publikasi jurnal ilmiah internasional)	257111
INDRA SURJATI 0316105601 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	- Melakukan supervisi dari penelitian yang dikerjakan - Melakukan penyusunan laporan kemajuan dan laporan akhir penelitian - Melakukan penyusunan luaran penelitian (publikasi jurnal ilmiah internasional)	5984150
LYDIA SARI 0321087403 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	- Melakukan permodelan matematis dan rangkaian pengganti dari sensor antena - Melakukan analisa hasil pengukuran dan validasi sensor antena - Melakukan penyusunan laporan kemajuan dan	5980733

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
			laporan akhir penelitian - Melakukan penyusunan luaran penelitian (publikasi jurnal ilmiah internasional)	
IZNIH 162012210002 Mahasiswa Universitas Trisakti	Mahasiswa	Teknik Elektro	- Melakukan simulasi perancangan dan realisasi sensor antena - Melakukan pengukuran, validasi dan verifikasi sensor antena di laboratorium - Melakukan penyusunan luaran penelitian (publikasi pada jurnal ilmiah internasional)	-

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (Jika Ada)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra	Dana

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Kategori Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian	Keterangan
1	Artikel di Jurnal	Artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Accepted/Published	https://ieeaccess.ieee.org/

5. ANGGARAN

Rencana Anggaran Biaya penelitian mengacu pada PMK dan buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang berlaku.

Total RAB 1 Tahun Rp133.530.000,00

Tahun 1 Total Rp133.530.000,00

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Pendaftaran KI	Pendaftaran Hak Cipta	Paket	1	400.000	400.000
Bahan	Barang Persediaan	Adapter SMA Female ke N Male	Unit	10	100.000	1.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Pabrikasi antena	Paket	10	700.000	7.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Sampel susu segar	Unit	50	50.000	2.500.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Biaya publikasi pada jurnal internasional bereputasi	Paket	1	15.000.000	15.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Timah	Unit	20	150.000	3.000.000
Sewa Peralatan	Ruang penunjang penelitian	Sewa ruangan anechoic chamber untuk pengujian medan jauh dari sensor antena	Unit	7	1.000.000	7.000.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Analisa Data Hasil Simulasi dan Pengukuran Sensor Antena	Unit	4	500.000	2.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Konektor SMA Female	Unit	32	100.000	3.200.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	Melakukan simulasi dan optimasi sensor antena	OJ	10	300.000	3.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Substrat PCB Antena (RO-5880)	Unit	7	11.000.000	77.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya konsumsi rapat	Rapat Penyusunan Luaran dan Laporan Kemajuan Penelitian	OH	5	200.000	1.000.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	Pengolahan Data Hasil Pengukuran Sensor Antena	P (penelitian)	1	2.000.000	2.000.000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	FGD Progress Report Penelitian	OH	8	300.000	2.400.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Akrilik	Unit	10	103.000	1.030.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Sewa peralatan pengukuran medan dekat untuk sensor antena	Unit	10	500.000	5.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	lotfet	Unit	20	50.000	1.000.000

*. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

Deteksi kualitas susu segar sangat penting karena berdampak langsung pada keselamatan dan kesehatan konsumen, serta menentukan nilai gizi dan kegunaan produk susu. Kualitas susu segar yang buruk dapat menjadi sumber kontaminan mikroba patogenik seperti bakteri, virus, atau parasit yang dapat menyebabkan penyakit dan infeksi lainnya. Selanjutnya, adulterasi susu merujuk pada praktik yang melibatkan penambahan bahan-bahan yang tidak diperbolehkan ke dalam produk susu dengan tujuan untuk meningkatkan volume, meningkatkan penampilan, atau mengurangi biaya produksi. Selain itu, adulterasi susu dan keberadaan bakteri patogen dalam susu sangat berbahaya karena keduanya mengancam kualitas, keamanan, dan kesehatan konsumen. Deteksi kualitas susu umumnya dilakukan menggunakan detektor dengan mengamati beberapa parameter antara lain perubahan konduktivitas, suhu, temperature dan pH dari susu itu sendiri. Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi kualitas susu adalah sensor antena. Sensor antena memiliki kelebihan biaya pabrikan yang rendah dan memiliki performansi tinggi. Penelitian ini mengusulkan deteksi komposisi dan adulterasi dari susu segar secara kontak dan non-kontak berbasis sensor antena. Urgensi dari penelitian ini adalah menghasilkan teknologi tepat guna untuk deteksi kualitas susu guna mendukung resiliensi pangan nasional. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan detektor komposisi dan adulterasi dari susu segar secara kontak dan non kontak berbasis sensor antena. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan teknik pertubasi dimana komposisi dan adulterasi dari material uji (susu) diamati berdasarkan perubahan frekuensi dan

koefisien refleksi dari sensor antena ketika material diletakkan pada daerah sensing area yang ditentukan berdasarkan konsentrasi medan listrik dan medan magnet tertinggi pada frekuensi operasional 1 – 3 GHz baik secara kontak maupun non-kontak. Keuntungan lainnya adalah sensor antena dapat berfungsi secara simultan sebagai sensor untuk detektor dan antena untuk mengirimkan data hasil deteksi secara real-time. Dari hasil pengukuran, didapatkan bahwa sensor yang diusulkan dapat mendeteksi adulterasi susu dengan air untuk rentang 0 - 30%. Luaran yang telah dicapai adalah publikasi pada publikasi pada Jurnal Internasional berseputasi (under review) dan Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta 2 (under review). Luaran lainnya adalah, hak cipta dari poster penelitian yang tercatat di Kemenkumham RI.

B. KATA KUNCI

adulterasi, komposisi, susu segar, sensor antena, teori pertubasi

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

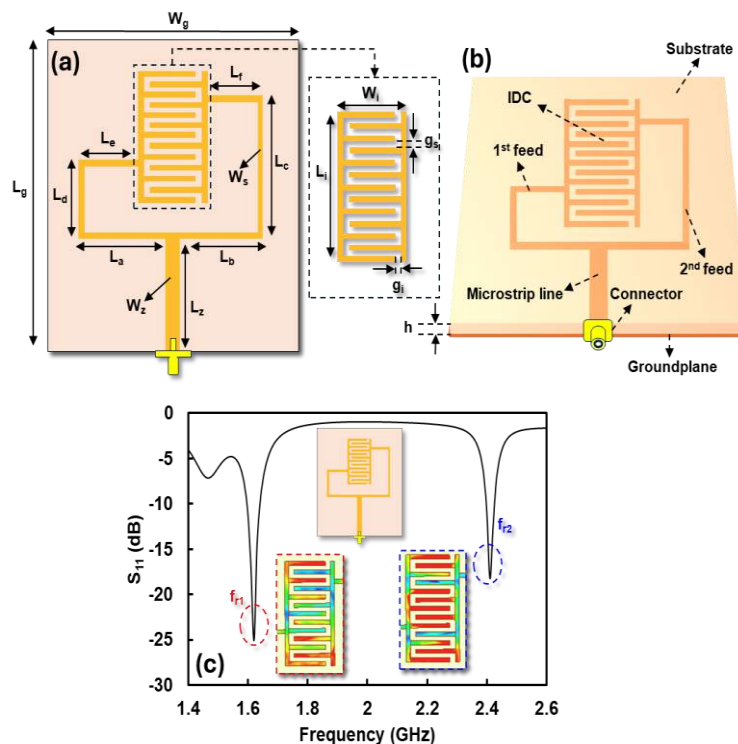
C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

A. Tahapan penelitian

Dalam pekerjaan ini, terdapat beberapa tahapan dalam merancang dan mengembangkan sensor untuk deteksi adulterasi pada susu segar antara lain **Tahap 1** : Melakukan perancangan dan simulasi struktur sensor gelombang mikro yang memiliki medan listrik yang tinggi, **Tahap 2** : Melakukan fabrikasi dan validasi performansi dari resonator yang diusulkan sebagai sensor gelombang mikro, **Tahap 3** : Melakukan pengujian dan analisis performansi dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi material padat yang telah diketahui permitivitasnya , **Tahap 4** : Melakukan pengujian dan analisis performansi dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi material cairan (air terdestilasi dan susu segar), **Tahap 5** : Melakukan pengujian dan analisis performansi dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi material cairan (kombinasi campuran terdestilasi dan susu segar dengan rasio 1:2, 1:4, 1:6, 1:8)

B. Perancangan sensor gelombang mikro

Sensor gelombang mikro yang diusulkan dirancang menggunakan jenis substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) 4.3, loss tan ($\tan \alpha$) 0.0265 dan ketebalan (h) 1.6 mm. Sensor gelombang mikro dirancang menggunakan resonator dengan port tunggal yang beroperasi pada dua frekuensi resonansi yang berbeda $f_{r1} = 1.62$ GHz dan $f_{r2} = 2.42$ GHz. Untuk menghasilkan frekuensi ganda, resonator terkoneksi dengan konektor RP-SMA dengan impedansi 50 Ohm menggunakan pendekatan *dual-feed*. Selain itu, untuk meningkatkan konsentrasi medan listrik dari resonator, struktur interdigital kapasitor (IDC) diusulkan sebagai solusi. **Gambar 1 (a)** menunjukkan dimensi dari sensor yang diusulkan. Dimensi keseluruhan dari sensor ditampilkan pada **Tabel 1**. Selanjutnya, **Gambar 1 (b)** menunjukkan struktur dari sensor yang diusulkan dimana sensor dirancang menggunakan PCB dengan dua lapisan tembaga yang diapit dengan bahan epoxy sebagai substrat. Lapisan atas dari PCB digunakan untuk menempatkan sensor yang terbuat dari tembaga sedangkan layar bawah digunakan sebagai *ground plane*. Hasil simulasi dari sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 1 (c)** dimana sensor beroperasi pada dua frekuensi resonansi berbeda yaitu $f_{r1} = 1.62$ GHz dan $f_{r2} = 2.42$ GHz.

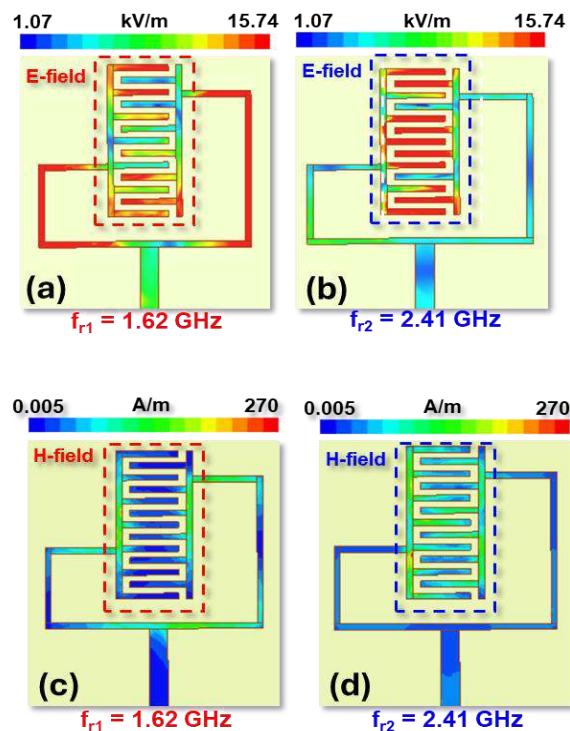


Gambar 1. Model sensor gelombang mikro; (a) dimensi sensor gelombang mikro, (b) struktur sensor gelombang mikro, (c) simulasi koefisien refleksi dari sensor gelombang mikro

Tabel 1. Dimensi dari sensor yang diusulkan

Parameter	Dimensi (mm)	Parameter	Dimensi (mm)
W_g	50	L_c	26.7
L_g	50	L_d	13.7
W_z	3.1	L_e	11.8
L_z	15	L_f	11.8
L_a	17.3	W_i	11.7
L_b	15.9	L_i	25
W_s	1	G_i dan G_s	1

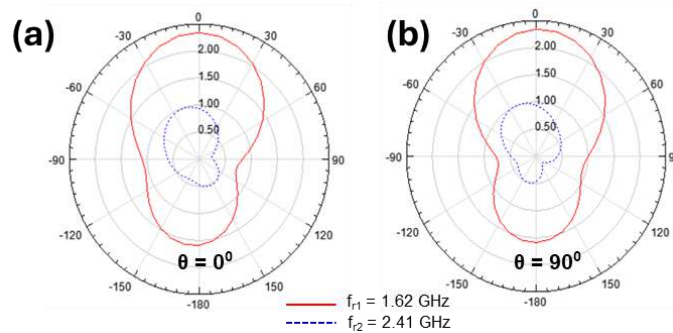
Tabel 1 menunjukkan dimensi dari sensor gelombang mikro yang diusulkan. Struktur IDC direpresentasikan dengan W_i dan L_i sedangkan celah pada masing-masing IDC direpresentasikan dengan G_i dan G_s . Perlu dicatat, lebar dan panjang celah sangat mempengaruhi konsentrasi medan listrik dan frekuensi resonansi dari sensor yang diusulkan. Dalam pekerjaan ini, sensor dirancang untuk mendeteksi permitivitas dari sampel dengan mengamati interaksi antara medan listrik dan permitivitas dari sampel yang digunakan. Permukaan resonator yang memiliki medan listrik tinggi (*E-field*) dapat direkomendasikan sebagai area deteksi (*sensing region*) yang digunakan untuk menempatkan sampel. Sampel yang digunakan adalah sampel dielektrik yang tidak memiliki kandungan logam. Selanjutnya, konsentrasi medan listrik dan medan magnet dari resonator berbasis IDC ditunjukkan pada **Gambar 2 (a)**, **Gambar 2 (b)**, **Gambar 2 (c)** dan **Gambar 2 (d)**.



Gambar 2. Simulasi E-field dan H-field; (a) E-field pada $f_{r1} = 1.62$ GHz, (b) E-field pada $f_{r2} = 2.41$ GHz, (c) H-field pada $f_{r1} = 1.62$ GHz, (d) H-field pada $f_{r2} = 2.41$ GHz

Gambar 2 (a) dan **Gambar 2 (b)** menunjukkan bahwa konsentrasi medan listrik tertinggi dari resonator yang diusulkan pada $f_{r1}=1.62$ GHz dan $f_{r2}= 2.42$ GHz berada pada permukaan IDC dari sensor yang diusulkan dengan rentangan 1.07 – 15.74 kV/m. Sebaliknya, konsentrasi medan magnet dari resonator yang diusulkan pada $f_{r1}=1.62$ GHz dan $f_{r2}= 2.42$ GHz sangat rendah dan berada pada rentang 0.005 – 270 A/m. Temuan ini menunjukkan bahwa permukaan IDC memiliki medan listrik yang tinggi dan medan magnet yang rendah sehingga menjadi lokasi yang potensial sebagai *sensing area* yang dapat direkomendasikan untuk menempatkan sampel

yang akan di deteksi. Selanjutnya, simulasi terhadap pola radiasi dari resonator yang diusulkan pada bidang E dan H ditunjukkan pada **Gambar 3 (a)** dan **Gambar 3 (b)**.

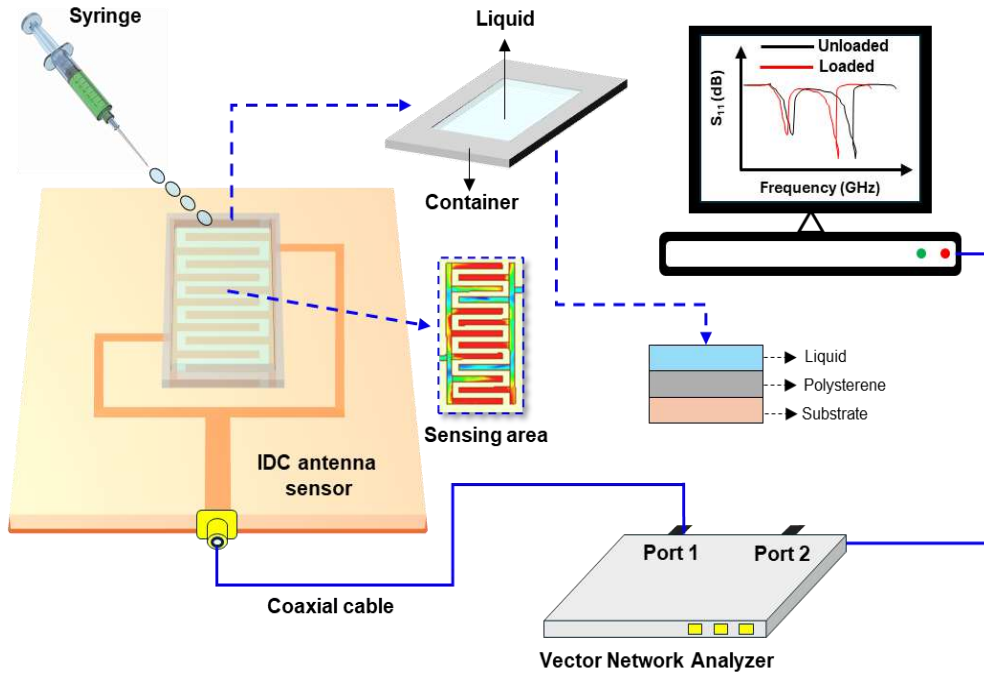


Gambar 3. Simulasi pola radiasi bidang E dan H ; (a) pola radiasi bidang E pada $\theta = 0^\circ$, (b) (a) pola radiasi bidang H pada $\theta = 90^\circ$

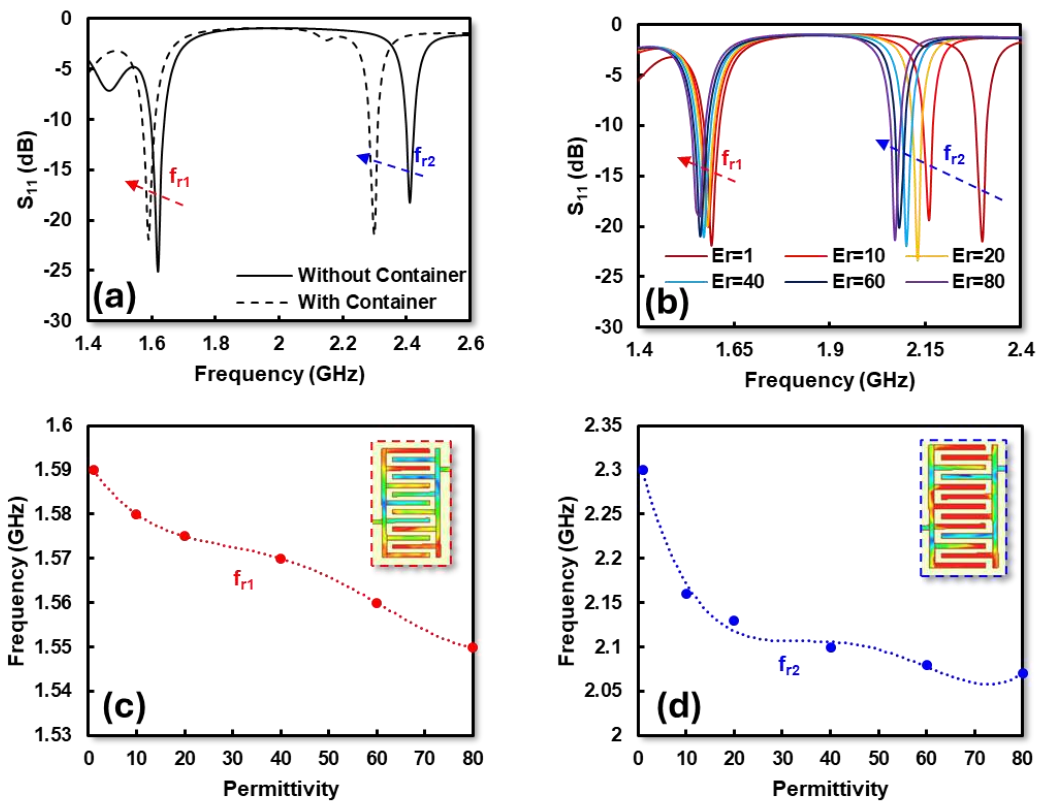
Gambar 3 (a) dan **Gambar 3 (b)** menunjukkan bahwa daya pancar maksimal dari resonator yang diusulkan pada bidang E dan H dengan sudut $\theta = 0^\circ$ dan $\theta = 90^\circ$ berada pada $f_{r1} = 1.62$ GHz yang berada pada rentang 2 dB sedangkan untuk $f_{r2} = 2.42$ GHz memiliki daya pancar yang lebih kecil dengan rentangan 1 dB. Temuan ini menunjukkan bahwa resonator yang diusulkan memiliki karakteristik yang lebih kapasitif dan menyimpan energi listrik yang lebih banyak dibandingkan dengan yang dipancarkan. Hal ini juga menunjukkan bahwa penerapan struktur IDC telah berhasil meningkatkan medan listrik dan mereduksi medan magnet pada sensor yang diusulkan.

C. Simulasi perfomansi dari sensor yang diusulkan

Tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi penempatan sampel pada lokasi *sensing area* dari sensor yang diusulkan. Skenario pengukuran dan penempatan sampel cairan pada sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dalam pekerjaan ini, sampel cairan ditempatkan pada kontainer berbahan *polythelene* dengan permitivitas 2.25 dan dimensi 12.7 mm x 25 mm x 2 mm. Bagian tengah dari kontainter diberikan lubang untuk menempatkan sampel cairan yang akan dikarakterisasi dengan dimensi 10.7 mm x 23 mm x 1.5 mm. Selanjutnya, sampel ditempatkan pada kontainer dengan menggunakan *syringe*. Karakterisasi sampel cairan diamati berdasarkan perubahan frekuensi resonansi (f_{r1} dan f_{r2}) dari sensor yang diusulkan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer (VNA)* yang dikoneksikan dengan sensor menggunakan kabel koaxial melalui *port 1*. Hasil pembacaan ditunjukkan pada layar monitor dari PC yang dikoneksikan dengan VNA menggunakan kabel USB. Selanjutnya, hasil simulasi dari karakterisasi sampel cairan dan perfomansi dari sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 5 (a)**, **Gambar 5 (b)**, **Gambar 5 (c)** dan **Gambar 5 (d)**.



Gambar 4. Skenario penempatan sampel cairan pada sensor yang diusulkan



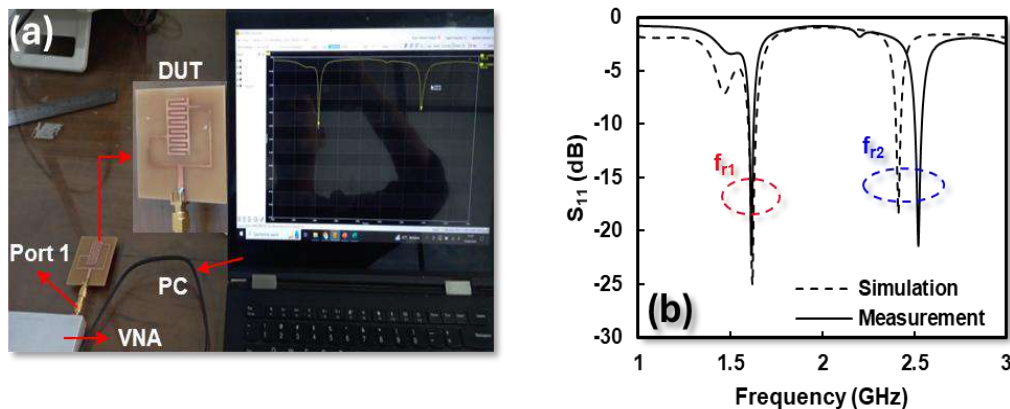
Gambar 5. Hasil simulasi performansi dari sensor; (a) S_{11} tanpa dan dengan kontainer, (b) korelasi S_{11} dengan perubahan permitivitas dari sampel dengan permitivitas 1 – 80, (c) korelasi perubahan permitivitas sampel dengan $f_{r1}= 1.62$ GHz, (d) korelasi perubahan permitivitas sampel dengan $f_{r2}= 2.42$ GHz

Gambar 5 (a) menunjukkan bahwa kedua frekuensi resonansi dari sensor bergeser ketika ditempatkan kontainer dimana f_{r1} bergeser dari 1.69 GHz menjadi 1.59 GHz sedangkan untuk f_{r2} bergeser dari 2.42 GHz menjadi 2.30 GHz. Selanjutnya, frekuensi resonansi dari sensor dengan kontainer menjadi acuan dan kondisi awal

dari sensor yang digunakan sebagai pembanding pada saat mengkarakterisasi sampel cairan. Dalam pekerjaan ini, permitivitas dari sampel yang digunakan berada pada rentang 1 – 80. **Gambar 5 (b)** menunjukkan respon dari f_{r1} dan f_{r2} pada saat sampel cairan ditempatkan pada kontainer. Dari hasil simulasi, kedua frekuensi resonansi dari resonator bergeser ke frekuensi rendah segaris dengan peningkatan permitivitas dari sampel cairan dimana f_{r1} bergeser dari 1.59 GHz ke 1.55 GHz seperti yang ditunjukkan **Gambar 5 (c)** sedangkan f_{r2} bergeser dari 2.30 GHz ke 2.05 GHz seperti yang ditunjukkan **Gambar 5 (d)**. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil dan sensitif untuk merasakan perubahan permitivitas dari sampel yang diletakkan pada *sensing area*. Dari hasil simulasi didapatkan kesimpulan sementara bahwa respon dari f_{r2} jauh lebih sensitif dibandingkan f_{r1} . Hal ini disebabkan frekuensi dari f_{r2} lebih tinggi dari f_{r1} sehingga pergeseran frekuensi lebih jauh dan lebih sensitif dalam merasakan perubahan permitivitas dari sampel. Selain itu, area untuk medan listrik tertinggi dari f_{r2} jauh lebih besar dibandingkan dengan area medan listrik untuk f_{r1} sehingga deteksi perubahan permitivitas dari sampel menjadi lebih optimal.

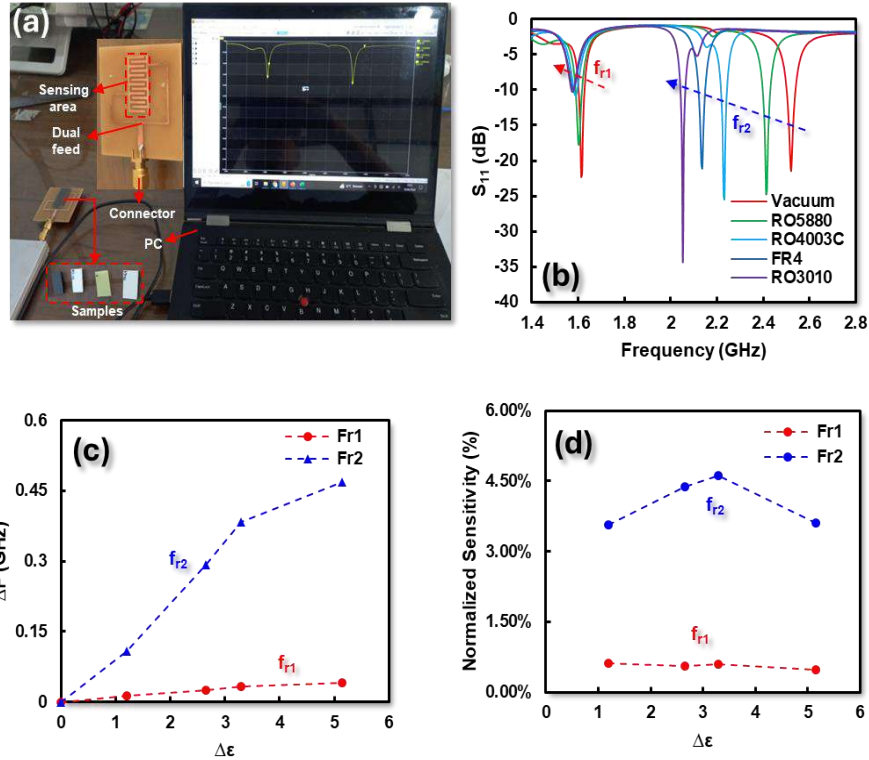
D. Pengujian dan analisis dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi material padat

Tahapan selanjutnya adalah melakukan uji performansi dari sensor yang diusulkan untuk mengkarakterisasi material padat. Dalam pekerjaan ini, sampel yang digunakan adalah material padat yang telah diketahui permitivitasnya berdasarkan *datasheet* dengan rentangan 1 – 6.15. Material padat yang digunakan sebagai sampel antara lain RO5880 dengan permitivitas 2.2, RO4003C dengan permitivitas 3.65, FR4 dengan permitivitas 4.3 dan RO3006 dengan permitivitas 6.15. Dimensi dari sampel yang digunakan menyesuaikan dengan lokasi dari sensing area dari sensor yang diusulkan yaitu 12.7 mm x 25 mm dengan ketebalan sampel 1.6 mm. Proses pengukuran dari sensor dilakukan di laboratorium menggunakan alat ukur VNA yang dikoneksikan dengan sensor menggunakan kabel coaxial melalui *port 1* sedangkan untuk pembacaan hasil pengukuran dilakukan menggunakan PC yang dikoneksikan dengan VNA melalui kabel USB. Proses pengukuran dilakukan di dalam ruangan tertutup dengan temperature ambien 25° C seperti yang ditunjukkan **Gambar 6 (a)**. Selanjutnya, perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 6 (b)**.



Gambar 6. Proses pengukuran dari sensor yang diusulkan; (a) pengaturan pengukuran dari sensor yang diusulkan, (b) perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dari sensor yang diusulkan

Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan pada **Gambar 6 (b)**, f_{r1} mengalami pergeseran dari 1.62 GHz menjadi 1.61 GHz sedangkan f_{r2} mengalami pergeseran dari 2.42 GHz menjadi 2.52 GHz. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah memiliki performansi yang identik antara simulasi dan pengukuran dengan tingkat kesalahan 0.6% dan 4.1% untuk f_{r1} dan f_{r2} , masing-masing. Selanjutnya, karakterisasi material padat diusulkan untuk menguji performansi dari sensor yang diusulkan. Pengaturan pengukuran untuk karakterisasi material padat ditunjukkan pada **Gambar 7 (a)** sedangkan performansi dari sensor ditunjukkan pada **Gambar 7 (b)**, **Gambar 7 (c)** dan **Gambar 7 (d)**.



Gambar 7. Proses pengukuran dari sensor yang diusulkan untuk deteksi permitivitas material padat; (a) pengaturan pengukuran dari sensor yang diusulkan, (b) perubahan frekuensi resonansi terhadap material pada dengan rentang permitivitas 1 – 6.15, (c) ΔF dari sensor yang diusulkan, (d) sensitivitas ternormalisasi dari sensor yang diusulkan.

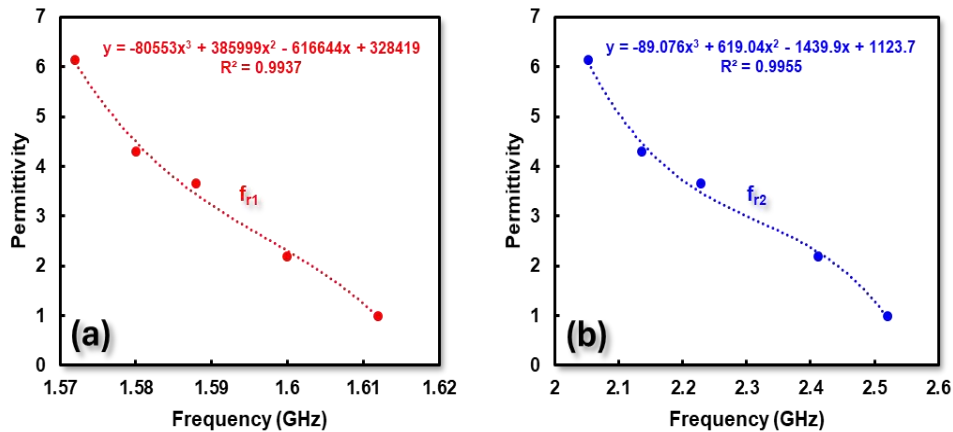
Keempat sampel material padat diletakkan tepat diatas permukaan sensing area dari *sensing area* dimana kondisi sensor tanpa sampel (*vacuum*) dengan permitivitas 1 digunakan sebagai referensi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7 (a)**. Selanjutnya, respon dari f_{r1} dan f_{r2} terhadap masing-masing sampel ditunjukkan pada **Gambar 7 (b)** dimana frekuensi resonansi bergeser ke frekuensi rendah segaris dengan peningkatan permitivitas dari sampel yang diletakkan pada sensing area dari sensor yang diusulkan. Selanjutnya, pergeseran frekuensi dari sensor direpresentasikan sebagai ΔF yang ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f = (f_{\text{unloaded}} - f_{\text{loaded}}) \text{ GHz} \quad (1)$$

Dimana ΔF merepresentasikan rentang pergeseran frekuensi, f_{unloaded} adalah frekuensi resonansi pada saat sensor dalam kondisi tanpa sampel (*vacuum*) sedangkan f_{loaded} adalah frekuensi dari sensor pada saat dibebankan sampel. Berdasarkan hasil pengukuran, f_{r1} bergeser sampai dengan $\Delta F = 0.04$ GHz sedangkan f_{r2} bergeser sampai dengan $\Delta F = 0.47$ GHz untuk rentang permitivitas 1 – 6.15 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7 (c)**. Selanjutnya, sensitivitas ternormalisasi (NS) dari sensor yang diusulkan dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$NS = \frac{1}{\Delta \epsilon_r} \left(\frac{f_{\text{unloaded}} - f_{\text{loaded}}}{f_{\text{unloaded}}} \right) \% \quad (2)$$

Dimana NS adalah sensitivitas ternormalisasi, $\Delta \epsilon_r$ adalah selisih antara permitivitas dari sampel referensi dan permitivitas dari sampel yang dibebankan pada sensor. Dalam pekerjaan ini, permitivitas referensi yang digunakan adalah udara dengan $\epsilon_r = 1$. Dari hasil pengukuran, sensitivitas ternormalisasi dari sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 7 (d)** dimana untuk f_{r1} berada pada rentang 0.42 – 0.62 % sedangkan untuk f_{r2} berada pada rentang 3.57 – 4.62% untuk rentang permitivitas 1 – 6.15. Hasil ini menunjukkan bahwa f_{r2} lebih sensitif dibandingkan dengan f_{r1} . Temuan ini segaris dengan yang didapatkan dari proses simulasi dimana f_{r2} memiliki sensitivitas yang lebih dibandingkan dengan f_{r1} .



Gambar 8. Persamaan polinomial dari hasil pengukuran ; (a) persamaan polinomial untuk f_{r1} , (b) persamaan polinomial untuk f_{r2}

Selanjutnya, korelasi antara frekuensi resonansi dan permitivitas dapat diturunkan menjadi persamaan polinomial orde tiga yang dapat digunakan untuk menentukan permitivitas dari material padat seperti yang ditunjukkan **Gambar 8 (a)** dan **Gambar 8 (b)**. Berdasarkan hasil pengukuran, permitivitas dari sampel dapat ditentukan berdasarkan persamaan polinomial orde tiga sebagai berikut:

$$\varepsilon_{r1} = -8055f_{r1}^3 + 385999f_{r1}^2 - 616644f_{r1} + 328419 \quad (3)$$

$$\varepsilon_{r2} = -89.076f_{r2}^3 + 619.04f_{r2}^2 - 1439.9f_{r2} + 1123.7 \quad (4)$$

Dimana ε_{r1} dan ε_{r2} adalah permitivitas dari proses perhitungan berdasarkan f_{r1} dan f_{r2} yang merepresentasikan frekuensi resonansi dari sensor yang diusulkan. Permitivitas dari sampel dapat ditentukan berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4). Keseluruhan dari permitivitas hasil pengukuran berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4) ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Error dan akurasi dari pengukuran permitivitas berdasarkan f_{r1}

Permittivitas referensi	Permittivitas dari pengukuran	Error	Akurasi
1	0.97837581	2.2%	97.84%
2.2	2.29956096	4.5%	95.47%
3.65	3.43261052	6.0%	94.04%
4.3	4.49588651	4.6%	95.44%
6.15	6.09419075	0.9%	99.09%

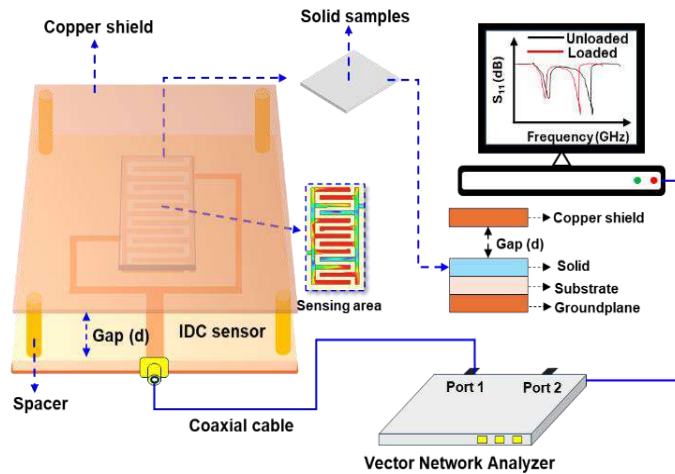
Tabel 3. Error dan akurasi dari pengukuran permitivitas berdasarkan f_{r2}

Permittivitas referensi	Permittivitas dari pengukuran	Error	Akurasi
1	0.974196661	2.58%	97.42%
2.2	2.274066886	3.37%	96.63%
3.65	3.481899118	4.61%	95.39%
4.3	4.478552934	4.15%	95.85%
6.15	6.091287822	0.95%	99.05%

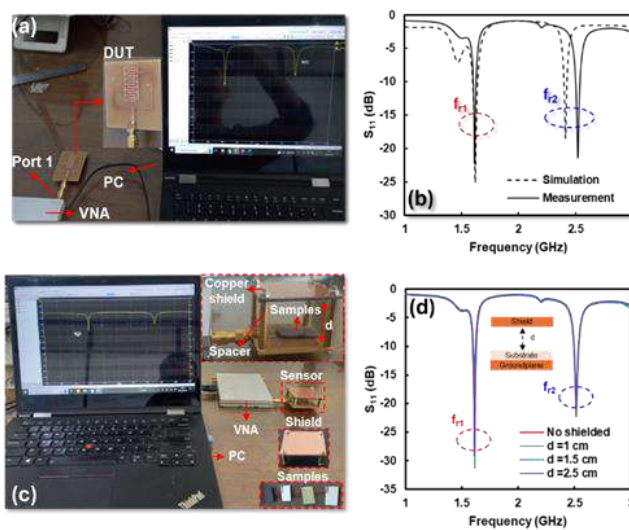
Tabel 2 dan **Tabel 3** menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan memiliki performansi baik dengan akurasi tinggi dan error yang rendah. Dari hasil perhitungan, error dan akurasi rata-rata adalah 3.6 % dan 96.4 % untuk f_{r1} dan f_{r2} dengan rentang permitivitas sampel dari 1 – 6.15. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil mengkarakterisasi sampel material padat dengan akurasi tinggi untuk kedua frekuensi resonansi, masing-masing.

E. Pengujian Stabilitas Sensor berbasis *interdigital capacitor* (IDC) untuk deteksi material padat

Tahap selanjutnya adalah melakukan validasi kinerja sensor yang diusulkan untuk mengkarakterisasi material padat. Pada penelitian ini, sampel yang digunakan adalah material padat yang telah diketahui permitivitasnya berdasarkan datasheet dengan rentang 1 - 6,15. Material padat yang digunakan sebagai sampel antara lain RO5880 dengan permitivitas 2,2, RO4003C dengan permitivitas 3,65, FR4 dengan permitivitas 4,3 dan RO3006 dengan permitivitas 6,15. Dimensi sampel yang digunakan disesuaikan dengan letak area penginderaan sensor yang diusulkan, yaitu 12,7 mm x 25 mm dengan ketebalan sampel 1,6 mm. Skenario pengukuran dan penempatan sampel padat pada sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 9**. Pada penelitian ini, sampel padat dengan dimensi 10,7 mm x 23 mm x 1,6 mm diletakkan pada permukaan area penginderaan yang dilindungi oleh pelindung tembaga berbentuk persegi panjang dengan dimensi 50 x 50 mm x 1,58 mm. Pelindung tembaga tersebut diletakkan menggunakan spacer kuning yang diletakkan pada jarak tertentu yang direpresentasikan dengan d . Perlu diperhatikan bahwa pelindung tembaga diusulkan sebagai pengganggu dan juga memfokuskan medan listrik sehingga terkonsentrasi penuh pada sampel. Proses pengukuran sensor dilakukan di laboratorium menggunakan alat ukur VNA yang dihubungkan ke sensor menggunakan kabel koaksial melalui *port 1* sedangkan pembacaan hasil pengukuran dilakukan menggunakan PC yang dihubungkan ke VNA melalui kabel USB. Proses pengukuran dilakukan di ruangan tertutup dengan suhu lingkungan 25 °C seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10 (a)**. Berikut ini perbandingan hasil simulasi dan pengukuran sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 10 (b)**. Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan pada **Gambar 10 (b)**, f_{r1} bergeser dari 1,62 GHz ke 1,61 GHz sementara f_{r2} bergeser dari 2,42 GHz ke 2,52 GHz. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan memiliki kinerja yang identik antara simulasi dan pengukuran dengan tingkat kesalahan masing-masing 0,6% dan 4,1% untuk f_{r1} dan f_{r2} .

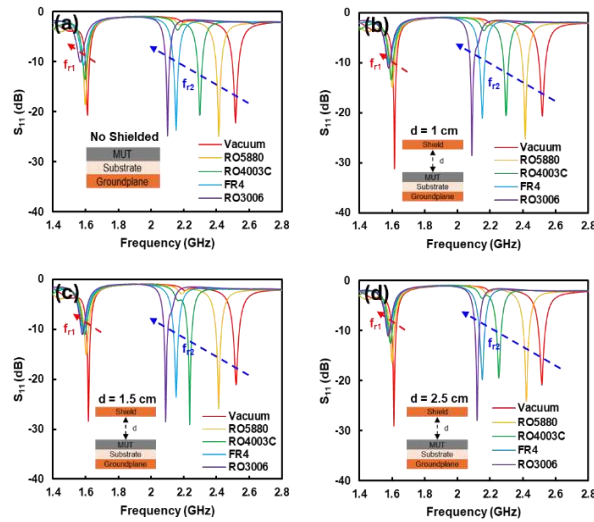


Gambar 9. Skenario penempatan sampel padat pada sensor yang diusulkan dengan pelindung tembaga.



Gambar 10. Hasil pengukuran sensor yang diusulkan; (a) konfigurasi pengukuran, (b) perbandingan simulasi dan pengukuran, (c) konfigurasi pengukuran sensor yang diusulkan dengan pelindung tembaga, (d) hasil pengukuran sensor yang diusulkan dengan dan tanpa pelindung.

Selain itu, pengaturan pengukuran sensor dengan pelindung tembaga dengan jarak $d = 1 - 2,5$ cm ditunjukkan pada **Gambar 10 (c)**. Berdasarkan hasil pengukuran, frekuensi resonansi fr_1 dan fr_2 tetap dan tidak terpengaruh oleh pelindung tembaga yang ditempatkan tepat di atas sensor yang diusulkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10 (d)**. Pada penelitian ini, gangguan berupa perisai tembaga berbentuk persegi panjang diletakkan di atas sensor dengan rentang jarak $d = 1 - 2,5$ cm. Kinerja sensor diamati berdasarkan pergeseran frekuensi resonansi berdasarkan permitivitas sampel dielektrik yang diletakkan di daerah penginderaan. Selanjutnya, keempat sampel material padat diletakkan tepat di atas permukaan daerah penginderaan dimana kondisi sensor tanpa sampel (vakum) dengan ϵ_r sebesar 1 digunakan sebagai acuan.

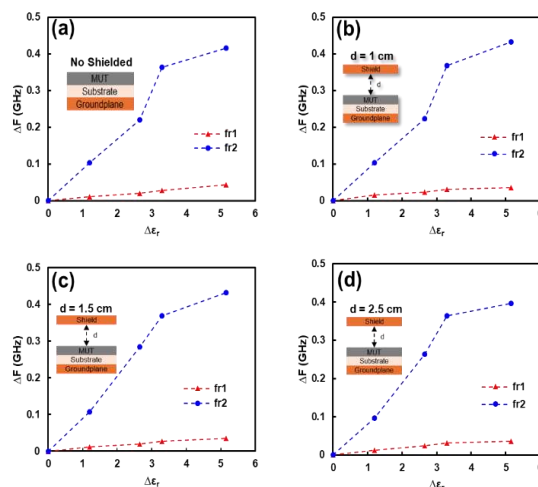


Gambar 11. Pergeseran frekuensi resonansi sensor yang diusulkan; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm

Selain itu, pengaruh gangguan juga diamati secara terpisah saat sensor tanpa perisai dan menggunakan perisai tembaga dengan jarak $d = 1$ cm - 2,5 cm seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11 (a)**, **Gambar 11 (b)**, **Gambar 11 (c)** dan **Gambar 11 (d)**. Selanjutnya, pergeseran frekuensi sensor (ΔF), sensitivitas ternormalisasi dan resolusi deteksi frekuensi (FDR) yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut[27] [28]:

$$FDR = \frac{\Delta F}{\Delta \epsilon_r} \text{ GHz} \quad (3)$$

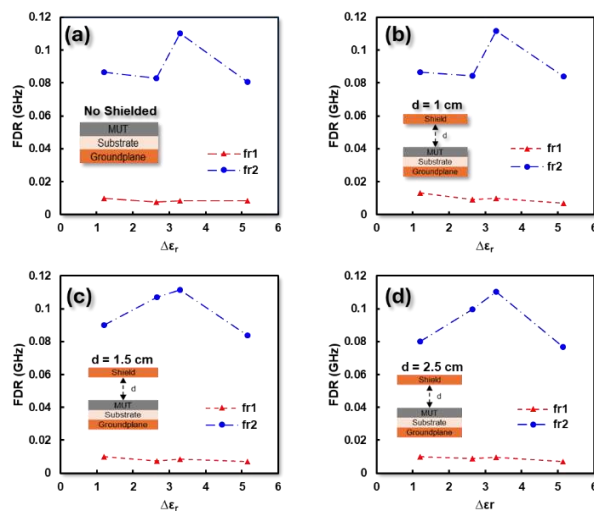
di mana ΔF merupakan rentang pergeseran frekuensi, unloaded merupakan frekuensi resonansi saat sensor berada dalam kondisi vakum sedangkan loaded merupakan frekuensi sensor saat sampel dimuat, NS merupakan sensitivitas ternormalisasi dan $\Delta \epsilon_r$ merupakan selisih antara permitivitas sampel referensi dan permitivitas sampel yang dimuat ke sensor.



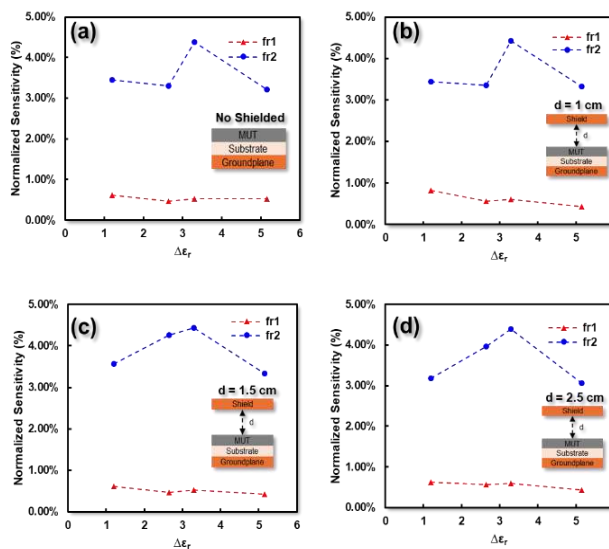
Gambar 12. ΔF sensor yang diusulkan; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm

Lebih lanjut, korelasi antara frekuensi resonansi dan perubahan permitivitas keempat sampel dielektrik untuk kondisi terlindung ditunjukkan pada **Gambar 11 (a)** di mana f_{r1} bergeser dari 1,62 GHz ke 1,56 GHz sedangkan untuk f_{r2} bergeser dari 2,52 GHz ke 2,1 GHz untuk rentang permitivitas 1 - 6,15. Lebih jauh, kinerja sensor dengan pelindung tembaga untuk $d = 1$ cm dan $d = 1,5$ cm ditunjukkan pada **Gambar 11 (b)** dan **Gambar 11 (c)** di mana f_{r1} bergeser dari 1,61 GHz ke 1,58 GHz sementara untuk f_{r2} dari 2,52 GHz ke 2,02 GHz. Sejalan dengan sebelumnya, f_{r1} bergeser dari 1,61 GHz ke 1,58 GHz dan f_{r2} dari 2,52 ke 2,12 GHz untuk $d = 2,5$ cm seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11 (d)**. Pergeseran frekuensi resonansi sensor direpresentasikan sebagai ΔF yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan (1). Lebih jauh, ΔF dari sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 12(a)**, **Gambar 12(b)**, **Gambar 12(c)** dan **Gambar 12(d)**.

Dari hasil pengukuran, ΔF maksimum sensor yang diusulkan memiliki kinerja yang stabil di mana untuk f_{r1} adalah 0,03 GHz dan f_{r2} adalah 0,4 GHz untuk kondisi dengan atau tanpa pelindung tembaga. Selain itu, temuan yang sama untuk FDR dari sensor yang diusulkan yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3) di mana untuk FDR maksimum untuk f_{r1} adalah 0,009 GHz / $\Delta\epsilon_r$ sedangkan untuk f_{r2} adalah 0,11 GHz / $\Delta\epsilon_r$ untuk kedua kondisi dengan atau tanpa pelindung seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 13(a)**, **Gambar 13(b)**, **Gambar 13(c)** dan **Gambar 13(d)**. Temuan ini menunjukkan bahwa kinerja sensor yang diusulkan tidak terpengaruh secara signifikan oleh penambahan gangguan dalam bentuk pelindung tembaga. ΔF dan FDR dari sensor yang diusulkan relatif stabil untuk mendeteksi permitivitas sampel dielektrik dengan rentang permitivitas 1 - 6,15.

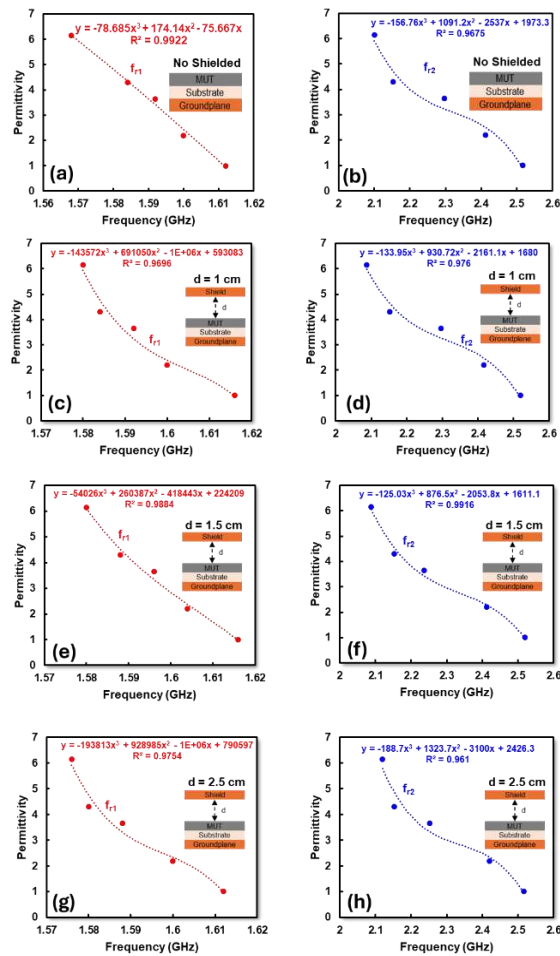


Gambar 13. Resolusi deteksi frekuensi sensor yang diusulkan; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm



Gambar 14. Sensitivitas ternormalisasi dari sensor yang diusulkan; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm

Sensitivitas ternormalisasi (NS) dari sensor yang diusulkan dapat ditentukan berdasarkan Persamaan (2). Lebih lanjut, NS dari sensor yang diusulkan untuk kondisi dengan atau tanpa pelindung tembaga ditunjukkan pada **Gambar 14 (a)**, **Gambar 14 (b)**, **Gambar 14 (c)** dan **Gambar 14 (d)**. Berdasarkan hasil pengukuran, NS untuk sensor dengan kondisi tanpa pelindung tembaga berada pada kisaran 0,53% - 0,62% untuk f_{r1} sedangkan untuk f_{r2} berada pada kisaran 3,21% - 4,38% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 14 (a)**. Lebih lanjut, NS untuk kondisi sensor dengan pelindung tembaga untuk $d = 1$ cm berada pada kisaran 0,43% - 0,83 untuk f_{r1} dan f_{r2} pada kisaran 3,33 - 4,43% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 14 (b)**. Selain itu, NS untuk sensor dengan kondisi pelindung tembaga untuk $d = 1,5$ cm berada pada kisaran 0,43% - 0,62% untuk f_{r1} sedangkan untuk f_{r2} berada pada kisaran 3,33% - 4,43% seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 14 (c)**. Akhirnya, NS untuk sensor dengan pelindung tembaga untuk $d = 2,5$ cm disajikan oleh **Gambar 14 (d)** di mana f_{r1} berada pada kisaran 0,43% - 0,62% sedangkan untuk f_{r2} berada pada kisaran 3,06% - 4,38%.



Gambar 15. Persamaan polinomial berdasarkan frekuensi resonansi dan permitivitas; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm

Temuan ini menunjukkan bahwa NS sensor dengan dan tanpa perisai tembaga stabil karena medan listrik lebih terkonsentrasi di daerah penginderaan sensor yang diusulkan. Temuan ini juga sejalan dengan simulasi di mana konsentrasi medan listrik dari sensor berbasis IDC lebih dominan dibandingkan dengan medan magnet sehingga medan listrik dari sensor difokuskan di daerah penginderaan sensor. Selain itu, NS sensor tanpa dan dengan shield tembaga untuk rentang $d = 1$ cm - 2,5 cm memiliki kinerja yang stabil pada kisaran 0,4% - 0,8% dan 3% - 4% untuk f_{r1} dan f_{r2} , masing-masing. Temuan ini juga menunjukkan bahwa penambahan shield tembaga dengan rentang $d = 1$ cm - 2,5 cm sebagai gangguan tidak berpengaruh signifikan terhadap kinerja sensor yang diusulkan dan dapat digunakan untuk membatasi medan listrik sensor yang diusulkan di daerah penginderaan tertentu.

Lebih jauh lagi, korelasi antara frekuensi resonansi dan permitivitas dapat diturunkan menjadi persamaan polinomial orde ketiga yang dapat digunakan untuk menentukan permitivitas bahan padat [29]–[31] seperti yang

ditunjukkan pada **Gambar 15 (a)**, **Gambar 15(b)**, **Gambar 15(c)**, **Gambar 15(d)**, **Gambar 15(e)**, **Gambar 15(f)**, **Gambar 15(g)** dan **Gambar 15(h)**. Berdasarkan korelasi antara frekuensi resonansi dan permitivitas dari hasil pengukuran, permitivitas sampel dielektrik untuk kondisi tanpa pelindung tembaga dapat ditentukan berdasarkan persamaan polinomial orde tiga sebagai berikut:

$$\varepsilon_{r1} = a_1 f_{r1}^3 + a_2 f_{r1}^2 - a_3 f_{r1} + a_4 \quad (4)$$

$$\varepsilon_{r2} = b_1 f_{r2}^3 + b_2 f_{r2}^2 - b_3 f_{r2} + b_4 \quad (5)$$

di mana ε_{r1} adalah permitivitas sampel berdasarkan f_{r1} dan ε_{r2} adalah permitivitas berdasarkan f_{r2} . Selanjutnya, berdasarkan persamaan polinomial orde ketiga, nilai $a_1 = -78,685$, $a_2 = 174,14$, $a_3 = 75667$, $a_4 = 0$, $b_1 = -156,76$, $b_2 = 1091,2$, $b_3 = 2537$ dan $b_4 = 1973,3$ diperoleh untuk kondisi tanpa pelindung tembaga seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 15 (a)** dan **Gambar 15 (b)**. Berikutnya untuk $d = 1$ cm diperoleh nilai-nilai $a_1 = -143572$, $a_2 = 691050$, $a_3 = 1E + 06$, $a_4 = 593083$, $b_1 = -133,95$, $b_2 = 930,72$, $b_3 = 2161,1$ dan $b_4 = 1680$ sedangkan untuk $d = 1,5$ cm diperoleh nilai-nilai $a_1 = -54026$, $a_2 = 260387$, $a_3 = 418443$, $a_4 = 224209$, $b_1 = -125,03$, $b_2 = 876,5$, $b_3 = 2053,8$ dan $b_4 = 1611,1$ seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 15 (c)**, **Gambar 15 (d)**, **Gambar 15 (e)** dan **Gambar 15 (f)**. Akhirnya, untuk kondisi $d = 2,5$ cm, nilai-nilai diperoleh dari $a_1 = -19381$, $a_2 = 928985$, $a_3 = -1E+06$, $a_4 = 790597$, $b_1 = -188,7$, $b_2 = 1323,7$, $b_3 = -3100$, dan $b_4 = 2426,3$ seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 15 (g)** dan **Gambar 15 (h)**. Secara keseluruhan, permitivitas berdasarkan perhitungan untuk f_{r1} dan f_{r2} ditunjukkan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

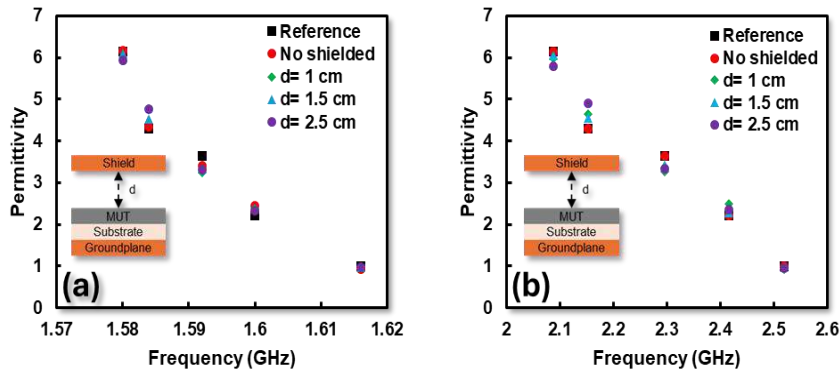
Tabel 4. Error dan akurasi dari pengukuran permitivitas berdasarkan f_{r1}

ε_r reference	No shielded		Shielded cooper					
			$d = 1$ cm		$d = 1.5$ cm		$d = 2.5$ cm	
	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)
1	0.94	93.54	0.98	98.25	0.97	97.36	0.97	97.20
2.2	2.44	89.21	2.39	91.51	2.37	92.13	2.33	93.92
3.65	3.41	93.32	3.23	88.61	3.34	91.46	3.32	90.84
4.3	4.35	98.86	4.77	89.14	4.52	94.82	4.75	89.50
6.15	6.16	99.86	5.93	96.39	6.09	99.06	5.93	96.37

Tabel 5. Error dan akurasi dari pengukuran permitivitas berdasarkan f_{r1}

ε_r reference	No shielded		Shielded cooper					
			$d = 1$ cm		$d = 1.5$ cm		$d = 2.5$ cm	
	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)	ε_r calc.	Acc. (%)
1	0.91	91.39	0.92	91.73	0.97	97.26	0.95	94.94
2.2	2.51	86.00	2.48	87.11	2.28	96.21	2.34	93.52
3.65	3.23	88.58	3.27	89.57	3.44	94.11	3.33	91.35
4.3	4.72	90.12	4.64	92.04	4.56	93.96	4.89	86.24
6.15	5.92	96.31	5.99	97.36	6.05	98.36	5.78	94.01

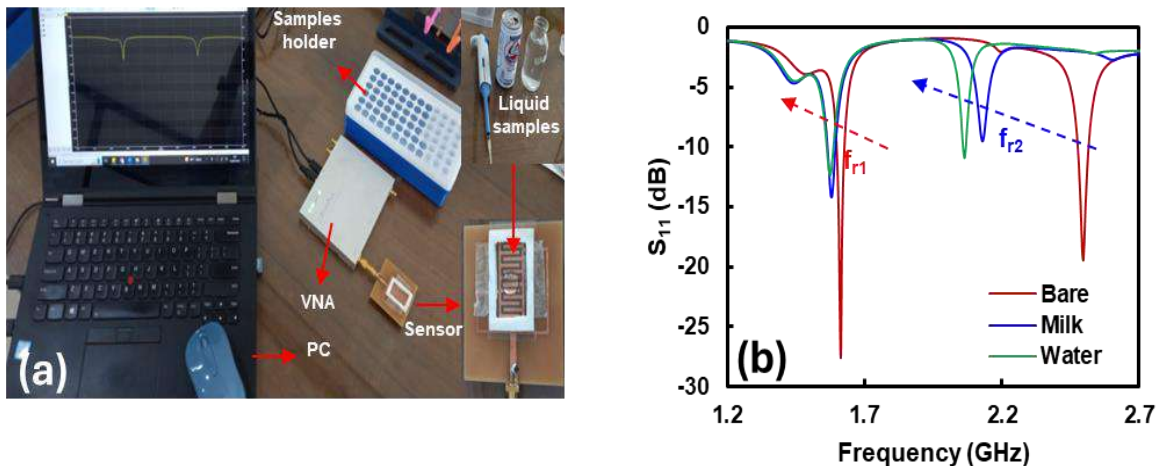
Berdasarkan **Tabel 4** dan **Tabel 5**, sensor yang diusulkan memiliki akurasi rata-rata yang baik dimana untuk kondisi tanpa pelindung tembaga berada pada 94,96% dan 90,48% untuk f_{r1} dan f_{r2} , berturut-turut. Selanjutnya, akurasi rata-rata untuk f_{r1} dan f_{r2} untuk sensor dengan pelindung tembaga adalah 92,78% dan 91,72% untuk $d = 1$ cm dan untuk $d = 1,5$ cm akurasi rata-rata adalah 94,97% dan 95,98% sedangkan untuk $d = 2,5$ cm, akurasi rata-rata masing-masing adalah 93,57% dan 92,01%. Temuan ini menunjukkan bahwa akurasi rata-rata terbaik diperoleh pada saat $d = 1,5$ cm. Selain itu, sensor memiliki akurasi rata-rata yang konsisten untuk kondisi dengan dan tanpa pelindung. Selain itu, sensor memiliki akurasi rata-rata yang konsisten untuk kondisi dengan dan tanpa pelindung dibandingkan dengan permitivitas referensi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 16 (a)** dan **Gambar 16 (b)**. Temuan ini juga menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan memiliki kinerja tinggi dan tidak terpengaruh secara signifikan oleh gangguan yang ditempatkan langsung di atas sensor dengan rentang $d = 1$ cm – 2,5 cm.



Gambar 16. Akurasi sensor yang diusulkan; (a) tanpa pelindung, (b) dengan pelindung tembaga $d = 1$ cm, (c) dengan pelindung tembaga $d = 1,5$ cm, (d) dengan pelindung tembaga $d = 2,5$ cm

F. Pengujian dan analisis dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi material cairan

Tahapan selanjutnya adalah melakukan uji performansi dari sensor yang diusulkan untuk mengkaraktarisasi sampel cairan. Pada pekerjaan ini sampel cairan yang digunakan adalah air terdestilasi dan susu segar. Sampel cairan diletakkan pada kontainer yang ditempatkan diatas permukaan sensing area dan dilapis oleh bahan polythlene dengan ketebalan $0.5 \mu\text{m}$. Tujuan pelapisan ini untuk mencegah terjadi korosi dari permukaan sensor yang terkena sampel cairan. Volume sampel cairan adalah 0.3 ml dan disesuaikan dengan kontainer yang digunakan yaitu $12.7 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$. Sampel diletakkan pada kontainer menggunakan *micropipette* dan ditempatkan tepat diatas permukaan IDC sebagai sensing area dari sensor yang diusulkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 17 (a)**. Proses pengukuran dilakukan di laboratorium dengan temperatur ambien 25 menggunakan alat ukur VNA yang dikoneksikan dengan sensor menggunakan konektor RP-SMA dan dimonitor menggunakan PC yang terkoneksi menggunakan kabel USB.

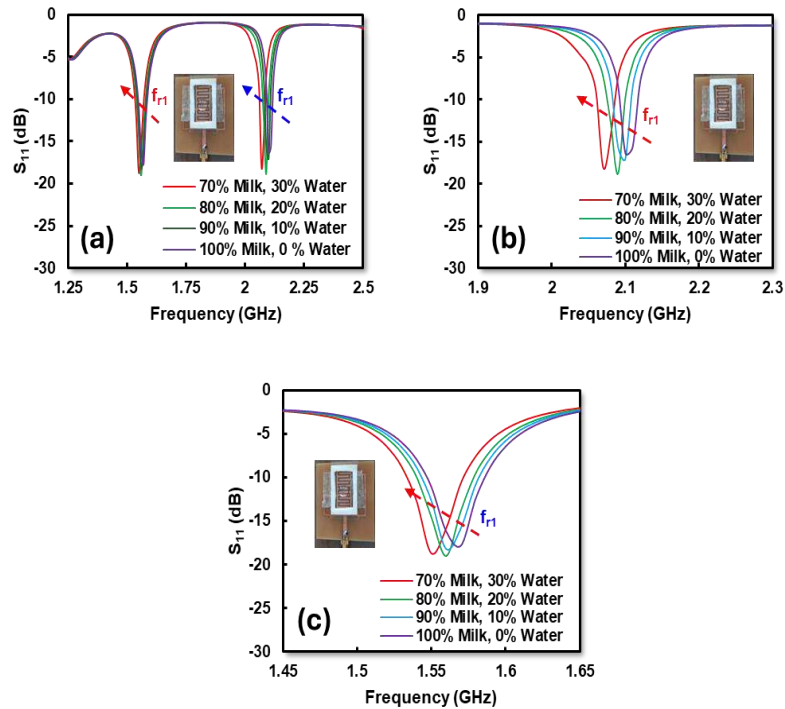


Gambar 17. Proses pengukuran dari sensor yang diusulkan untuk deteksi permitivitas material cairan; (a) pengaturan pengukuran untuk deteksi permitivitas material cairan, (b) perubahan frekuensi resonansi terhadap material cairan air terdestilasi dan susu.

Hasil karakterisasi dari sampel cairan ditunjukkan pada **Gambar 17 (b)** dimana f_{r1} dan f_{r2} bergeser ke frekuensi rendah untuk sampel cairan air terdestilasi dan susu segar. Dari hasil pengukuran, f_{r1} dari 1.61 GHz ke 1.58 GHz dan 1.57 GHz sedangkan f_{r2} bergeser dari 2.49 menjadi 2.13 GHz dan 2.06 GHz untuk sampel air terdestilasi dan susu segar, masing-masing. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil mengkaraktarisasi dan merasakan perbedaan untuk sampel air terdestilasi dan susu segar yang di bebaskan pada sensing area. Selain itu, Berdasarkan *datasheet*, permitivitas dari air terdestilasi adalah $\epsilon_r = 80$ sedangkan untuk susu segar adalah $\epsilon_r = 70$. Hal ini yang menyebabkan pergeseran frekuensi untuk air terdestilasi lebih jauh dari dibandingkan dengan susu segar. Tahapan selanjutnya adalah melakukan karakterisasi terhadap sampel campuran antara air terdestilasi dan susu segar dengan takaran kadar campuran 100% susu dan 0% air, 90% susu dan 10% air, 80% susu dan 20% air, 70% susu dan 30% air.

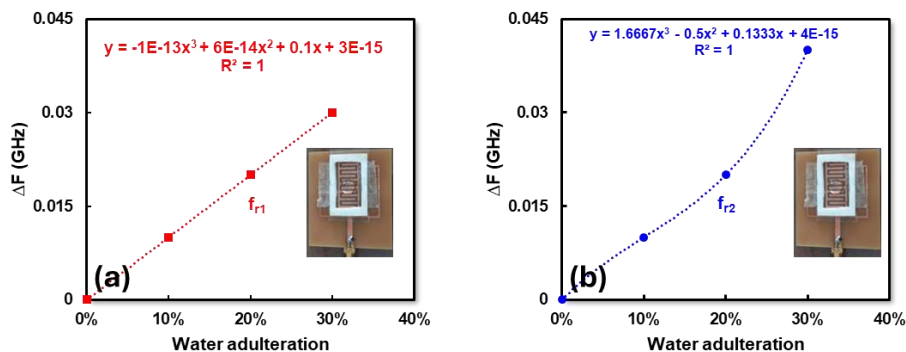
G. Pengujian dan analisis dari sensor yang diusulkan untuk karakterisasi adulterasi susu

Pada penelitian ini, adulterasi susu diskenariokan dengan menambahkan air terdestilasi pada susu murni sebagai campuran dengan perbandingan sampel 100% susu dan 0% air, 90% susu dan 10% air, 80% susu dan 20% air, 70% susu dan 30% air. Volume sampel yang digunakan disesuaikan dengan wadah kontainer yang ditempatkan pada sensor yaitu 0.3 ml. Hasil deteksi dari adulterasi susu yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 18 (a)**, **Gambar 18 (b)** dan **Gambar 18 (c)**.



Gambar 18. (a) Respons frekuensi resonansi terhadap sampel susu yang terkontaminasi, (b) respon f_{r1} terhadap perubahan konsentrasi dari cairan susu, (c) respon f_{r2} terhadap perubahan konsentrasi cairan susu

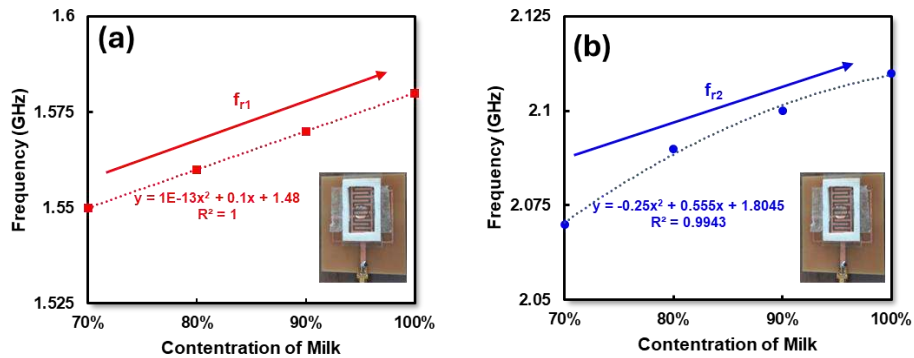
Respons dari f_{r1} dan f_{r2} terhadap konsentrasi dari susu dan air ditunjukkan pada **Gambar 18 (a)** dimana kedua frekuensi resonansi dari sensor bergeser ke frekuensi rendah seiring dengan peningkatan kadar air pada rentang 0 – 30%. Selanjutnya, **Gambar 18 (b)** menunjukkan bahwa f_{r1} bergeser dari 2.11 GHz ke 2.07 GHz sedangkan **Gambar 18 (c)** menunjukkan bahwa f_{r2} bergeser 1.58 GHz ke 1.55 GHz untuk rentang konsentrasi air 0 – 30%. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil mendeteksi perbedaan konsentrasi air dan susu pada cairan yang ditempatkan di area deteksi dari sensor.



Gambar 18. ΔF untuk sensor yang diusulkan berdasarkan adulterasi air 0 – 30%; (a) ΔF untuk f_{r1} , (b) ΔF untuk f_{r2}

Selanjutnya, performansi ΔF untuk sensor yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 18 (a)** dan **Gambar 18 (b)** dimana untuk f_{r1} memiliki ΔF sebesar 0.03 GHz sedangkan untuk f_{r2} sebesar 0.04 GHz untuk rentang adulterasi air pada susu 0 – 30%. Hasil ini menunjukkan bahwa ΔF untuk f_{r1} dan f_{r2} menghasilkan performansi

yang stabil dan relatif sama untuk mendeteksi adulterasi air pada susu dengan rentang 0 – 30%. Konsentrasi dari susu dan air dapat ditentukan dengan persamaan polinomial orde ketiga dengan mengkorelasikan frekuensi resonansi dan konsentrasi dari susu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 19 (a)** dan **Gambar 19 (b)**.



Gambar 19. Persamaan polinomial untuk deteksi adulterasi berdasarkan konsentrasi dari susu; (a) f_{r1} , (b) f_{r2}

Berdasarkan hasil pengukuran, frekuensi resonansi untuk konsentrasi dari susu yang teradulterasi dengan air dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_{r1} = 1E - 13x^2 + 0.1x + 1.48 \quad (6)$$

$$f_{r2} = -0.25x^2 - 0.555x + 1.8045 \quad (7)$$

Dimana f_{r1} dan f_{r2} adalah frekuensi resonansi ke-1 dan ke-2 untuk sensor yang diusulkan sedangkan x adalah konsentrasi dari susu yang teradulterasi. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil mendeteksi adulterasi dari susu yang dikontaminasi dengan air pada rentang 0 – 30% dengan ΔF sebesar 0.03 – 0.04 GHz. Selain itu, konsentrasi dari susu dapat ditentukan berdasarkan polinomial orde ketiga yang didapatkan dari hasil pengukuran.

H. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Ketahanan pangan merupakan hal yang sangat penting dan menjadi permasalahan yang serius bagi bangsa Indonesia. Salah satu jenis pangan yang paling penting adalah susu. Konsumsi susu secara teratur dapat meningkatkan kesehatan tulang dan gigi, pencegahan osteoporosis pada usia lanjut, serta pengurangan risiko penyakit kronis seperti penyakit jantung, diabetes tipe 2, dan obesitas (1). Deteksi kualitas susu membantu untuk memastikan manfaat nutrisi yang optimal dari produk susu yang mereka konsumsi. Selain itu, adulterasi susu dan keberadaan bakteri patogen dalam susu seperti salmonella, estheria colli, Staphylococcus aureus dan Listeria monocytogenes dapat mengancam kualitas, keamanan, dan kesehatan konsumen. Deteksi kualitas susu umumnya dilakukan menggunakan detektor berbasis sensor dengan mengamati beberapa parameter antara lain perubahan konduktivitas, suhu, temperatur dan pH dari susu. Beberapa teknologi deteksi telah dipaparkan pada penelitian sebelumnya untuk mendeteksi kualitas dari susu antara lain nuclead based dan biosensor (3). Namun, pengembangan sensor dengan nuclead based amplification dan biosensor yang telah dipaparkan sebelumnya membutuhkan biaya tinggi dan tidak kapabel untuk deteksi secara non kontak dan tidak mendukung proses pengukuran secara real-time yang bisa diakses menggunakan jaringan internet (4)(5). Berdasarkan kajian literatur dari penelitian sebelumnya, deteksi komposisi dan adulterasi susu menggunakan biosensor dan nuclead based amplification yang memiliki keunggulan dari sensitivitas dan akurasi tinggi namun memiliki biaya pabrikan dan pengembangan yang mahal dan kompleks dan tidak dapat diintegrasikan dengan jaringan internet(6)(7). Pendekatan pemecahan masalah dalam penelitian ini adalah merancang dan memodelkan sensor berbasis antena mikrostrip untuk deteksi komposisi dan adulterasi pada susu segar. Selain itu, sensor antena memiliki keunggulan dapat difungsikan secara simultan sebagai sensor dan antena untuk transfer data hasil pengukuran sehingga dapat diintegrasikan dengan internet untuk mendukung pengukuran secara real-time. Sensor untuk deteksi komposisi dan adulterasi susu ditentukan berdasarkan interaksi antara antena dengan komposisi dari material uji (susu). Penempatan sampel ditentukan berdasarkan konsentrasi medan listrik dan medan magnet tertinggi pada permukaan resonator yang difungsikan sebagai sensor. Sensor antena diusulkan untuk beroperasi pada dua frekuensi resonansi berbeda dimana kedua frekuensi nya saling independent sehingga dapat difungsikan sebagai sensor dan antena secara simultan.

Sensor gelombang mikro memiliki keunggulan desain yang kompak, biaya produksi yang rendah, dan fabrikasi yang mudah (10)(11). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengusulkan sensor gelombang mikro dengan sensitivitas dan akurasi tinggi menggunakan SRR (12)(13), CSRR(14), IDC (15), SIW(16) dan mikrostrip (17). Umumnya sensor gelombang mikro digunakan untuk mendeteksi permitivitas (18)(19) dengan menempatkan material yang diuji pada permukaan sensing area. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengusulkan sensor gelombang mikro untuk mengkarakterisasi bahan padat dan cair menggunakan CSRR (20), (SRR) (21) dan ELC resonator(22). Namun struktur sensor sebelumnya masih menggunakan konfigurasi dua port sehingga memiliki kelemahan hanya untuk deteksi kontak dan tidak dapat diintegrasikan dengan antena untuk dihubungkan langsung ke perangkat nirkabel. Hal ini menyebabkan permukaan sensor berpotensi rusak akibat oksidasi dan korosi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, deteksi non-kontak diusulkan sebagai solusi agar sensor lebih tahan lama, akurat, dan steril.

Tabel 4. Posisi kebaruan penelitian

Ref/Tahun	Metode	Freq (GHz)	Material	Jumlah Port	Integrasi dengan antena	Deteksi	
						Kontak	Non-kontak
(23)	CSRRs	5.35	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(24)	CBS-SRR	7.99	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(25)	SRR	4.50	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(26)	Magnetic LC	6.79	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(27)	Microstrip Line Ring Resonator	1.24	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(28)	SSRR with spur lines	2.08	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(29)	CSRR	1.62	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(30)	SRR	2.10	Padat	2	Tidak	Ya	Tidak
(31)	CSRR	2.48	Cairan	1	Tidak	Ya	Tidak
Penelitian yang diusulkan	Antenna sensor	1 – 3 GHz	Padat Cairan	1	Ya	Ya	Ya

Berdasarkan **Tabel 2**, *state of the art* dan kebaruan dari penelitian ini adalah menghasilkan sensor antena yang dapat diintegrasikan dengan antena yang dapat mengkarakterisasi material padat dan cairan secara kontak dan non-kontak serta dapat digunakan untuk transfer data hasil pengukuran secara *real-time*.

I. Indikator Ketercapaian Penelitian

Evaluasi persentase capaian luaran berdasarkan parameter dari kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 5** dibawah ini:

Tabel 5. Ketercapaian penelitian berdasarkan target parameter

No	Parameter	Target Spesifikasi	Ketercapaian
1.	Frekuensi resonansi	1 – 3 GHz	1.61 GHz 2.52 GHz
2.	Jumlah port masukan	1	1
3.	Koefisien refleksi	≤ -10 dB	≤ -10 dB
4.	Impedansi	50 Ohm	50 Ohm
5.	Sensitivitas	$\leq 0.3\%$	0.42 – 0.62 % 3.57 – 4.62%
6.	Akurasi	$\geq 90\%$	96.4 %
7.	Jenis sampel	Solid Liquid	Solid Liquid

Selanjutnya, Evaluasi capaian penelitian berdasarkan luaran dari kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 5** dibawah ini:

Tabel 6. Ketercapaian penelitian berdasarkan luaran wajib dan tambahan

Jenis Luaran	Target	Ketercapaian	Status Luaran
Wajib	<i>Accepted</i>	Publikasi pada jurnal internasional bereputasi (IEEE Access, Q1 , IF:3.4)	<u><i>Under review</i></u>
Tambahan	<i>Accepted</i>	Publikasi pada jurnal nasional terakreditasi SINTA 2 (Jurnal Rekayasa Elektrika, e-ISSN : 2252-620X)	<u><i>Under review</i></u>
Tambahan	HKI	Poster penelitian dengan judul “Detektor Kualitas Susu Segar Berbasis Sensor Gelombang Mikro dengan Interdigital Kapasitor”	<u>Tercatat</u>

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran melalui BIMA.

Luaran wajib yang telah dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Publikasi pada jurnal internasional dengan judul “*High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline*” yang sudah disubmit ke Jurnal Internasional bereputasi dengan faktor dampak (IEEE Access, Q2 , IF:3.4) → Status *Under Review*

Luaran tambahan yang dicapai dari penelitian ini adalah

1. Publikasi pada jurnal nasional terakreditasi SINTA 2 (Jurnal Rekayasa Elektrika, e-ISSN : 2252-620X) dengan judul “*Close Quarters Permittivity Detection Based on Tagging Antenna Sensor for Solid Material Characterization*”, status luaran : *under review*.
2. Hak Cipta dari poster penelitian dengan judul “*Detektor Kualitas Susu Segar Berbasis Sensor Gelombang Mikro dengan Interdigital Kapasitor*”, status luaran : tercatat dengan No pencatatan : 000772007

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta mengunggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (Fundamental, Pascasarjana, PKDN, Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

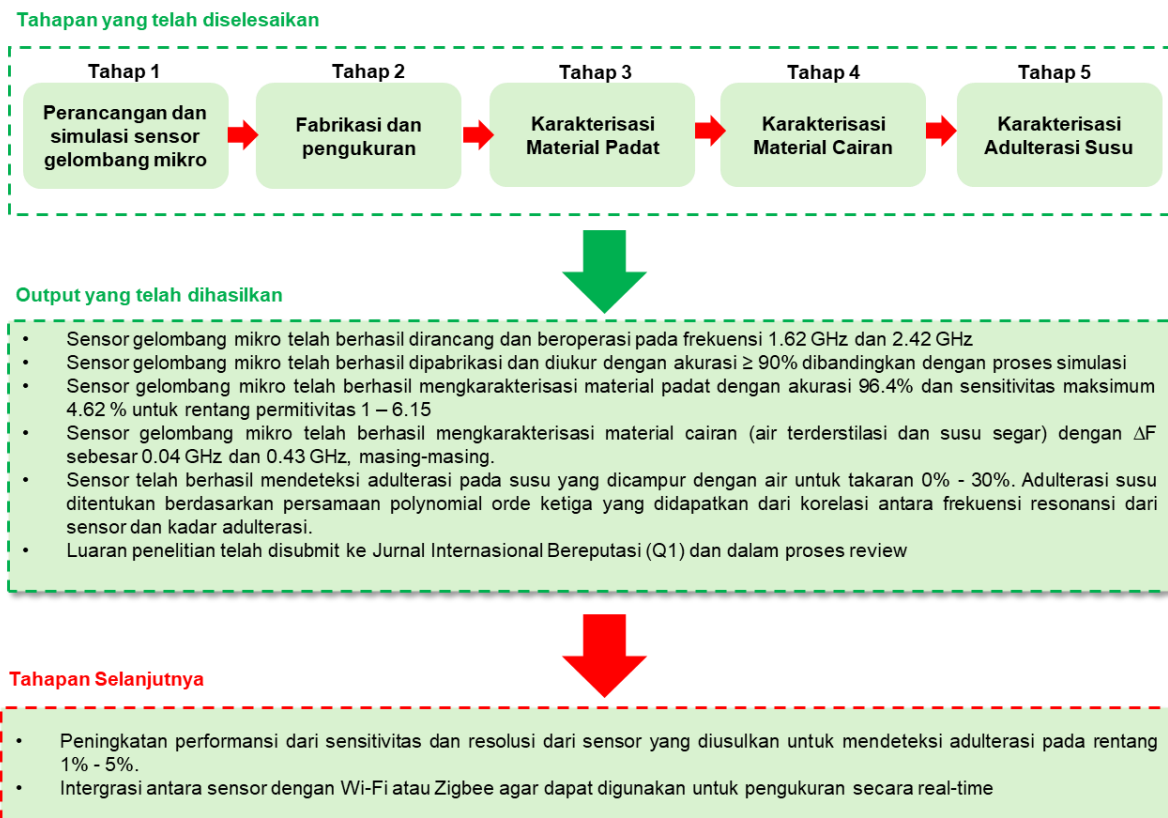
Penelitian ini melibatkan mitra dari ITB, Untirta dan IPB yang memberikan bantuan berupa saran dan fasilitas pendukung untuk proses pengujian sensor untuk deteksi adulterasi pada susu. Selain itu, mitra juga membantu dalam proses penyusunan publikasi dan luaran kegiatan penelitian.

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala dalam penelitian ini belum tersedianya alat ukur untuk memvalidasi permitivitas dari sampel cairan sehingga akurasi dari sensor belum bisa ditentukan. Diperlukan peralatan tambahan lainnya seperti probe sensor atau *commercial permittivity sensors* lainnya untuk memvalidasi performansi dari sensor yang diusulkan.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Penelitian ini telah berhasil merancang dan merealisasikan sensor gelombang mikro dengan port tunggal berbasis interdigital kapasitor yang digunakan untuk mendeteksi adulterasi pada susu segar. Sensor dirancang menggunakan bahan substrat FR-4 dengan permitivitas 4.3, tan delta 0.0265 dan ketebalan 1.6 mm. Selanjutnya, sensor beroperasi di dua frekuensi resonansi yang direpresentasikan oleh $f_{r1} = 1.62$ GHz dan $f_{r2} = 2.52$ GHz. Performansi dari sensor diuji dilaboratorium untuk mengkarakterisasi material padat dan cairan yang ditempatkan pada sensing area dari sensor yang diusulkan. Dari hasil pengukuran, sensor telah berhasil mendeteksi permitivitas dari material padat dengan akurasi $\geq 90\%$ untuk rentang permitivitas 1 – 6.15. Selain itu, sensor juga telah berhasil mendeteksi adulterasi pada susu yang dicampur dengan air dengan takaran 0% – 30% yang dapat ditentukan berdasarkan persamaan polinomial orde ketiga. Temuan ini menunjukkan bahwa sensor yang diusulkan telah berhasil dirancang dan berfungsi untuk mendeteksi adulterasi pada susu yang terkontaminasi dengan air. Adapun tahapan selanjutnya dari penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 20**.



Gambar 20. Rencana tahapan pengembangan dari penelitian yang diusulkan

Gambar 20 menunjukkan bahwa tahapan selanjutnya dari penelitian ini adalah meningkatkan sensitivitas dan resolusi dari sensor yang diusulkan untuk dapat mendeteksi adulterasi pada rentang 1% - 5%. Selain itu, sensor yang diusulkan juga dapat diintegrasikan dengan perangkat *wireless* seperti Wi-Fi dan Zigbee agar dapat mendukung pengukuran secara *real-time*.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- Kariyasa K, Suryana A. Strengthening Food Security by Reducing Wasteful Food Consumption. *Anal Kebijakan Pertan* [Internet]. 2012;10(3):269–88. Available from: <http://pse.litbang.deptan.go.id/ind/pdf/files/ART10-3e.pdf>
2. Farid M, Sukesi H. Pengembangan susu segar dalam negeri untuk pemenuhan kebutuhan susu nasional. *Bul Ilm Litbang Perdagang*. 2011;5(2):196–221.
 3. Poonia A, Jha A, Sharma R, Singh HB, Rai AK, Sharma N. Detection of adulteration in milk: A review. *Int J Dairy Technol*. 2017;70(1):23–42.
 4. Mortari A, Lorenzelli L. Recent sensing technologies for pathogen detection in milk: A review. *Biosens Bioelectron* [Internet]. 2014;60:8–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2014.03.063>
 5. Ng HY, Lee WC, Kung C Te, Li LC, Lee C Te, Fu LM. Recent advances in microfluidic devices for contamination detection and quality inspection of milk. *Micromachines*. 2021;12(5):1–20.
 6. Poghossian A, Geissler H, Schöning MJ. Rapid methods and sensors for milk quality monitoring and spoilage detection. *Biosens Bioelectron* [Internet]. 2019;140. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.04.040>
 7. Zakeri A, Saberi M, Hussain OK, Chang E. An early detection system for proactive management of raw milk quality: an australian case study. *IEEE Access*. 2018;6:64333–49.
 8. Rahman MN, Hassan SA, Samsuzzaman M, Singh MSJ, Islam MT. Determination of salinity and sugar concentration using microwave sensor. *Microw Opt Technol Lett*. 2019;61(2):361–4.
 9. Najumunnisa M, Sastry ASC, Madhav BTP, Das S, Hussain N, Ali SS, et al. A Metamaterial Inspired AMC Backed Dual Band Antenna for ISM and RFID Applications. *Sensors*. 2022;22(20).
 10. Muñoz-Enano J, Vélez P, Gil M, Martín F. Planar microwave resonant sensors: A review and recent developments. *Appl Sci*. 2020;10(7).
 11. Gulsu MS, Bagci F, Can S, Yilmaz AE, Akaoglu B. Minkowski-like fractal resonator-based dielectric sensor for estimating the complex permittivity of binary mixtures of ethanol, methanol and water. *Sensors Actuators, A Phys* [Internet]. 2021;330:112841. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424721003046>
 12. Saadat-Safa M, Nayyeri V, Khanjarian M, Soleimani M, Ramahi OM. A CSRR-Based Sensor for Full Characterization of Magneto-Dielectric Materials. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. 2019;67(2):806–14.
 13. Jha AK, Delmonte N, Lamecki A, Mrozowski M, Bozzi M. Design of Microwave-Based Angular Displacement Sensor. *IEEE Microw Wirel Components Lett*. 2019;29(4):306–8.
 14. Mosbah S, Zebiri C, Sayad D, Elfergani I, Bouknia ML, Mekki S, et al. Compact and Highly Sensitive Bended Microwave Liquid Sensor Based on a Metamaterial Complementary Split-Ring Resonator. *Appl Sci*. 2022;12(4).
 15. Yeo J, Lee JI. High-sensitivity microwave sensor based on an interdigital-capacitor-shaped defected ground structure for permittivity characterization. *Sensors (Switzerland)*. 2019;19(3).
 16. Ndoye M, Kerroum I, Deslandes D, Domingue F. Air-filled substrate integrated cavity resonator for humidity sensing. *Sensors Actuators, B Chem* [Internet]. 2017;252:951–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2017.06.101>
 17. Alam S, Zakaria Z, Surjati I, Shairi NA, Alaydrus M, Firmansyah T. Highly Independent Dual-Band Permittivity Sensors for Simultaneous Measurement of Solid Materials. In: 2023 33rd International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA). 2023. p. 1–4. → **Penelitian pendahuluan**
 18. Kiani S, Rezaei P, Fakhr M. Real-Time Measurement of Liquid Permittivity Through Label-Free Meandered Microwave Sensor. *IETE J Res* [Internet]. 2023; Available from: <https://doi.org/10.1080/03772063.2023.2231875>
 19. Bagci F, Gulsu MS, Akaoglu B. Dual-band measurement of complex permittivity in a microwave waveguide with a flexible, thin and sensitive metamaterial-based sensor. *Sensors Actuators A Phys* [Internet]. 2022;338(March):113480. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113480>

20. Rahman NA, Zakaria Z, Rahim RA, Said MAM, Bahar AAM, Alahnomi RA, et al. High quality factor using nested complementary split ring resonator for dielectric properties of solids sample. *Appl Comput Electromagn Soc J.* 2020;35(10):1222–7.
21. Liu X, Lam KH, Zhu K, Zheng C, Li X, Du Y, et al. Overview of Spintronic Sensors with Internet of Things for Smart Living. *IEEE Trans Magn.* 2019;55(11).
22. Alam S, Surjati I, Sari L, Ningsih YK, Fathanah MY, Gultom YK, et al. UHF-Band Solid Sensor Based on Tweaking Electric Field Coupled Resonator for Material Characterization. *Prog Electromagn Res M.* 2024;126(February):11–8. → **Penelitian pendahuluan**
23. Armghan A, Alanazi TM, Altaf A, Haq T. Characterization of Dielectric Substrates Using Dual Band Microwave Sensor. *IEEE Access.* 2021;9:62779–87.
24. Haq T, Ruan C, Ullah S, Kosar Fahad A. Dual notch microwave sensors based on complementary metamaterial resonators. *IEEE Access.* 2019;7:153489–98.
25. Al-Behadili AA, Mocanu IA, Codreanu N, Pantazica M. Modified split ring resonators sensor for accurate complex permittivity measurements of solid dielectrics. *Sensors (Switzerland).* 2020;20(23):1–18.
26. Ebrahimi A, Scott J, Ghorbani K. Dual-Mode Resonator for Simultaneous Permittivity and Thickness Measurement of Dielectrics. *IEEE Sens J.* 2020;20(1):185–92.
27. Lim S, Kim CY, Hong S. Simultaneous Measurement of Thickness and Permittivity by Means of the Resonant Frequency Fitting of a Microstrip Line Ring Resonator. *IEEE Microw Wirel Components Lett.* 2018;28(6):539–41.
28. Alahnomi RA, Zakaria Z, Ruslan E, Ab Rashid SR, Mohd Bahar AA. High-Q sensor based on symmetrical split ring resonator with spurlines for solids material detection. *IEEE Sens J.* 2017;17(9):2766–75.
29. Ansari MAH, Jha AK, Akhtar MJ. Design and Application of the CSRR-Based Planar Sensor for Noninvasive Measurement of Complex Permittivity. *IEEE Sens J.* 2015;15(12):7181–9.
30. Ebrahimi A, Scott J, Ghorbani K. Differential sensors using microstrip lines loaded with two split-ring resonators. *IEEE Sens J.* 2018;18(14):5786–93.
31. Ebrahimi A, Scott J, Ghorbani K. Microwave reflective biosensor for glucose level detection in aqueous solutions. *Sensors Actuators, A Phys* [Internet]. 2020;301:111662. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111662>



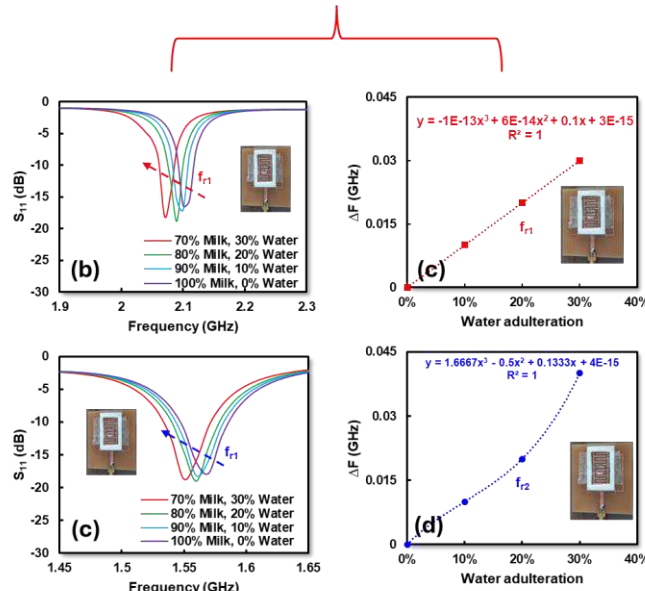
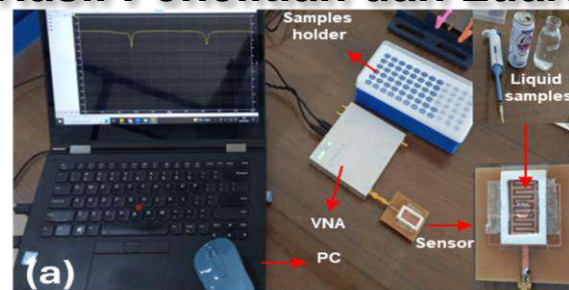
Perancangan Detektor Komposisi dan Adulterasi Susu Sapi Segar Secara Kontak dan Non-Kontak Berbasis Antena Sensor

SKEMA PENELITIAN : KOLABORASI PENELITIAN STRATEGIS (KATALIS) TAHUN ANGGARAN 2024/2025

Ringkasan Penelitian:

Penelitian ini mengusulkan sensor gelombang mikro berbasis antena untuk mendeteksi adulterasi pada susu segar. Sensor dirancang pada frekuensi resonansi 1.62 GHz dan 2.52 GHz menggunakan struktur resonator berbasis kapasitor interdigital. Adulterasi dideteksi berdasarkan pergeseran frekuensi dari sensor. Dari hasil pengukuran, sensor mampu mendeteksi adulterasi susu yang terkontaminasi dengan air untuk rentang 0 – 30 % dengan maksimal pergeseran frekuensi 0.03 – 0.04 GHz

Hasil Penelitian dan Luaran



Sensor antena untuk deteksi adulterasi susu

IEEE Access

Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.2041204

High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline

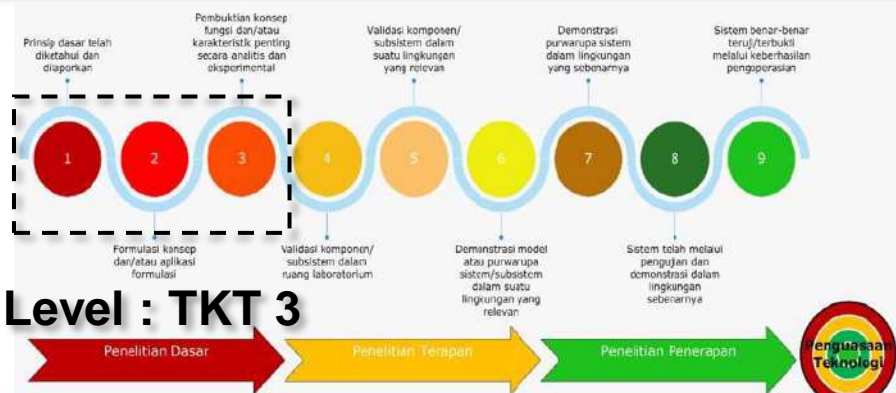
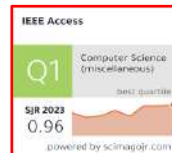
Syah Alam¹, (Member IEEE), Indra Surjati¹, (Member IEEE), Lydia Sari¹, (Member IEEE), R. Deiny Mardian¹, (Member IEEE), Teguh Firmansyah², (Member IEEE), Muhammad Iqbal³, Slamet Widodo⁴, Mudrik Alaydrus⁵, (Senior Member IEEE), Zahriadha Zakaria⁶, (Senior Member IEEE)

¹Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia
²Department of Electrical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tjakra, Cilegon, Banten 42124, Indonesia
³Advanced Functional Materials Laboratory, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia
⁴Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University, Bogor 16000, Indonesia
⁵Department of Electrical Engineering, Universitas Mercu Buana, West Jakarta, Indonesia
⁶Faculty of Electronic and Computer Technology and Engineering, Universitas Teknikal Malaysia Melaka (UTEM), Melaka

Corresponding author: Syah Alam (e-mail: syah.alam@trisakti.ac.id) / Zahriadha Zakaria (zahriadha@utem.edu.my)

ABSTRACT This paper proposes a single-port interdigital capacitor (IDC) resonator based on asymmetric branch feed line with high stability performance for permittivity detection of solid materials with a permittivity range of 1 - 6.15. The microwave sensor is designed using a single-port resonator operating at two different resonant frequencies $f_{r1} = 1.61$ GHz and $f_{r2} = 2.52$ GHz. Dual band frequency was proposed using asymmetric branch feed line. In addition, to confine the electric field concentration of the resonator, an interdigital capacitor (IDC) structure is proposed as a solution. Furthermore, a copper shield was proposed as conducting material to evaluate performance stability of the sensor from disturbance effect with range of $d = 1$ cm - 2.5 cm. Based on the measurement results, the sensor has high stability both without and with disturbance with an a Frequency Detection Resolution (FDR) of 0.009 - 0.4 GHz/Δε, a Normalized Sensitivity (NS) of 0.4% - 4.4%, and an average accuracy of 90% - 95% for both resonance frequencies, respectively. Therefore, this sensor can be recommended for several applications such as biomedical industry, pharmaceuticals and material quality control especially for outdoor measurements that are potentially affected by electromagnetic interference and disturbance.

INDEX TERMS Dual-band, high stability, interdigital capacitor, microwave sensor, single-port resonator



Tim Peneliti : Universitas Trisakti



Total Dana Penelitian : Rp. 133,530,000

Kata Kunci : adulterasi, komposisi, susu segar, sensor antena, teori pertubasi

Luaran Kegiatan Penelitian

Hibah Pendanaan Penelitian (Skema Penelitian Katalis)



[JOURNAL HOME](#)

[AUTHOR GUIDELINES](#)

[EDITORIAL CONTACT](#)

Submission Overview

Initial Submission This submission is under consideration and cannot be edited

[Download Reviewer PDF](#)

Article Type	Regular Manuscript
Title	High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline

Manuscript Files

Name	Type of File	Size
[1] Full Manuscript IEEE Access SA 051224.docx	Main Document - MS Word	1.9 MB
[1] Full Manuscript IEEE Access SA 051224.pdf	Main Document - PDF	1.3 MB
[3] Supplementary Files IEEE Access.pdf	Figure	1.2 MB
[2] Cover Letter IEEE Access SA 051224.docx	Cover letter / Comments	21.9 KB

Abstract

This paper proposes a single-port interdigital capacitor (IDC) resonator based on asymmetric branch feed line with high stability performance for permittivity detection of solid materials with a permittivity range of 1 - 6.15. The microwave sensor is designed using a single-port resonator operating at two different resonant frequencies $f_{r1} = 1.61$ GHz and $f_{r2} = 2.52$ GHz. Dual band frequency was proposed using asymmetric branch feed line. In addition, to confine the electric field concentration of the resonator, an interdigital capacitor (IDC) structure is proposed as a solution. Furthermore, a copper shield was proposed as conducting material to evaluate performance stability of the sensor from disturbance effect with range of $d = 1$ cm - 2.5 cm. Based on the measurement results, the sensor has high stability both without and with disturbance with an a Frequency Detection Resolution (FDR) of 0.009 - 0.4 GHz/ $\Delta\epsilon_r$, a Normalized Sensitivity (NS) of 0.4% - 4.4%, and an average accuracy of 90% - 95% for both resonance frequencies, respectively. Therefore, this sensor can be recommended for several applications such as biomedical industry, pharmaceuticals and material quality control especially for outdoor measurements that are potentially affected by electromagnetic interference and disturbance.

Authors

Title	Name	Email	Country/Location
Dr.	Syah Alam ¹ Corresponding Author	syah.alam@tr isakti.ac.id	Indonesia

Title	Name	Email	Country/Location
	Submitting Author		
	 0000-0002-0162-8364		
Prof.	Indra Surjati ¹	indra@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	Lydia Sari ¹	lydia_sari@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	R. Deiny Mardian ¹	deiny_wp@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	Teguh Firmansyah ²	teguhfirmansyah@untirta.ac.id	Indonesia
Dr.	Muhammad Iqbal ³	muh.iqbal@itb.ac.id	Indonesia
Dr.	Slamet Widodo ⁴	lamet_ae39@apps.ipb.ac.id	Indonesia
Prof.	Mudrik Alaydrus ⁵	mudrikalaydrus@mercubunana.ac.id	Indonesia
Prof.	Zahriladha Zakria ⁶	zahriladha@utem.edu.my	Malaysia

Affiliations

We will use the best match from our database to determine if your manuscript is eligible for special benefits. Matched organizations are for internal purposes and will not be published.

1. Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Matched organization

Universitas Trisakti
WEST JAKARTA, Indonesia

2. Department of Electrical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Serang, Banten 42124, Indonesia

Matched organization

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
SERANG, Indonesia

3. Advanced Functional Materials Laboratory,
Faculty of Industrial Technology, Institut
Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

Matched organization

Institut Teknologi Bandung
BANDUNG, Indonesia

4. Department of Mechanical and Biosystem
Engineering, IPB University, Bogor 16680,
Indonesia

Matched organization

Institut Pertanian Bogor Departemen Teknik Mesin dan
Biosistem
BOGOR, Indonesia

5. Department of Electrical Engineering,
Universitas Mercu Buana, West Jakarta,
Indonesia

Matched organization

Universitas Mercu Buana Fakultas Teknik
WEST JAKARTA, Indonesia

6. Faculty of Electronic and Computer Technology
and Engineering, Universiti Teknikal Malaysia
Melaka (UTeM), Malaysia

Matched organization

Universiti Teknikal Malaysia Melaka
DURIAN TUNGGAL, Malaysia

Funders

Is this research supported by funding?

- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Grant numbers

- 058/E5/PG.02.00/PL.BATCH.2/2024

Additional Information

Keywords

- Microwave sensors
- Permittivity measurement
- Resonators

Subject Category

- Microwave theory and techniques
- Sensors

Has this manuscript been submitted previously to this journal?

No, it wasn't submitted previously

Informed Consent

No, there were no human subjects

Animal Subjects

There were no animal subjects

Opposed Reviewers

No response provided

Cover letter / Comments

Yes, I'd like to add a cover letter or comments

(see [Manuscript Files](#))

Has this manuscript been previously published, in whole or in part?

No, this manuscript has never been previously presented or published.

Do you have code (software) associated with your manuscript?

No, I do not have code associated with my manuscript

Do you have data associated with your manuscript?

No, I do not have data associated with my manuscript

Select a Manuscript Type

Research Article

History

Submitted On 5 December 2024 by Syah Alam

[> Show this version history.](#)

Submission Started 5 December 2024 by Syah Alam

[Atypon Privacy policy](#) | [Terms & Conditions](#) | [Contact us](#) | [Help](#) | [Cookie Preferences](#)

©Atypon Systems, LLC [Atypon ReX](#)



Regular Manuscript

High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline

Submission ID c6ecc1fa-54ed-4a24-97ea-c66e4295e3ae

Submission Version Initial Submission

PDF Generation 05 Dec 2024 10:39:53 EST [by Atypon ReX](#)

Authors

Dr. Syah Alam
Corresponding Author
Submitting Author

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Prof. Indra Surjati

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Dr. Lydia Sari

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Dr. R. Deiny Mardian

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Dr. Teguh Firmansyah

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Serang, Banten 42124, Indonesia

Dr. Muhammad Iqbal

Affiliations

- Advanced Functional Materials Laboratory, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

[ORCID](#)

<https://orcid.org/0000-0001-9944-0329>

Dr. Slamet Widodo

Affiliations

- Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

Prof. Mudrik Alaydrus

Affiliations

- Department of Electrical Engineering, Universitas Mercu Buana, West Jakarta, Indonesia

Prof. Zahriladha Zakria



ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-1467-405X>

Affiliations

- Faculty of Electronic and Computer Technology and Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM), Malaysia

Additional Information

Keywords

Microwave sensors

Permittivity measurement

Resonators

Subject Category

Microwave theory and techniques

Sensors

Files for peer review

All files submitted by the author for peer review are listed below. Files that could not be converted to PDF are indicated; reviewers are able to access them online.

Name	Type of File	Size	Page
[1] Full Manuscript_IEEE Access_SA_051224.pdf	Main Document - PDF	1.3 MB	Page 3
[3] Supplementary Files_IEEE Access.pdf	Figure	1.2 MB	Page 13

Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.Doi Number

High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline

Syah Alam¹, (Member IEEE), Indra Surjati¹, (Member IEEE), Lydia Sari¹, (Member IEEE), R. Deiny Mardian¹, (Member IEEE), Teguh Firmansyah², (Member IEEE), Muhammad Iqbal³, Slamet Widodo⁴, Mudrik Alaydrus⁵, (Senior Member IEEE), Zahriladha Zakria⁶, (Senior Member IEEE)

¹Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

² Department of Electrical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Serang, Banten 42124, Indonesia

³ Advanced Functional Materials Laboratory, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia.

⁴ Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University, Bogor 16680, Indonesia.

⁵ Department of Electrical Engineering, Universitas Mercu Buana, West Jakarta, Indonesia

⁶ Faculty of Electronic and Computer Technology and Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM), Malaysia

Corresponding author: Syah Alam (e-mail: syah.alam@trisakti.ac.id) / Zahriladha Zakaria (zahriladha@utem.edu.my)

ABSTRACT This paper proposes a single-port interdigital capacitor (IDC) resonator based on asymmetric branch feed line with high stability performance for permittivity detection of solid materials with a permittivity range of 1 - 6.15. The microwave sensor is designed using a single-port resonator operating at two different resonant frequencies $f_{r1} = 1.61$ GHz and $f_{r2} = 2.52$ GHz. Dual band frequency was proposed using asymmetric branch feed line. In addition, to confine the electric field concentration of the resonator, an interdigital capacitor (IDC) structure is proposed as a solution. Furthermore, a copper shield was proposed as conducting material to evaluate performance stability of the sensor from disturbance effect with range of $d = 1$ cm - 2.5 cm. Based on the measurement results, the sensor has high stability both without and with disturbance with an a Frequency Detection Resolution (FDR) of 0.009 - 0.4 GHz/ $\Delta\epsilon_r$, a Normalized Sensitivity (NS) of 0.4% - 4.4%, and an average accuracy of 90% - 95% for both resonance frequencies, respectively. Therefore, this sensor can be recommended for several applications such as biomedical industry, pharmaceuticals and material quality control especially for outdoor measurements that are potentially affected by electromagnetic interference and disturbance.

INDEX TERMS Dual-band, high stability, interdigital capacitor, microwave sensor, single-port resonator

I. INTRODUCTION

Microwave sensors (MS) have seen significant advancement in the evaluation of both solids and liquids due to their advantages, such as high precision, a high Q-factor, cost-effectiveness, and compactness [1]–[3]. One of the measurable properties using MS is permittivity, which reflects a material's ability to sustain an electric field. The permittivity of the material under test (MUT) can be determined via perturbation theory, assuming the MUT behaves as a capacitive load [4]–[6]. Several microwave sensors based on resonators like the Split Ring Resonator (SRR) [7]–[10], Complementary Split Ring Resonator (CSRR)[11]–[13], Substrate Integrated Waveguide (SIW) [14],[15], Interdigital Capacitor (IDC) [16]–[18], AMC

[19],[20] have been developed for solid and liquid material assessment.

Previous work presented a single-port MS based on slot loaded [21] and dual U-shaped [22] for solid material characterization. Furthermore, another work proposed a dual-function permittivity sensor with an antenna using a single-port resonator for solid material characterization using an aperture coupling structure [23]. In addition, previous work [24] proposed a single-port microwave sensor based on dual T-shaped for contact and long-distance detection. The advantage of a single-port resonator-based microwave sensor is that it can also function as an antenna

for data transmission[25]. However, the performance of a single-port resonator-based microwave sensor has a high potential to be inferred by electromagnetic waves and is also susceptible to disturbance. This is because the single-port resonator also transmits electromagnetic waves so that it is more susceptible to environmental disturbances, for example conducting materials. In addition, another limitation is that there is a higher likelihood of interference between the input and reflected signals. This can lead to difficulties and instability in the accuracy of representing measurement data. Therefore, a single-port resonator-based microwave sensor with high stability is needed to obtain accurate and reliable measurement results.

This work provides an excellent solution by proposing a high stability single-port MS based on Interdigital Capacitor (IDC) structure. The MS is designed to operate at two different frequencies $f_{r1} = 1.61$ GHz and $f_{r2} = 2.52$ GHz using an asymmetric branch feed line while the IDC structure is used to confine the concentration of the E-field in the sensing area so that the sensor is more focused on detecting samples. Furthermore, to observe the performance stability of the proposed sensor, a rectangular copper shield as conducting material is placed right above the sensor surface with a distance range of $d = 1$ cm - 2.5 cm to emulate as a disturbance. The performance of the sensor observed in this work is related to frequency shift, ΔF , Frequency Detection Resolution (FDR), Normalized Sensitivity (NS) and average accuracy. In addition, an interdigital capacitor structure also can minimize the H-field distribution so that the highest E-field concentration is focused on the sensing area of the proposed sensor. From the measurement results, the proposed sensor has high stability both without and with disturbance for a distance range of $d = 1 - 2.5$ cm. The sensor has stable performance with a frequency detection resolution of 0.009 - 0.4 GHz/ $\Delta\epsilon_r$, a normalized sensitivity of 0.4% - 4.4%, and an average accuracy of 90% - 95% for both resonance frequencies, respectively.

II. WORKING PRINCIPLE OF PROPOSED SENSOR

This section explains the structure, equivalent circuit and sensing area location determination of the IDC resonator using asymmetric branch feedline.

A. STRUCTURE OF PROPOSED IDC RESONATOR USING ASYMMETRY BRANCH FEED LINE

The proposed microwave sensor is designed using FR-4 substrate type with dielectric constant (ϵ_r) 4.3, loss tan ($\tan \alpha$) 0.0265 and thickness (h) 1.6 mm. The microwave sensor is designed using a single-port resonator operating at two different resonant frequencies $f_{r1} = 1.62$ GHz and $f_{r2} = 2.42$ GHz. To produce dual frequencies, the resonator is connected with RP-SMA connector with impedance of 50 Ω using dual-feed approach. In addition, to increase the electric

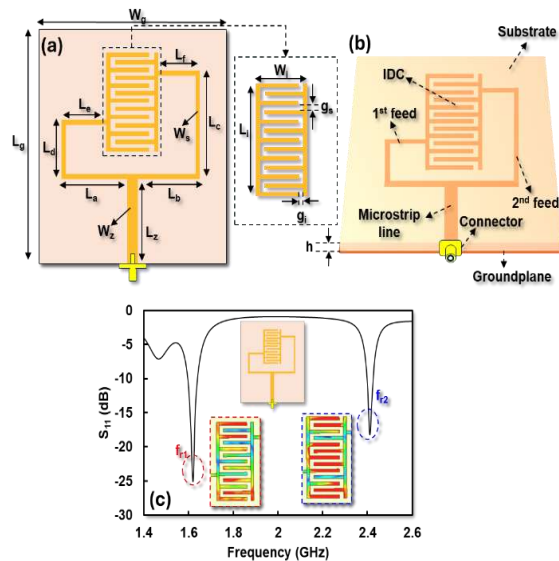
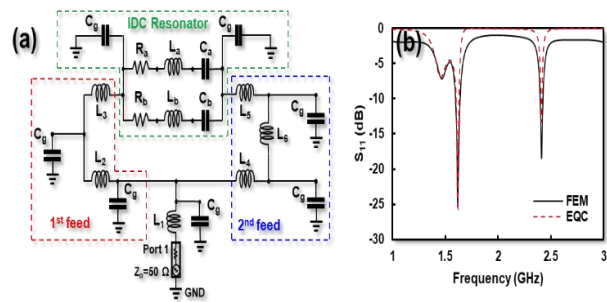


FIGURE 1. Model of the microwave sensor; (a) dimensions of the microwave sensor, (b) structure of the microwave sensor, (c) simulation of the reflection coefficient of the microwave sensor.



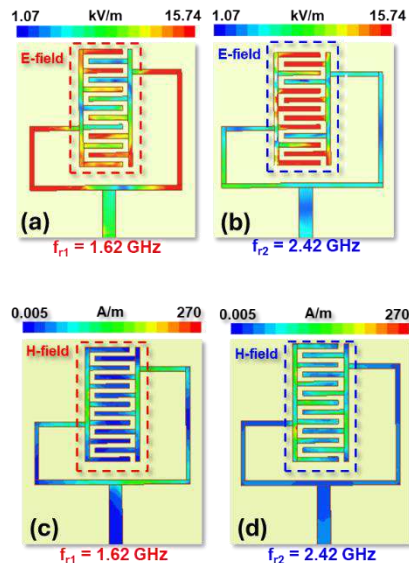


FIGURE 3. E-field and H-field simulations; (a) E-field at $f_{r1} = 1.62$ GHz, (b) E-field at $f_{r2} = 2.41$ GHz, (c) H-field at $f_{r1} = 1.62$ GHz, (d) H-field at $f_{r2} = 2.42$ GHz

B. EQUIVALENT CIRCUIT MODEL OF PROPOSED RESONATOR

Next, the proposed sensor can be modeled using an equivalent circuit (EQC) based on resistor (R), capacitor (C) and inductor (L) [26] as shown in Fig. 2(a). The equivalent circuit of the proposed sensor is simulated using EM simulation and compared with Finite Element Modeling (FEM) as shown in Fig. 2(b). Based on the equivalent circuit shown in Fig. 2 (a), the feedline of the resonator is represented by $L_1 = 14$ nH which is connected to port 1 with an impedance of $Z_0 = 50\Omega$. In this work, the asymmetric branch feedline is represented by $L_2 = 15.3$ nH and $L_3 = 0.71$ nH as the 1st arm while the 2nd arm is represented by $L_4 = 0.000242$ nH, $L_5 = 20.89$ nH and $L_6 = 9.18$ nH. In addition, the IDC resonator is represented by two resonators with series configuration connected in parallel where $R_a = 0.027$ k Ω , $L_a = 41.97$ nH, $C_a = 805$ pF while for $R_b = 2.46$ k Ω , $L_b = 0.262$ nH and $C_b = 6.28$ pF. To prevent short circuits, $C_g = 1$ pF is proposed as grounding.

Fig. 2(b) shows that the simulation results of EQC and FEM have identical characteristics where the resonator operates in dual band with $f_{r1} = 1.62$ GHz and $f_{r2} = 2.42$ GHz. This finding indicates that the proposed equivalent circuit model has represented the working principle of the proposed resonator.

C. SENSING AREA DETERMINATION

In this work, the sensor is designed to detect the permittivity of the sample by observing the interaction between the electric field and the permittivity of the sample used. The resonator surface that has a high electric field (E-field) can be recommended as the sensing area used to place the sample. The sample used is a dielectric sample that does not contain metal. Furthermore, the electric field and magnetic

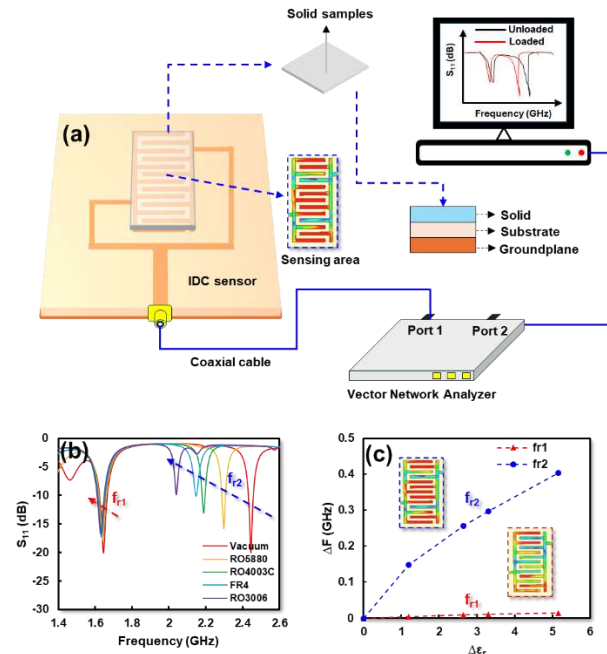


FIGURE 4. (a) Scenario of sample placement of proposed sensor, (b) simulation result of resonance frequency f_{r1} and f_{r2} with permittivity changes, (c) ΔF of proposed sensor for f_{r1} and f_{r2}

field concentrations of the IDC-based resonator are shown in Fig. 3 (a), Fig. 3 (b), Fig. 3 (c) and Fig. 3 (d).

Furthermore, Fig. 3 (a) and Fig. 3 (b) show that the highest electric field concentration of the proposed resonator at $f_{r1} = 1.62$ GHz and $f_{r2} = 2.42$ GHz is on the IDC surface of the proposed sensor with a range of 1.07 – 15.74 kV/m. In contrast, the magnetic field concentration of the proposed resonator at $f_{r1} = 1.62$ GHz and $f_{r2} = 2.42$ GHz are very low and is in the range of 0.005 – 270 A/m. These findings indicate that the IDC surface has a high electric field and a low magnetic field so that it becomes a potential location as a sensing area that can be recommended to place samples to be detected. It also shows that the application of the IDC structure has successfully confined the electric field and reduced the magnetic field in the proposed sensor.

Moreover, Fig. 4 (a) shows the scenario of dielectric sample placement on the proposed sensor. In this work, the dielectric sample is placed in the sensing area determined based on the highest E-field concentration with dimensions of 10.7 mm x 23 mm x 1 mm. The samples used consist of four types of dielectrics with different permittivity where RO5880 is 2.2, RO4003C is 3.65, FR4 is 4.3 and RO3006 is 6.15. The proposed sensor is connected to a Vector Network Analyzer (VNA) and a PC using a coaxial cable and a USB cable with a frequency range of 1 - 3 GHz and a span of 0.001 GHz. The frequency response of f_{r1} and f_{r2} based on the permittivity change of the dielectric sample is shown in Fig. 4 (b). Overall, the resonant frequencies of $f_{r1} = 1.62$ GHz and $f_{r2} = 2.42$ GHz shift to low frequencies in line with the increase of the permittivity of the sample. Based on the

simulation results, f_{r1} shifts from 1.64 GHz to 1.63 GHz while for f_{r2} it shifts from 2.42 GHz to 2.02 GHz for the permittivity range of 1 - 6.15. Furthermore, the ΔF of f_{r1} and f_{r2} are shown in Fig. 4(c) where for f_{r1} and f_{r2} are 0.01 GHz and 0.4 GHz, respectively.

These findings indicate that the proposed sensor can sense the permittivity change of the dielectric sample based on the frequency change. The resonant frequency of the resonator moves toward the low frequency in line with the increase in the permittivity of the dielectric sample. In addition, f_{r2} is more sensitive than f_{r1} because it has a higher frequency [2] and has a higher electric field concentration compared to f_{r1} as shown in Fig. 4 (c).

III. MEASUREMENT RESULT AND VERIFICATION

This section will discuss the measurement and validation of the proposed sensor, the performance and response of the proposed sensor based on the analysis of the disturbance effects. In this work, the proposed sensor is given a rectangular copper shield disturbance placed on the surface of the sensor.

A. MEASUREMENT OF PROPOSED SENSOR

The next stage is to validate the performance of the proposed sensor to characterize solid materials. In this work, the samples used are solid materials whose permittivity has been known based on the datasheet with a range of 1 - 6.15. Solid materials used as samples include RO5880 with a permittivity of 2.2, RO4003C with a permittivity of 3.65, FR4 with a permittivity of 4.3 and RO3006 with a permittivity of 6.15. The dimensions of the samples used are adjusted to the location of the sensing area of the proposed sensor, which is 12.7 mm x 25 mm with a sample thickness of 1.6 mm. The measurement scenario and placement of solid samples on the proposed sensor are shown in Fig. 5. In this work, the solid sample with dimensions of 10.7 mm x 23 mm x 1.6 mm is placed on the sensing area surface protected by a rectangular copper shield with dimensions of 50 x 50 mm x 1.58 mm. The copper shield is placed using a brass spacer placed at a certain distance represented by d . It should be noted that the copper shield is proposed as disturbance and also focuses on the electric field so that it is fully concentrated on the sample. The measurement process of the sensor is carried out in the laboratory using a VNA measuring instrument connected to the sensor using a coaxial cable via port 1 while the reading of the measurement results is carried out using a PC connected to the VNA via a USB cable. The measurement process is carried out in a closed room with an ambient temperature of 25 °C as shown in Fig. 6 (a). Next, a comparison of the simulation and measurement results of the proposed sensor is shown in Fig. 6 (b). From the measurement results shown in Fig. 6 (b), f_{r1} shifts from 1.62 GHz to 1.61 GHz while f_{r2} shifts from 2.42 GHz to 2.52 GHz. These findings indicate that the proposed sensor has identical performance between simulation and measurement with error rates of 0.6% and 4.1% for f_{r1} and f_{r2} , respectively.

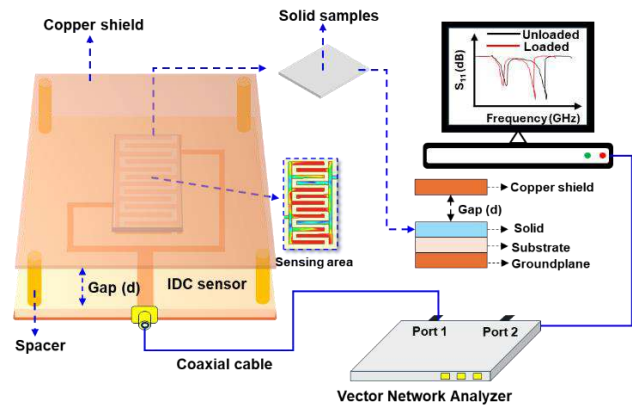


FIGURE 5. Scenario of placing a solid sample on the proposed sensor with copper shield.

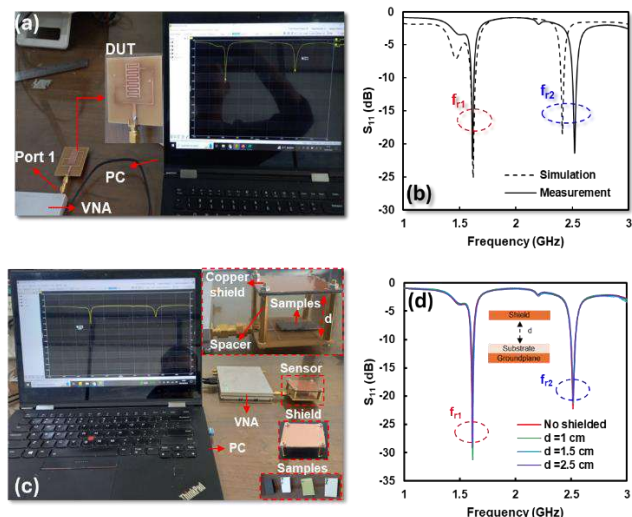


FIGURE 6. Measurement of the proposed sensor; (a) measurement setup, (b) comparison of simulation and measurement, (c) measurement setup of proposed sensor with copper shield, (d) measurement result from proposed sensor with and without shield

Moreover, the measurement setup of the sensor with a copper shield with a distance of $d = 1 - 2.5$ cm is shown in Fig. 6 (c). Based on measurement results, the resonant frequencies of f_{r1} and f_{r2} are fixed and not affected by the copper shield placed right above the proposed sensor as shown in Fig. 6 (d).

B. PERFORMANCE OF PROPOSED SENSOR WITH ANALYSIS DISTURBANCE EFFECT

In this work, disturbance in the form of rectangular copper shield is placed above the sensor with a distance range of $d = 1 - 2.5$ cm. The performance of the sensor is observed based on the shift in resonance frequency based on the permittivity of the dielectric sample placed in the sensing area. Furthermore, the four solid material samples are placed right above the sensing area surface of the sensing area where the sensor condition without sample (vacuum) with ϵ_r of 1 is used as a reference. In addition, the effects of disturbance are also observed separately when the sensor is without copper

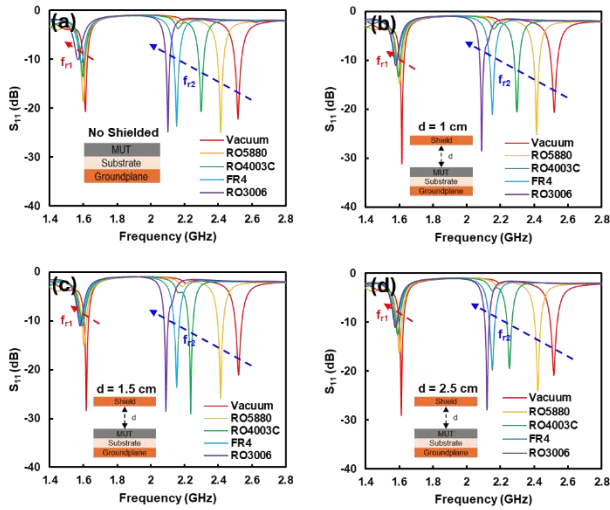


FIGURE 7. Shift of resonance frequency of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

shield and using copper shield with a distance of $d = 1$ cm - 2.5 cm as shown in **Fig. 7 (a)**, **Fig. 7 (b)**, **Fig. 7 (c)** and **Fig. 7 (d)**. Furthermore, the frequency shift of the sensor (ΔF), normalized sensitivity and frequency detection resolution (FDR) which is determined based on the following equation[27] [28]:

$$\Delta f = (f_{\text{unloaded}} - f_{\text{loaded}}) \text{ GHz} \quad (1)$$

$$NS = \frac{1}{\Delta \epsilon_r} \left(\frac{f_{\text{unloaded}} - f_{\text{loaded}}}{f_{\text{unloaded}}} \right) \% \quad (2)$$

$$FDR = \frac{\Delta F}{\Delta \epsilon_r} \text{ GHz} \quad (3)$$

where ΔF represents the frequency shift range, f_{unloaded} is the resonance frequency when the sensor is in a vacuum condition while f_{loaded} is the frequency of the sensor when the sample is loaded, NS is the normalized sensitivity and $\Delta \epsilon_r$ is the difference between the permittivity of the reference sample and the permittivity of the sample loaded to the sensor.

Furthermore, the correlation between the resonant frequency and permittivity changes of the four dielectric samples for shielded condition is shown in **Fig. 7 (a)** where f_{r1} shifts from 1.62 GHz to 1.56 GHz while for f_{r2} shifts from 2.52 GHz to 2.1 GHz for the permittivity range of 1 - 6.15. Furthermore, the performance of the sensor with copper shielding for $d = 1$ cm and $d = 1.5$ cm is shown in **Fig. 7 (b)** and **Fig. 7 (c)** where f_{r1} shifts from 1.61 GHz to 1.58 GHz while for f_{r2} from 2.52 GHz to 2.02 GHz, respectively. In line with the previous, f_{r1} shifts from 1.61 GHz to 1.58 GHz and f_{r2} from 2.52 to 2.12 GHz for $d = 2.5$ cm as shown in **Fig. 7 (d)**.

The resonant frequency shift of the sensor is represented as ΔF which can be determined using **Eq. (1)**. Furthermore, ΔF of the proposed sensor is shown in **Fig. 8(a)**, **Fig. 8(b)**, **Fig. 8(c)** and **Fig. 8(d)**.

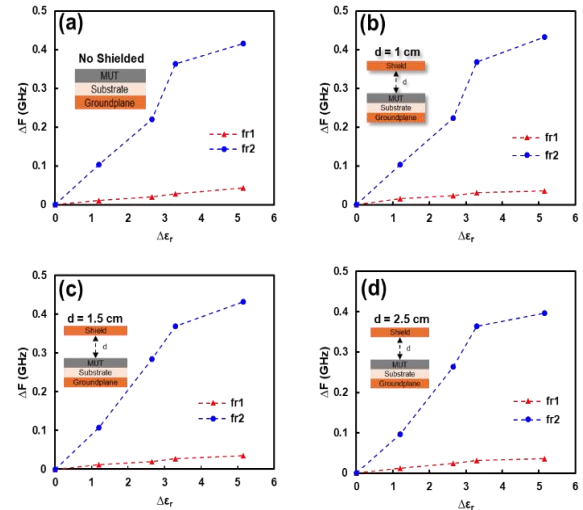


FIGURE 8. ΔF of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

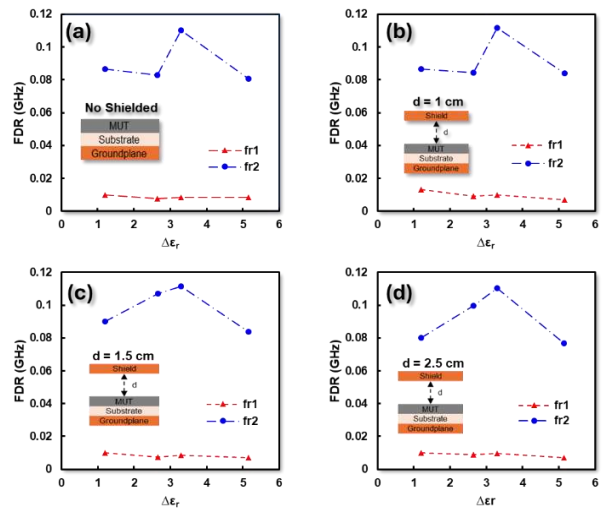


FIGURE 9. Frequency detection resolution of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

From the measurement results, the maximum ΔF of the proposed sensor has a stable performance where for f_{r1} is 0.03 GHz and f_{r2} is 0.4 GHz for conditions with or without copper shielding. In addition, the same findings for the Frequency Detection Resolution (FDR) of the proposed sensor which can be determined using **Eq. (3)** where for the maximum FDR for f_{r1} is 0.009 GHz / $\Delta \epsilon_r$ while for f_{r2} is 0.11 GHz / $\Delta \epsilon_r$ for both conditions with or without shielding as shown in **Fig. 9(a)**, **Fig. 9(b)**, **Fig. 9(c)** and **Fig. 9(d)**.

These findings indicate that the performance of the proposed sensor is not significantly affected by the addition of disturbance in the form of a copper shield. ΔF and FDR of the proposed sensor are relatively stable to detect the permittivity of dielectric samples with a permittivity range of 1 - 6.15.

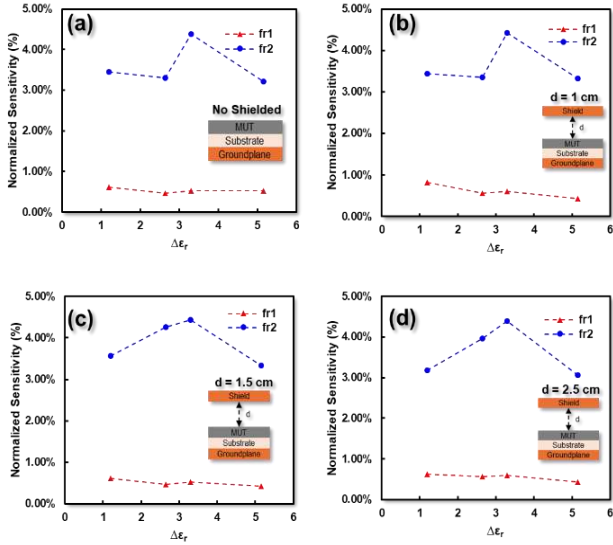


FIGURE 10. Normalized sensitivity of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

The normalized sensitivity (NS) of the proposed sensor can be determined based on Eq. (2). Furthermore, the NS of the proposed sensor for conditions with or without copper shield are shown in Fig. 10 (a), Fig. 10 (b), Fig. 10 (c) and Fig. 10 (d). Based on the measurement results, the NS for the sensor with the condition without copper shield is in the range of 0.53% - 0.62% for f_{r1} while for f_{r2} it is in the range of 3.21% - 4.38% as shown in Fig. 10(a). Furthermore, the NS for the sensor condition with copper shield for $d = 1$ cm is in the range of 0.43% - 0.83 for f_{r1} and f_{r2} in the range of 3.33 - 4.43% as shown in Fig. 10 (b). In addition, the NS for the sensor with copper shield condition for $d = 1.5$ cm is in the range of 0.43% - 0.62% for f_{r1} while for f_{r2} is in the range of 3.33% - 4.43% as shown in Fig. 10 (c). Finally, the NS for the sensor with copper shield for $d = 2.5$ cm is presented by Fig. 10 (d) where f_{r1} is in the range of 0.43% - 0.62% while for f_{r2} is in the range of 3.06% - 4.38%.

This finding indicates that the NS of the sensor with copper and without shield is stable because the electric field is more concentrated in the sensing area of the proposed sensor. This finding is also in line with the simulation where the E-field concentration of the IDC-based sensor is more dominant compared to the H-field so that the electric field from the sensor is focused in the sensing area of the sensor.

In addition, the NS of the sensor without and with copper shield for the range $d = 1$ cm - 2.5 cm has a stable performance in the range of 0.4% - 0.8 % and 3% - 4% for f_{r1} and f_{r2} , respectively. This finding also shows that the addition of copper shield with a range of $d = 1$ cm - 2.5 cm as a disturbance has no significant effect on the performance of the proposed sensor and can be used to confined the electric field of the proposed sensor in the specific sensing area.

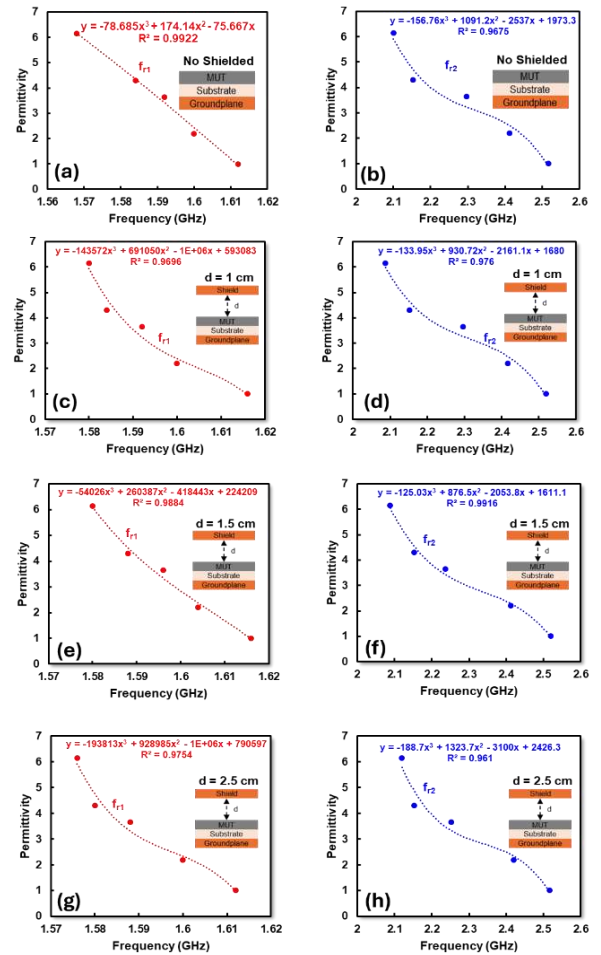


FIGURE 11. Polynomial equation based on resonant frequency and permittivity; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

C. ACCURACY OF PROPOSED SENSOR

Furthermore, the correlation between resonance frequency and permittivity can be derived into a third-order polynomial equation that can be used to determine the permittivity of solid materials [29]–[31] as shown in Fig.11 (a), Fig. 11(b), Fig. 11(c), Fig. 11(d), Fig. 11(e), Fig. 11(f), Fig. 11(g) and Fig. 11(h). Based on the correlation between the resonant frequency and permittivity from the measurement result, the permittivity of the dielectric sample for the condition without copper shielding can be determined based on the third-order polynomial equation as follows:

$$\varepsilon_{r1} = a_1 f_{r1}^3 + a_2 f_{r1}^2 - a_3 f_{r1} + a_4 \quad (4)$$

$$\varepsilon_{r2} = b_1 f_{r2}^3 + b_2 f_{r2}^2 - b_3 f_{r2} + b_4 \quad (5)$$

where ε_{r1} is the permittivity of the sample based on f_{r1} and ε_{r2} is the permittivity based on f_{r2} . Furthermore, based on the third order polynomial equation, the values of $a_1 = -78.685$, $a_2 = 174.14$, $a_3 = 75667$, $a_4 = 0$, $b_1 = -156.76$, $b_2 = 1091.2$, $b_3 = 2537$ and $b_4 = 1973.3$ are obtained for conditions without copper shield as shown in Fig. 11 (a) and Fig. 11 (b). Next,

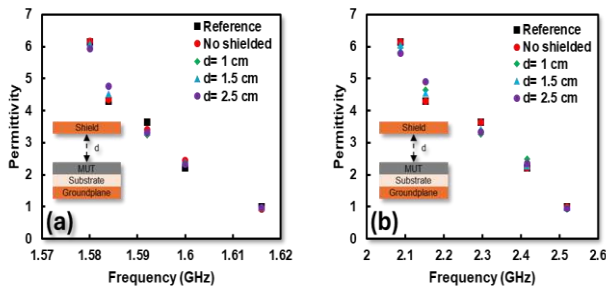


FIGURE 12. Accuracy of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

for $d = 1$ cm the values are obtained from $a_1 = -143572$, $a_2 = 691050$, $a_3 = 1E+06$, $a_4 = 593083$, $b_1 = -133.95$, $b_2 = 930.72$, $b_3 = 2161.1$ and $b_4 = 1680$ while for $d = 1.5$ cm the values are obtained from $a_1 = -54026$, $a_2 = 260387$, $a_3 = 418443$, $a_4 = 224209$, $b_1 = -125.03$, $b_2 = 876.5$, $b_3 = 2053.8$ and $b_4 = 1611.1$ as shown in **Fig. 11 (c)**, **Fig. 11 (d)**, **Fig. 11 (e)**, **Fig. 11 (f)**. Finally, for the condition $d = 2.5$ cm the values are obtained from $a_1 = -19381$, $a_2 = 928985$, $a_3 = -1E+06$, $a_4 = 790597$, $b_1 = -188.7$, $b_2 = 1323.7$, $b_3 = -3100$ and $b_4 = 2426.3$ as shown in **Fig. 11 (g)** and **Fig. 11 (h)**. Overall, the permittivity based on calculations for f_{r1} and f_{r2} is shown in **Table I** and **Table II**.

TABLE I

ACCURACY OF PROPOSED SENSOR FOR 1ST RESONANT FREQUENCY

ϵ_r reference	Shielded cooper							
	No shielded		$d = 1$ cm		$d = 1.5$ cm		$d = 2.5$ cm	
	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)
1	0.94	93.54	0.98	98.25	0.97	97.36	0.97	97.20
2.2	2.44	89.21	2.39	91.51	2.37	92.13	2.33	93.92
3.65	3.41	93.32	3.23	88.61	3.34	91.46	3.32	90.84
4.3	4.35	98.86	4.77	89.14	4.52	94.82	4.75	89.50
6.15	6.16	99.86	5.93	96.39	6.09	99.06	5.93	96.37

TABLE II

ACCURACY OF PROPOSED SENSOR FOR 2ND RESONANT FREQUENCY

ϵ_r reference	Shielded cooper							
	No shielded		$d = 1$ cm		$d = 1.5$ cm		$d = 2.5$ cm	
	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)	ϵ_r calc.	Acc. (%)
1	0.91	91.39	0.92	91.73	0.97	97.26	0.95	94.94
2.2	2.51	86.00	2.48	87.11	2.28	96.21	2.34	93.52
3.65	3.23	88.58	3.27	89.57	3.44	94.11	3.33	91.35
4.3	4.72	90.12	4.64	92.04	4.56	93.96	4.89	86.24
6.15	5.92	96.31	5.99	97.36	6.05	98.36	5.78	94.01

Based on **Table I** and **Table II**, the proposed sensor has good average accuracy where for the condition without copper shield it is at 94.96% and 90.48% for f_{r1} and f_{r2} , respectively. Furthermore, the average accuracy for f_{r1} and f_{r2} for the sensor with copper shield is 92.78% and 91.72% for $d = 1$ cm and for $d = 1.5$ cm the average accuracy is

94.97% and 95.98% while for $d = 2.5$ cm, the average accuracy is at 93.57% and 92.01%, respectively.

This finding shows that the best average accuracy is obtained when $d = 1.5$ cm. In addition, the sensor has a consistent average accuracy for conditions with and without shield. In addition, the sensor has a consistent average accuracy for conditions with and without shield compared with reference permittivity as shown in **Fig. 12 (a)** and **Fig. 12 (b)**. This finding also shows that the proposed sensor has high performance and is not significantly affected by disturbances placed directly above the sensor with range of $d = 1$ cm – 2.5 cm.

IV. VALIDATION WITH PREVIOUS WORKS

A thorough evaluation comparing the proposed sensor's performance with previous studies is conducted, as detailed in **Table III**. A fair comparison with previous work is proposed by observing the performance of the sensor in terms of the method, permittivity range, resonance frequency (f_r), Frequency Detection Resolution (FDR), Normalized Sensitivity (NS) and accuracy. In addition, other performances that are compared are dual band characteristics, e-field localization, disturbance effect analysis and also high stability of the proposed sensor.

Previous work proposed a microwave sensor using a dual-port resonator for permittivity detection of solid materials based on SRR [8],[10],[30] and CSRR [13]. The sensor has good performance with a maximum accuracy of 96% - 98% and a normalized sensitivity of 1.34% - 5.38%. However, the proposed sensor only supports transmission mode-based measurements and requires a two-port network analyzer for characterization, which can increase the complexity and cost of the measurement setup.

Previous studies introduced a single-port resonator incorporating a slot for permittivity detection of dielectric samples, achieving an accuracy of 98.80% and a normalized sensitivity of 5.24% [21]. However, the sensor's electric field remains inadequately localized and focused on the sensing area, potentially leading to measurement inaccuracies in the presence of interference or disturbances. In addition, the proposed sensor only operates at a single resonant frequency. Moreover, a single-port microwave sensor with dual band performance utilizing U-shaped [22] and T-shaped resonators [24] was proposed in another study, featuring independent characteristics for simultaneous detection of solid material permittivity and long-distance sensing. The electric field of the resonator was localized on its arm, designated as the sensing area. However, the study did not include an analysis of disturbance effects, leaving the stability of the proposed sensor under disturbed conditions unverified. Previous work introduced a single-port microwave sensor employing aperture coupling [23] and an artificial magnetic conductor [19]. The electric field was localized on a separate substrate, designated as the sensor's sensing area. However, the proposed structure features a multilayer design, making it more complex to implement. Furthermore, the study did not include an analysis of

TABLE III
 COMPARISON WITH PREVIOUS WORKS

Ref.	Method	Freq (GHz)	Range of ϵ_r	Performance			Num. of port	Dual-band performance	Confined E-field region	Disturbance analysis effect	High stability performance
				Max. FDR (%)	Max NS. (%)	Max Acc. (GHz)					
[8]	SRR	0.39	1 – 7.33	0.102	1.625	98.20	1	-	Yes	-	-
[10]	SSRR with spurlines	2.22	1 – 4.40	0.030	1.340	98.36	2	-	Yes	-	-
[13]	CSRR	2.65	1 – 3.00	0.150	5.380	97.71	2	-	Yes	-	-
[19]	Artificial Magnetic Conductor	4.04	1 – 4.40	0.070	1.890	96.48	1	-	Yes	-	-
[21]	Slot-loaded patch	2.50	1 – 10.20	0.072	5.240	98.80	1	-	-	-	-
[22]	Dual U-shaped	1.20 / 2.10	1 – 4.30	0.007	1.150	99.02	1	Yes	Yes	-	-
[23]	Aperture coupling	9.54 / 12.30	1 – 12.50	0.078	0.640	92.30	1	Yes	Yes	-	-
[24]	Dual T-shaped with IDC	1.64 / 2.43	1 – 6.15	0.016	0.003	95.99	1	Yes	Yes	-	-
[30]	SRR	1.24 / 2.08	1 – 6.00	0.050	4.101	96.97	2	Yes	Yes	-	-
This work	Asymmetric branch feed with IDC	1.61 / 2.52	1 – 6.15	0.110	4.330	95.98	1	Yes	Yes	Yes	Yes

disturbance effects, leaving the sensor's stability under such conditions unverified.

This work provides an excellent solution to produce a microwave sensor using a single-port resonator that has high stability against disturbances. In this work, an interdigital capacitor structure is introduced to confine the E-field of the sensor to focus it on the sensing area of the sensor. In addition, the interdigital capacitor structure also reduces the H-field so that the E-field becomes more dominant. The stability of the sensor is evaluated and confirmed by placing a disturbance in the form of a rectangular copper shield placed directly above the sensor. The performance and stability of the sensor are observed in conditions without and with copper shielding for a distance range of $d = 1 \text{ cm} - 2.5 \text{ cm}$. From the measurement results, the sensor has high stability both without and with disturbance with a Frequency Detection Resolution (FDR) of $0.009 - 0.4 \text{ GHz}/\Delta\epsilon_r$, a Normalized Sensitivity (NS) of $0.4\% - 4.4\%$, and an average accuracy of $90\% - 95\%$ for both resonance frequencies, respectively.

V. CONCLUSION

This paper has successfully designed and realized a high stability single port dual-band microwave sensor using interdigital structure with asymmetry branch feedline for solid material characterization with permittivity range $1 - 6.15$. The proposed sensor operates at two different resonance frequencies $f_{r1} = 1.61 \text{ GHz}$ and $f_{r2} = 2.52 \text{ GHz}$. Based on the measurement results, the proposed sensor has high stability both without and with disturbance for $d = 1 \text{ cm} - 2.5 \text{ cm}$ with a Frequency Detection Resolution (FDR) of $0.009 - 0.4 \text{ GHz}/\Delta\epsilon_r$, a Normalized Sensitivity (NS) of 0.4%

- 4.4% , and an average accuracy of $90\% - 95\%$ for both resonance frequencies, respectively. Therefore, this sensor can be recommended for several applications including biomedical industry, medicine and material quality control especially for outdoor measurements that are potentially affected by electromagnetic interference and disturbance.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by Research and Community Services Institute of Universitas Trisakti and Ministry of Research, Technology and Higher Education of Republik Indonesia through a competitive research grant under the KATALIS Research Scheme fiscal year of 2024 with contract number of 058/E5/PG.02.00/PL.BATCH.2/2024 and 1091/LL3/AL.04/2024.

REFERENCES

- [1] K. S. L. Parvathi and S. R. Gupta, "Ultrahigh-Sensitivity and Compact EBG-Based Microwave Sensor for Liquid Characterization," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 19–22, 2022, doi: 10.1109/LSENS.2022.3159800.
- [2] A. Armghan, T. M. Alanazi, A. Altaf, and T. Haq, "Characterization of Dielectric Substrates Using Dual Band Microwave Sensor," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62779–62787, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075246.
- [3] Z. Shaterian and M. Mrozowski, "Multifunctional Bandpass Filter/Displacement Sensor Component," *IEEE Access*, vol. 11, no. March, pp. 27012–27019, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3258545.
- [4] A. Aquino, C. G. Juan, B. Potelon, and C. Quendo, "Dielectric Permittivity Sensor Based on Planar Open-Loop Resonator," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 2021–2024, 2021, doi: 10.1109/LSENS.2021.3055544.
- [5] W. A. Jabbar *et al.*, "Design and Fabrication of Smart Home with Internet of Things Enabled Automation System," *IEEE Access*, vol.

- 7, pp. 144059–144074, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2942846.
- [6] A. Ebrahimi, J. Scott, and K. Ghorbani, “Ultrahigh-Sensitivity Microwave Sensor for Microfluidic Complex Permittivity Measurement,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 67, no. 10, pp. 4269–4277, 2019, doi: 10.1109/TMTT.2019.2932737.
- [7] P. Jahangiri, M. Naser-Moghadasi, B. Ghalamkari, and M. Dousti, “A new planar microwave sensor for fat-measuring of meat based on SRR and periodic EBG structures,” *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 346, no. June, p. 113826, 2022, doi: 10.1016/j.sna.2022.113826.
- [8] K. Xu *et al.*, “Novel Microwave Sensors Based on Split Ring Resonators for Measuring Permittivity,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26111–26120, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2834726.
- [9] W. Liu, J. Zhang, and K. Huang, “Dual-Band Microwave Sensor Based on Planar Rectangular Cavity Loaded with Pairs of Improved Resonator for Differential Sensing Applications,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, 2021, doi: 10.1109/TIM.2021.3118090.
- [10] R. A. Alahnomi, Z. Zakaria, E. Ruslan, S. R. Ab Rashid, and A. A. Mohd Bahar, “High-Q sensor based on symmetrical split ring resonator with spurlines for solids material detection,” *IEEE Sens. J.*, vol. 17, no. 9, pp. 2766–2775, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2682266.
- [11] M. Saadat-Safa, V. Nayyeri, M. Khanjarian, M. Soleimani, and O. M. Ramahi, “A CSRR-Based Sensor for Full Characterization of Magneto-Dielectric Materials,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 67, no. 2, pp. 806–814, 2019, doi: 10.1109/TMTT.2018.2882826.
- [12] M. Abdolrazzagh, N. Kazemi, V. Nayyeri, and F. Martin, “AI-Assisted Ultra-High-Sensitivity/Resolution Active-Coupled CSRR-Based Sensor with Embedded Selectivity,” *Sensors*, vol. 23, no. 13, pp. 1–20, 2023, doi: 10.3390/s23136236.
- [13] M. A. H. Ansari, A. K. Jha, and M. J. Akhtar, “Design and Application of the CSRR-Based Planar Sensor for Noninvasive Measurement of Complex Permittivity,” *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 12, pp. 7181–7189, 2015, doi: 10.1109/JSEN.2015.2469683.
- [14] A. A. Mohd Bahar, Z. Zakaria, M. K. Md Arshad, R. A. Alahnomi, A. I. Abu-Khadrah, and W. Y. Sam, “Microfluidic biochemical sensor based on circular SIW-DMS approach for dielectric characterization application,” *Int. J. RF Microw. Comput. Eng.*, vol. 29, no. 9, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1002/mmce.21801.
- [15] A. A. Mohd Bahar, Z. Zakaria, M. K. Md. Arshad, A. A. M. Isa, Y. Dasril, and R. A. Alahnomi, “Real Time Microwave Biochemical Sensor Based on Circular SIW Approach for Aqueous Dielectric Detection,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-41702-3.
- [16] J. Yeo and J. I. Lee, “High-sensitivity microwave sensor based on an interdigital-capacitor-shaped defected ground structure for permittivity characterization,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 3, 2019, doi: 10.3390/s19030498.
- [17] S. Aiswarya, S. K. Menon, M. Donelli, and L. Meenu, “Development of a microwave sensor for solid and liquid substances based on closed loop resonator,” *Sensors*, vol. 21, no. 24, pp. 1–34, 2021, doi: 10.3390/s21248506.
- [18] L. Ali *et al.*, “Design and optimization of microwave sensor for the non-contact measurement of pure dielectric materials,” *Electron.*, vol. 10, no. 24, 2021, doi: 10.3390/electronics10243057.
- [19] W. J. Wu and G. Wang, “A modified AMC-based antenna sensor for contactless measurement of complex permittivity,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 206, no. June 2022, p. 112261, 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2022.112261.
- [20] Q. Shi, X. W. Xuan, H. K. Nie, Z. Y. Wang, and W. Wang, “Antenna Sensor Based on AMC Array for Contactless Detection of Water and Ethanol in Oil,” *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 19, pp. 21503–21510, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3102294.
- [21] J. Yeo and J. I. Lee, “Slot-loaded microstrip patch sensor antenna for high-sensitivity permittivity characterization,” *Electron.*, vol. 8, no. 5, 2019, doi: 10.3390/electronics8050502.
- [22] S. Alam, Z. Zakaria, I. Surjati, N. A. Shairi, M. Alaydrus, and T. Firmansyah, “Dual-Band Independent Permittivity Sensor Using Single-Port with a Pair of U-Shaped Structures for Solid Material Detection,” *IEEE Sens. J.*, vol. 22, no. 16, pp. 16111–16119, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3191345.
- [23] M. Behdani, M. M. H. Kalateh, H. Saghlatoon, J. Melzer, and R. Mirzavand, “High-Resolution Dielectric Constant Measurement Using a Sensor Antenna with an Allocated Link for Data Transmission,” *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 24, pp. 14827–14835, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.3012055.
- [24] S. Alam *et al.*, “Collaboratively Far-Field and Near-Field Regions for Dual-Modalities Microwave Permittivity Sensor Using T-Shaped Resonator Embedded With IDC,” *IEEE Sensors Lett.*, vol. 8, no. 7, pp. 8–11, 2024, doi: 10.1109/LSENS.2024.3415362.
- [25] S. Alam, Z. Zakaria, I. Surjati, N. A. Shairi, M. Alaydrus, and T. Firmansyah, “Multifunctional of dual-band permittivity sensors with antenna using multicascoded T-shaped resonators for simultaneous measurement of solid materials and data transfer capabilities,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 217, no. November 2022, p. 113078, 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.113078.
- [26] A. Ebrahimi, F. J. Tovar-Lopez, J. Scott, and K. Ghorbani, “Differential microwave sensor for characterization of glycerol-water solutions,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 321, p. 128561, 2020, doi: 10.1016/j.snb.2020.128561.
- [27] S. Kiani, P. Rezaei, and M. Navaei, “Dual-sensing and dual-frequency microwave SRR sensor for liquid samples permittivity detection,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 160, p. 107805, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107805.
- [28] S. Kiani, P. Rezaei, and M. Fakhr, “Real-Time Measurement of Liquid Permittivity Through Label-Free Meandered Microwave Sensor,” *IETE J. Res.*, 2023, doi: 10.1080/03772063.2023.2231875.
- [29] R. C. Caleffo and F. S. Corraera, “Liquids electrical characterization sensor using a hybrid SIW resonant cavity,” *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 60, no. 2, pp. 445–449, 2018, doi: 10.1002/mop.30983.
- [30] A. A. Al-Behadili, I. A. Mocanu, N. Codreanu, and M. Pantazica, “Modified split ring resonators sensor for accurate complex permittivity measurements of solid dielectrics,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 23, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/s20236855.
- [31] S. Lim, C. Y. Kim, and S. Hong, “Simultaneous Measurement of Thickness and Permittivity by Means of the Resonant Frequency Fitting of a Microstrip Line Ring Resonator,” *IEEE Microw. Wirel. Components Lett.*, vol. 28, no. 6, pp. 539–541, 2018, doi: 10.1109/LMWC.2018.2833202.



Malaysia (UTeM) in the field of Electronic Engineering (RF and Microwave). His research interests include microstrip antenna, and microwave sensors for various applications.



and microwave circuit for various applications.



Lydia Sari received the B.S. degrees in electrical engineering from Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia in 1998. She received the M.S. and Ph.D degrees in electrical engineering from University of Indonesia in 2002 and 2010, respectively. She is currently a faculty member in Electrical Engineering Department, Universitas Trisakti. Her research interests include wireless communications and information theory.



Jakarta, Indonesia. His research interests are mobile and wireless communication technology, digital broadcasting, quality of service, and quality of experience—all his research concerns technical and regulatory policy management.



He holds two patents for wideband antenna and multiband antenna. His research interests include microwave circuits for various applications and

developing multifunctional sensors using acoustic, plasmonic, and microwave resonators.



components, wireless power transfers, wireless sensor networks, interaction between electromagnetics and materials, and mathematical modeling in signal processing.



Professor at Microwave Research Group (MRG), Faculty of Electronic & Computer Engineering, University Teknikal Malaysia Melaka (UTeM). His research interests include variety of microwave devices development such as planar and nonplanar microwave filters, resonators, amplifiers and antennas. He also investigates energy harvesting and sensors.

Mudrik Alaydrus was born in Jakarta, Indonesia. He received the Dipl.-Ing. and Dr.-Ing. degrees in Electrical Engineering from Universitaet Hannover and Universitaet Wuppertal, in 1997 and 2001, respectively. Since 2003, he has worked at Universitas Mercu Buana, Jakarta. Dr. Alaydrus is Senior Member of IEEE and member of Verein der Deutschen Elektroingenieure (VDE). His current researchs include microwave and millimeter wave

Zahrialdha Zakaria was born in Johor, Malaysia. He received the B. Eng. and M. Eng. In Electrical and Electronic Engineering from the Universiti Teknologi Malaysia in 1998 and 2004 respectively, and the PhD degree in Electrical & Electronic Engineering from the Institute of Microwaves and Photonics (IMP), University of Leeds, United Kingdom in 2010. From 1998 to 2002, he was with STMicroelectronics, Malaysia where he worked as Product Engineer. He is currently a

SUPPLEMENTARY FILES

Paper title : High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline

Authors : Syah Alam, Indra Surjati, Lydia Sari, R. Deiny Mardian, Teguh Firmansyah, Muhammad Iqbal, Slamet Widodo, Mudrik Alaydrus, Zahriladha Zakaria,

Journal : IEEE Access

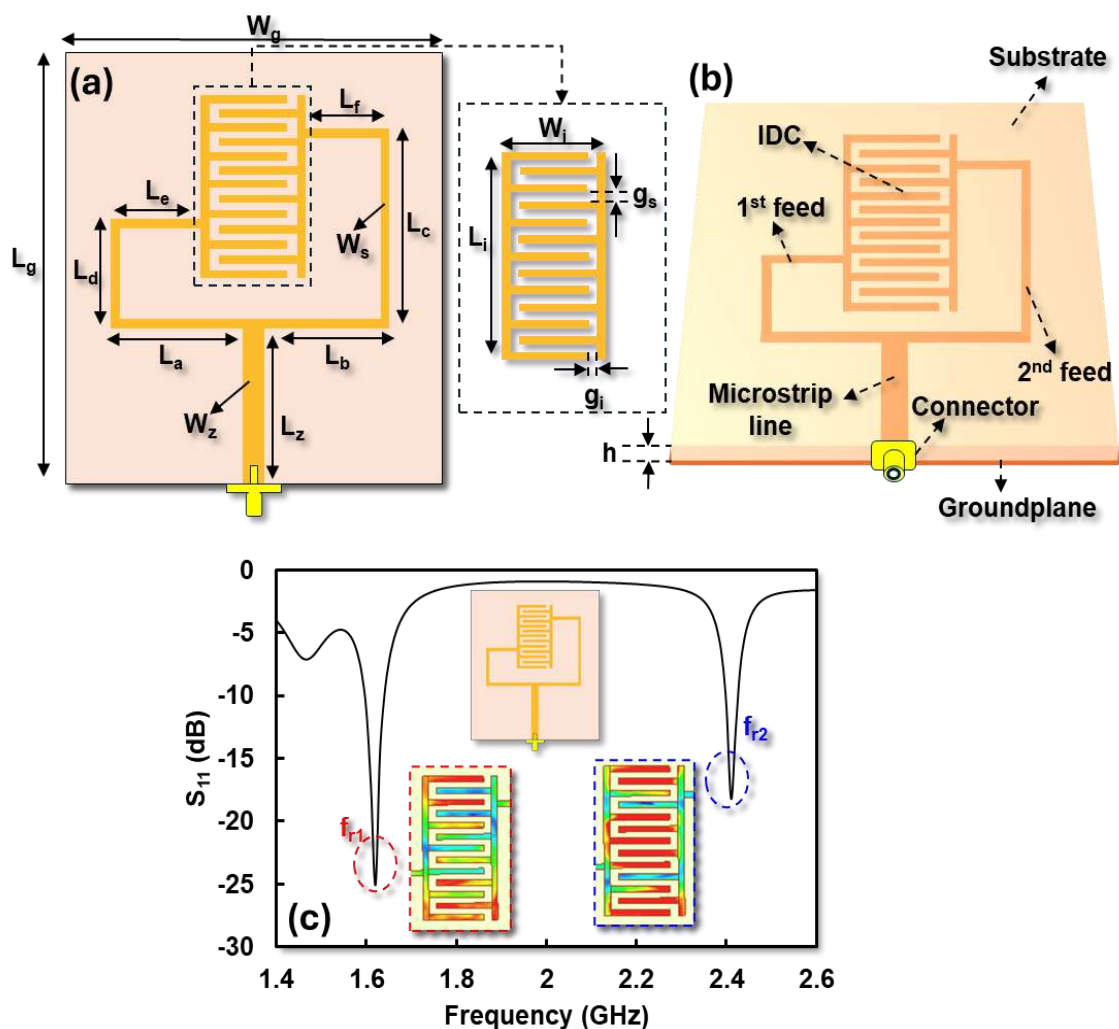


FIGURE 1. Model of the microwave sensor; (a) dimensions of the microwave sensor, (b) structure of the microwave sensor, (c) simulation of the reflection coefficient of the microwave sensor.

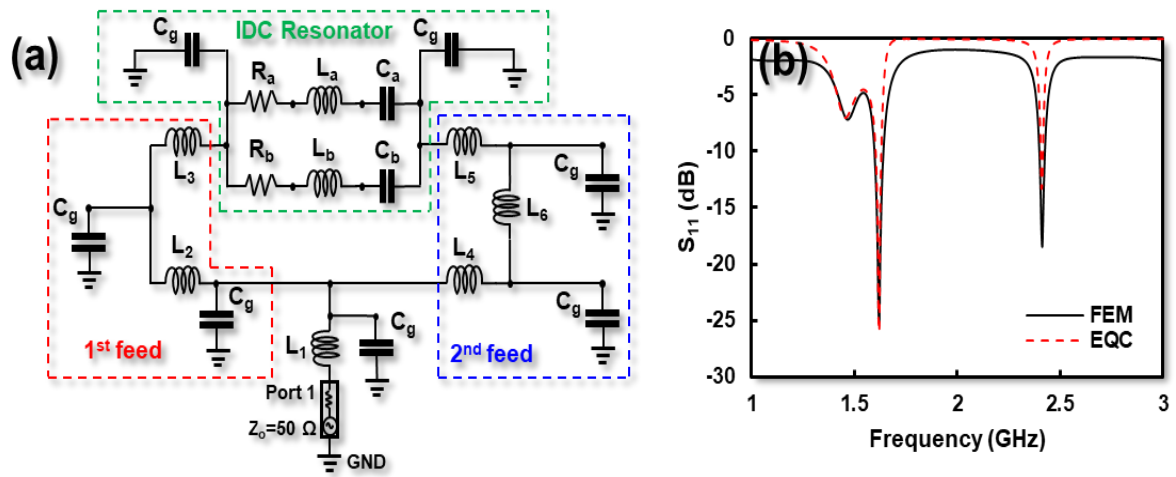


FIGURE 2. Modeling of the proposed sensor; (a) Equivalent circuit of the proposed sensor, (b) comparison of simulation results from FEM and EQC.

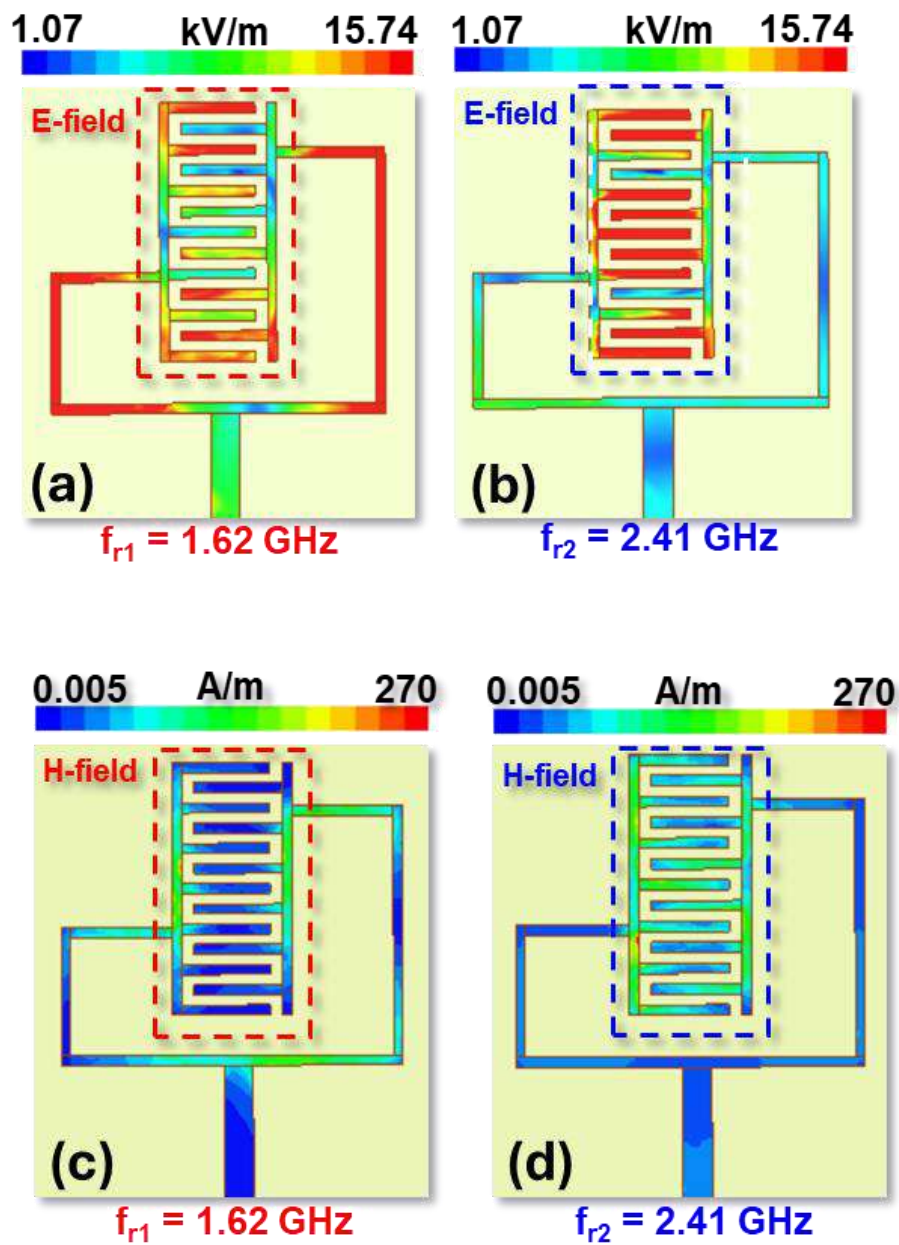


FIGURE 3. E-field and H-field simulations; (a) E-field at $f_{r1} = 1.62$ GHz, (b) E-field at $f_{r2} = 2.41$ GHz, (c) H-field at $f_{r1} = 1.62$ GHz, (d) H-field at $f_{r2} = 2.42$ GHz

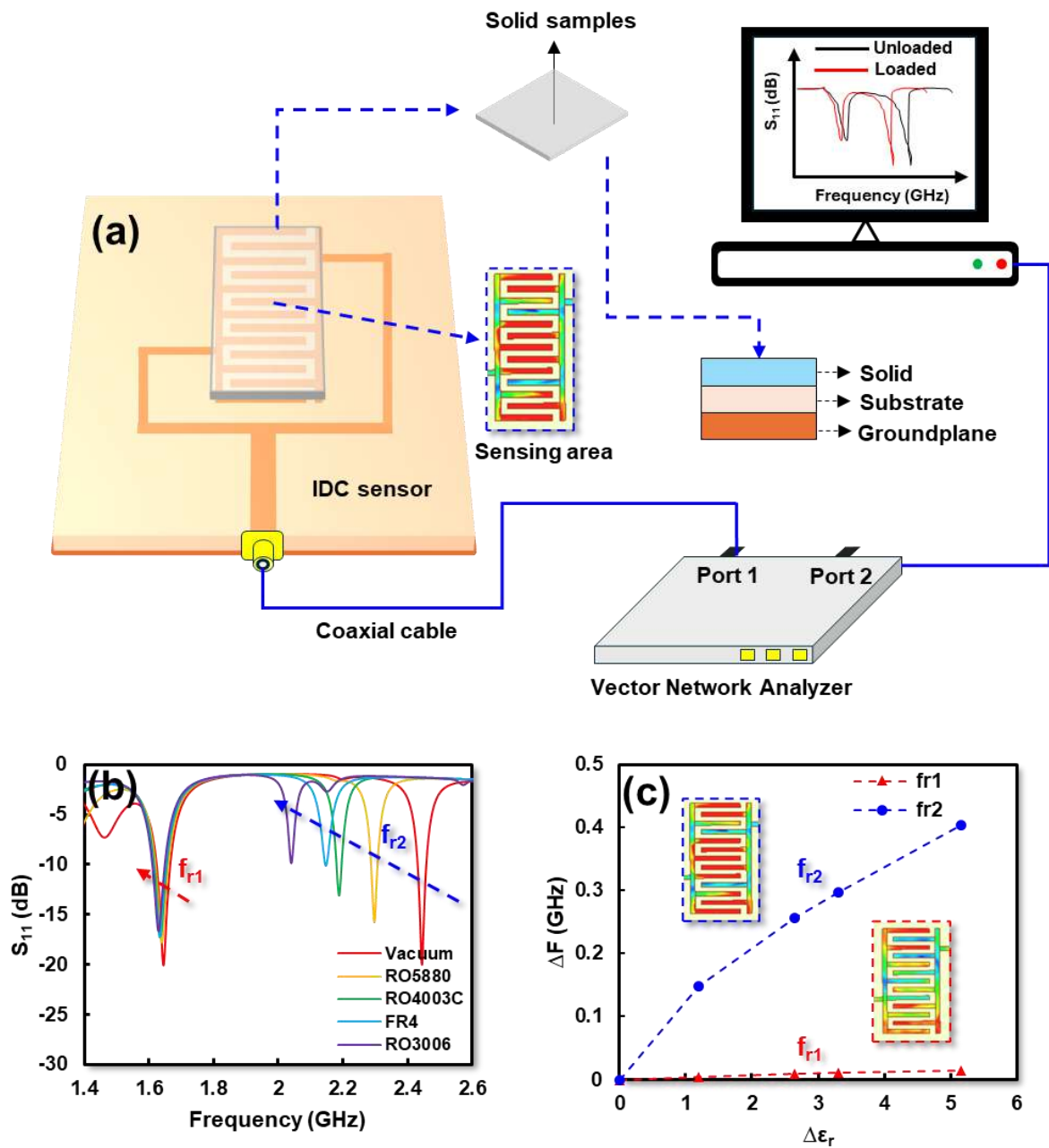


FIGURE 4. (a) Scenario of sample placement of proposed sensor, (b) simulation result of resonance frequency f_{r1} and f_{r2} with permittivity changes, (c) ΔF of proposed sensor for f_{r1} and f_{r2}

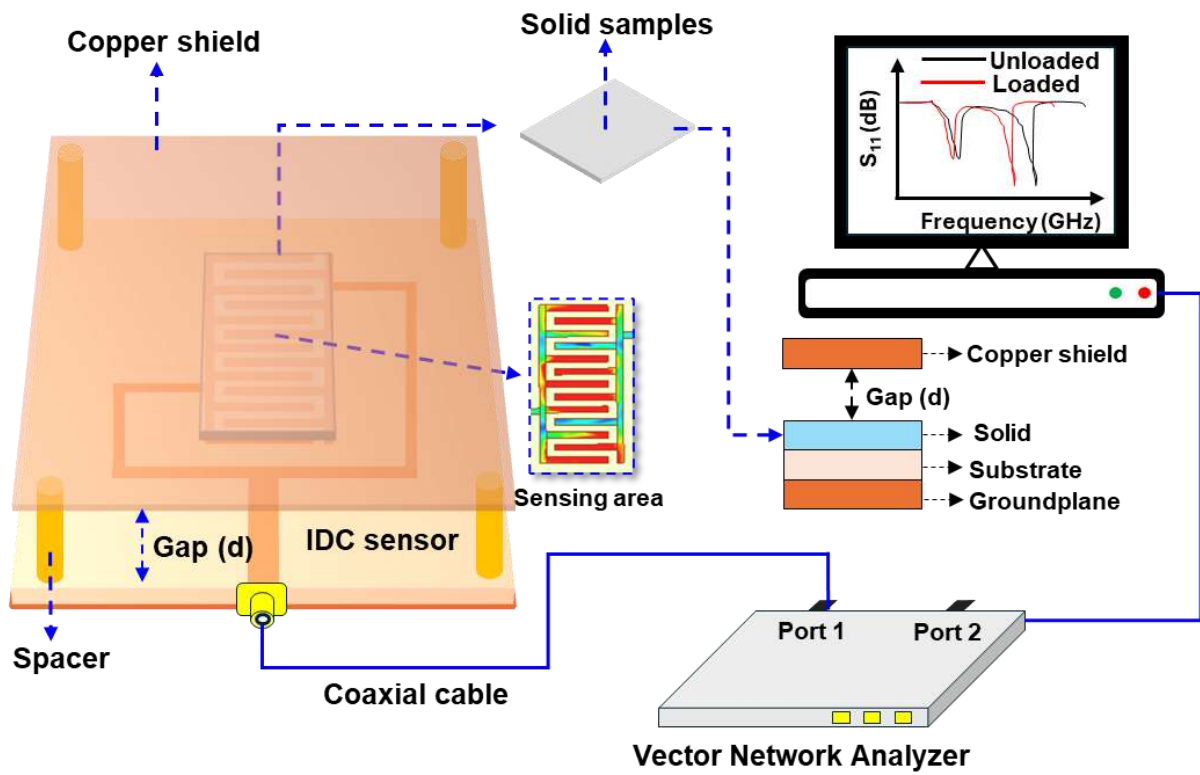


FIGURE 5. Scenario of placing a solid sample on the proposed sensor with copper shield.

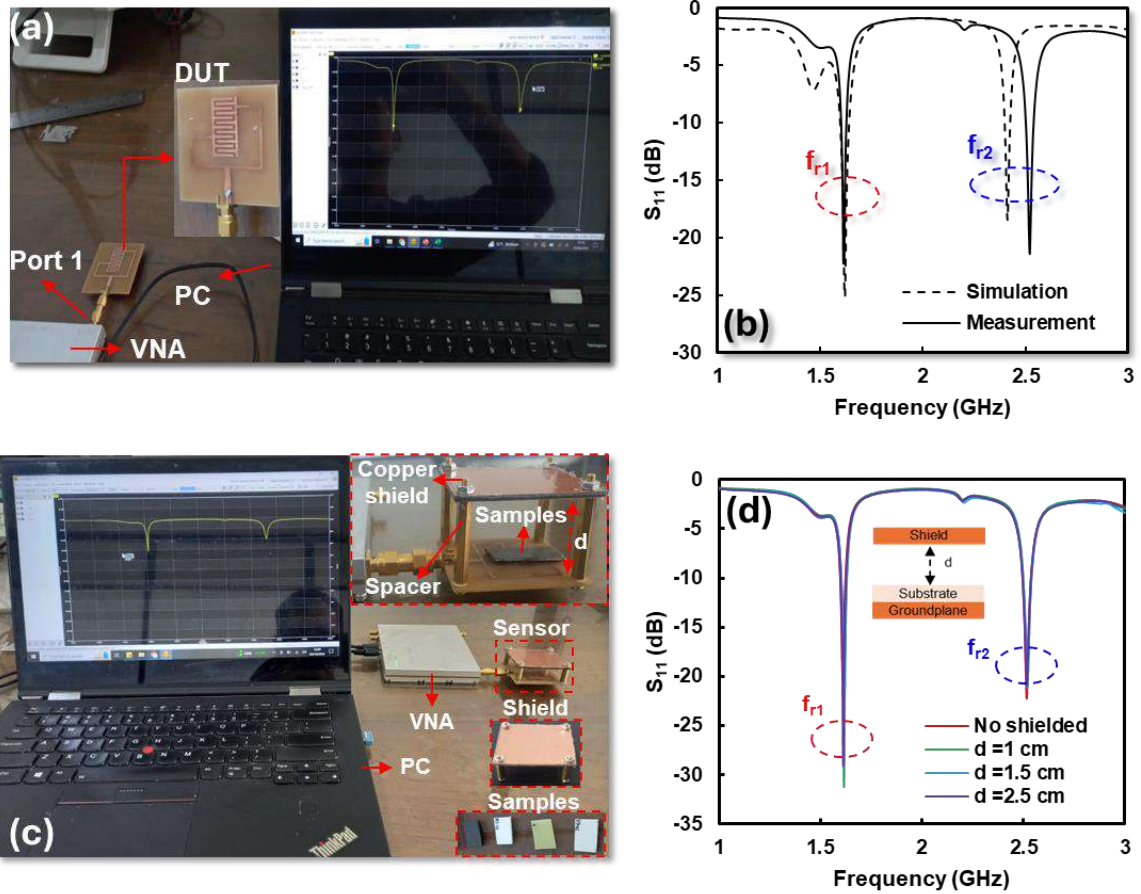


FIGURE 6. Measurement of the proposed sensor; (a) measurement setup, (b) comparison of simulation and measurement, (c) measurement setup of proposed sensor with copper shield, (d) measurement result from proposed sensor with and without shield

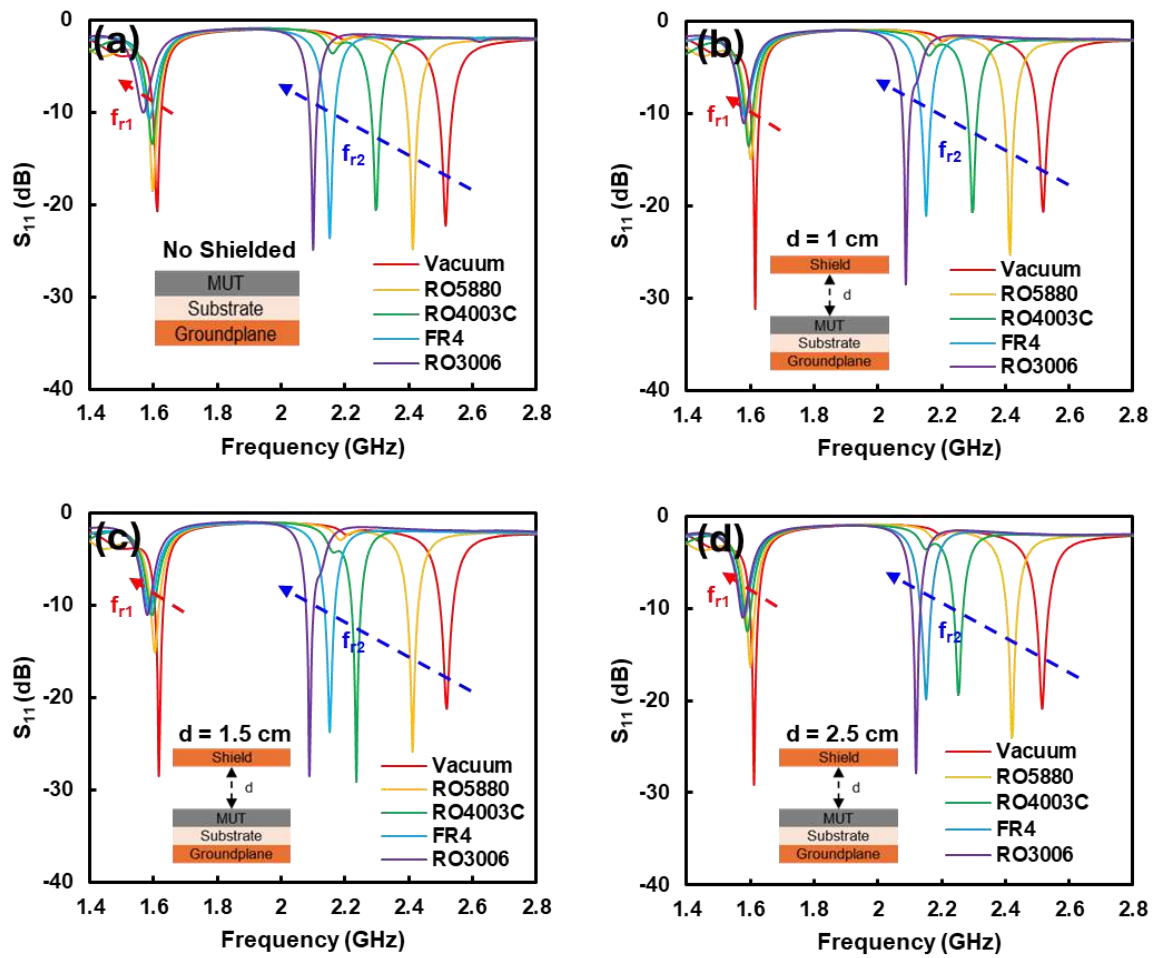


FIGURE 7. Shift of resonance frequency of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

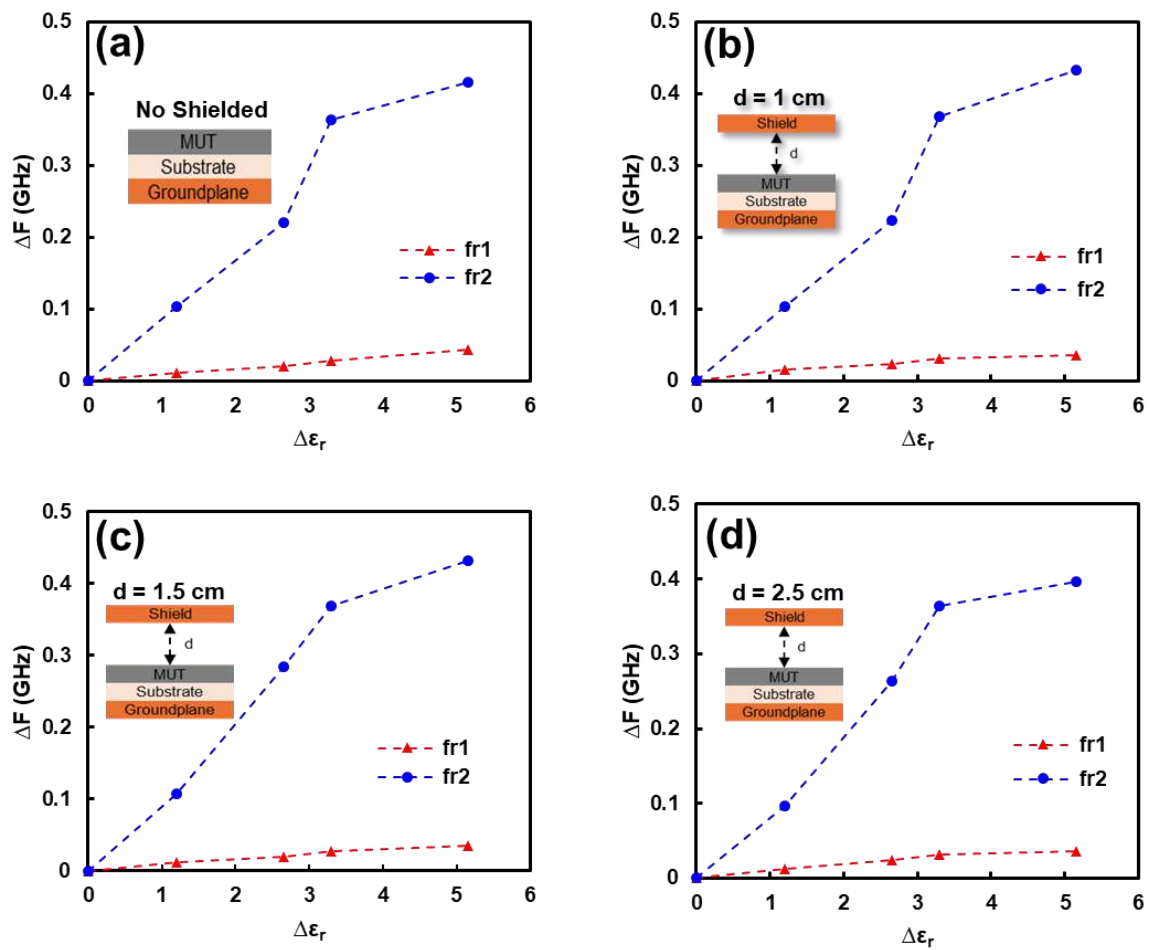


FIGURE 8. ΔF of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

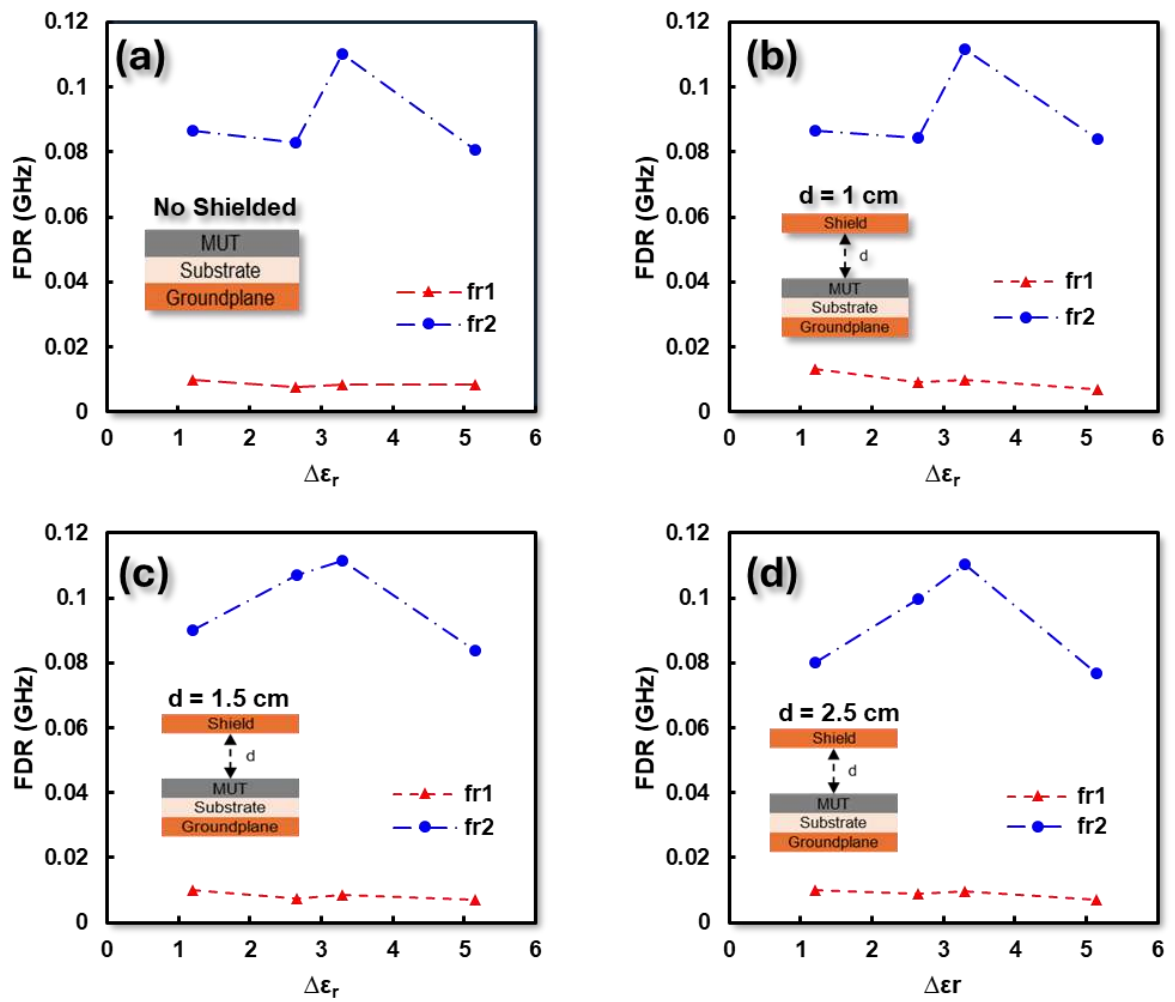


FIGURE 9. Frequency detection resolution of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with copper shielded of $d = 1$ cm, (c) with copper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with copper shielded of $d = 2.5$ cm

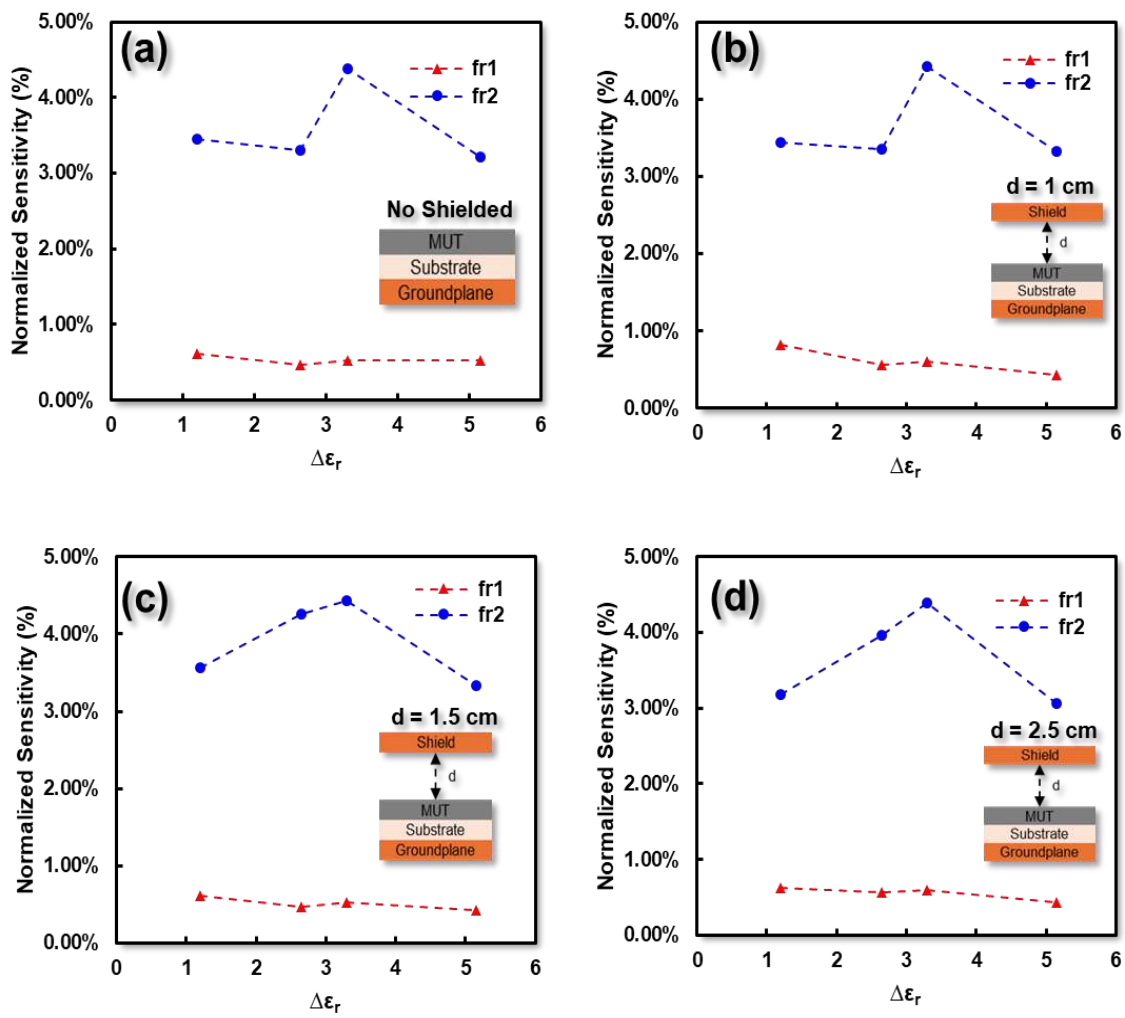


FIGURE 10. Normalized sensitivity of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

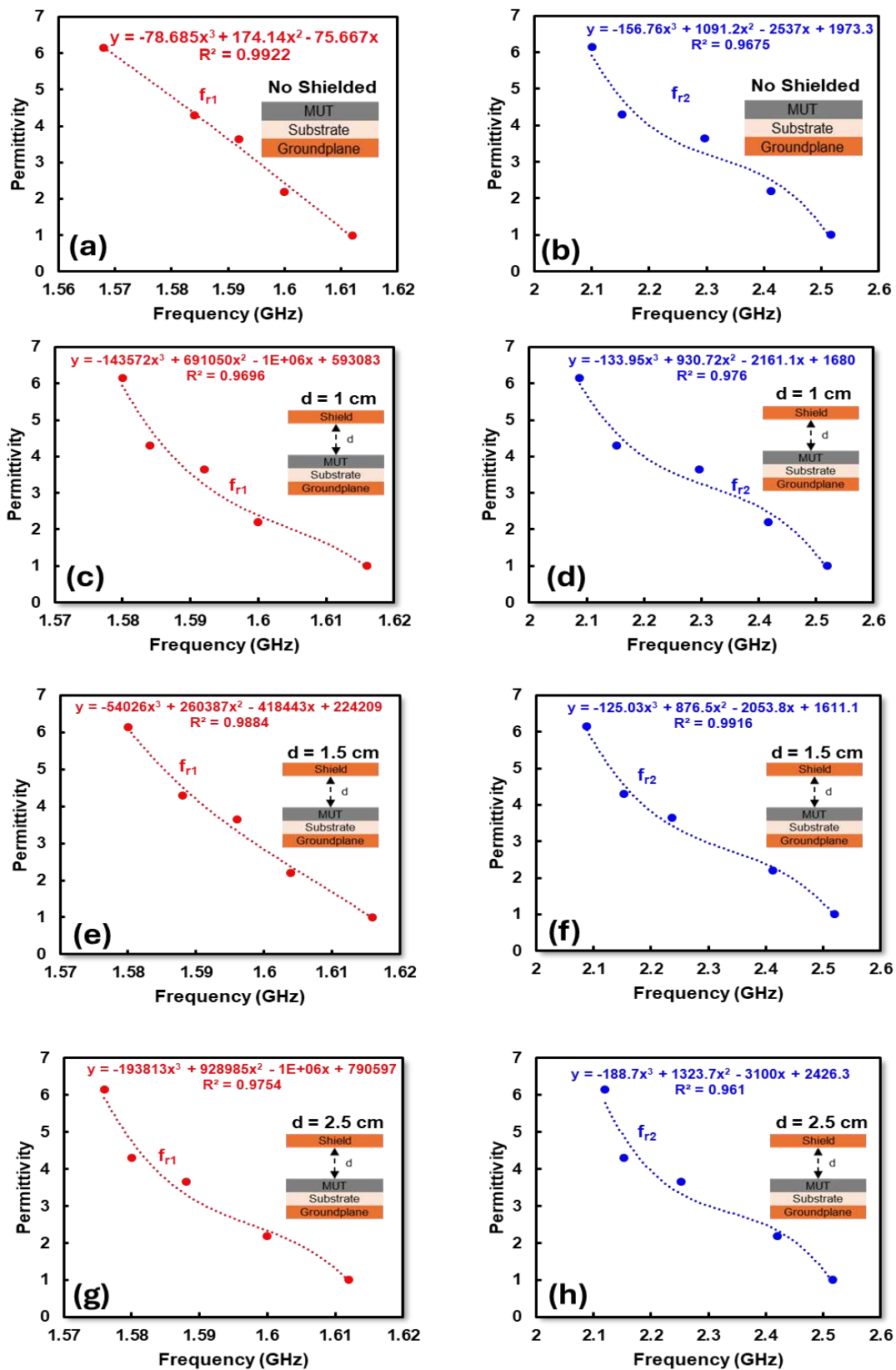


FIGURE 11. Polynomial equation based on resonant frequency and permittivity; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm

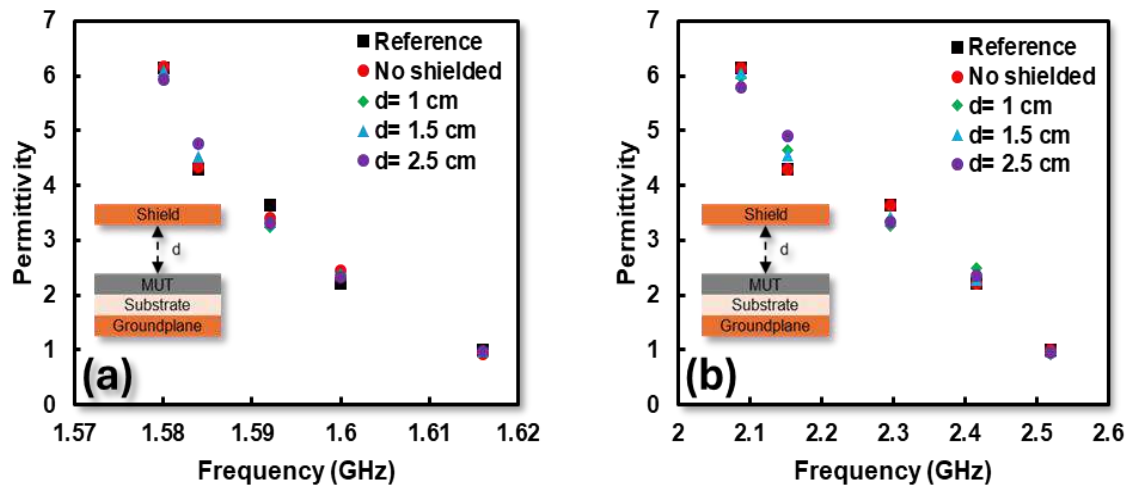


FIGURE 12. Accuracy of proposed sensor; (a) without shielded, (b) with cooper shielded of $d = 1$ cm, (c) with cooper shielded of $d = 1.5$ cm, (d) with cooper shielded of $d = 2.5$ cm



Assoc. Prof. Syah Alam S Pd, MT, PhD <syah.alam@trisakti.ac.id>

IEEE Access - Manuscript ID Access-2024-48908

1 message

IEEE Access <onbehalf@manuscriptcentral.com>

Thu, Dec 5, 2024 at 11:19 PM

Reply-To: ieeeaccess@ieee.orgTo: syah.alam@trisakti.ac.id, indra@trisakti.ac.id, lydia_sari@trisak.ac.id, deiny.wp@gmail.com, r.deiny@ui.ac.id, deiny_wp@trisakti.ac.id, teguhfirmansyah@untirta.ac.id, muh.iqbal@itb.ac.id, mudrikalaydrus@mercubuana.ac.id, zahriladha@utem.edu.my

05-Dec-2024

Dear Authors,

Your manuscript entitled "High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in *IEEE Access*.

If you are receiving this email, that means you are listed as an author. If you do **not** approve of being listed as a co-author on this article, please reach out to ieeeaccess@ieee.org as soon as possible.

As a reminder, *IEEE Access* is a fully open access journal. Open Access provides unrestricted access to published articles via *IEEE Xplore*. In lieu of paid subscriptions, authors are required to pay an article processing charge of \$1,995 (plus applicable local taxes) after the article has been accepted for publication.

Your manuscript ID is Access-2024-48908. Please mention the manuscript ID in all future correspondence to the *IEEE Access* Editorial Office. The submitting author can view the manuscript status at any time by checking their author dashboard on the [IEEE Author Portal](#). If the submitting author needs to update their email address after submission, please reach out to ieeeaccess@ieee.org so we can assist you in doing so.

** Please note that any change to the author list after the article has been submitted is considered rare and exceptional, and the decision to allow such changes rests with the Editor. Once the list and order of authors has been established, the list and order of authors should not be altered without permission of all living authors of that article and will still be subject to editorial review.

Thank you again for submitting your manuscript to *IEEE Access*.

Sincerely,

IEEE Access Editorial Office



Assoc. Prof. Syah Alam S Pd, MT, PhD <syah.alam@trisakti.ac.id>

2024 IEEE Access Best Video Award: Access-2024-48908

1 message

IEEE Access <onbehalf@manuscriptcentral.com>

Wed, Dec 11, 2024 at 2:40 PM

Reply-To: das.suhasini@ieee.org

To: syah.alam@trisakti.ac.id, indra@trisakti.ac.id, lydia_sari@trisak.ac.id, deiny.wp@gmail.com, r.deiny@ui.ac.id, deiny_wp@trisakti.ac.id, teguhfirmansyah@untirta.ac.id, muh.iqbal@itb.ac.id, mudrikalaydrus@mercubuana.ac.id, zahriladha@utem.edu.my

11-Dec-2024

Dear Dr. Alam:

We have started the review process for your article, but wanted to mention the “2024 IEEE Access Best Video Award Part 2” which is detailed below:

- All corresponding authors who submit a video along with an article submission are eligible to participate. The grand prize winner will receive a \$500 USD Amazon gift card, and two (2) promotional prize winners will each receive a \$350 USD Amazon gift card. Winners will be determined by an Editorial Panel who will select the best videos based on presentation of technical content, innovation, and quality of the video.
- Videos should not exceed 100 MB and may be simulations, demonstrations, or interviews with other experts, for example, and can be a great tool to enhance and promote your article.

If you have already submitted a video with your submission and would like to participate, please just [agree to and sign the Terms and Conditions](#).

If you have not yet submitted video but would like to participate, please inform me within 24 hours. Kindly note that you will need to send me the video within 3 days.

Please keep in mind that all submissions must be original and cannot include any third party content. Submissions that include third party content may be disqualified.

For additional information on the 2024 IEEE Access Best Video Award Part 2, please [see the Terms and Conditions](#).

Thank you for your submission to IEEE Access.

Best Regards,

Ms. Suhasini Das



[JOURNAL HOME](#)

[AUTHOR GUIDELINES](#)

[EDITORIAL CONTACT](#)

Submission Overview

Initial Submission This submission is under consideration and cannot be edited

[Download Reviewer PDF](#)

Article Type	Regular Manuscript
Title	High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline



Assoc. Prof. Syah Alam S Pd, MT, PhD <syah.alam@trisakti.ac.id>

IEEE Access - Manuscript ID Access-2024-48908

1 message

IEEE Access <onbehalf@manuscriptcentral.com>

Thu, Dec 5, 2024 at 11:19 PM

Reply-To: ieeeaccess@ieee.orgTo: syah.alam@trisakti.ac.id, indra@trisakti.ac.id, lydia_sari@trisak.ac.id, deiny.wp@gmail.com, r.deiny@ui.ac.id, deiny_wp@trisakti.ac.id, teguhfirmansyah@untirta.ac.id, muh.iqbal@itb.ac.id, mudrikalaydrus@mercubuana.ac.id, zahriladha@utem.edu.my

05-Dec-2024

Dear Authors,

Your manuscript entitled "High Stability Single-Port Dual Band Microwave Sensor Based on Interdigital Capacitor Structure with Asymmetry Branch Feedline" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in *IEEE Access*.

If you are receiving this email, that means you are listed as an author. If you do **not** approve of being listed as a co-author on this article, please reach out to ieeeaccess@ieee.org as soon as possible.

As a reminder, *IEEE Access* is a fully open access journal. Open Access provides unrestricted access to published articles via *IEEE Xplore*. In lieu of paid subscriptions, authors are required to pay an article processing charge of \$1,995 (plus applicable local taxes) after the article has been accepted for publication.

Your manuscript ID is Access-2024-48908. Please mention the manuscript ID in all future correspondence to the *IEEE Access* Editorial Office. The submitting author can view the manuscript status at any time by checking their author dashboard on the [IEEE Author Portal](#). If the submitting author needs to update their email address after submission, please reach out to ieeeaccess@ieee.org so we can assist you in doing so.

** Please note that any change to the author list after the article has been submitted is considered rare and exceptional, and the decision to allow such changes rests with the Editor. Once the list and order of authors has been established, the list and order of authors should not be altered without permission of all living authors of that article and will still be subject to editorial review.

Thank you again for submitting your manuscript to *IEEE Access*.

Sincerely,

IEEE Access Editorial Office

Manuscript Files

Name	Type of File	Size
[1] Full Manuscript IEEE Access SA 051224.docx	Main Document - MS Word	1.9 MB
[1] Full Manuscript IEEE Access SA 051224.pdf	Main Document - PDF	1.3 MB
[3] Supplementary Files IEEE Access.pdf	Figure	1.2 MB
[2] Cover Letter IEEE Access SA 051224.docx	Cover letter / Comments	21.9 KB

Abstract

This paper proposes a single-port interdigital capacitor (IDC) resonator based on asymmetric branch feed line with high stability performance for permittivity detection of solid materials with a permittivity range of 1 - 6.15. The microwave sensor is designed using a single-port resonator operating at two different resonant frequencies $f_{r1} = 1.61$ GHz and $f_{r2} = 2.52$ GHz. Dual band frequency was proposed using asymmetric branch feed line. In addition, to confine the electric field concentration of the resonator, an interdigital capacitor (IDC) structure is proposed as a solution. Furthermore, a copper shield was proposed as conducting material to evaluate performance stability of the sensor from disturbance effect with range of $d = 1$ cm - 2.5 cm. Based on the measurement results, the sensor has high stability both without and with disturbance with an a Frequency Detection Resolution (FDR) of 0.009 - 0.4 GHz/ $\Delta\epsilon_r$, a Normalized Sensitivity (NS) of 0.4% - 4.4%, and an average accuracy of 90% - 95% for both resonance frequencies, respectively. Therefore, this sensor can be recommended for several applications such as biomedical industry, pharmaceuticals and material quality control especially for outdoor measurements that are potentially affected by electromagnetic interference and disturbance.

Authors

Title	Name	Email	Country/Location
Dr.	Syah Alam ¹ Corresponding Author	syah.alam@tr isakti.ac.id	Indonesia

Title	Name	Email	Country/Location
	Submitting Author		
	 0000-0002-0162-8364		
Prof.	Indra Surjati ¹	indra@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	Lydia Sari ¹	lydia_sari@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	R. Deiny Mardian ¹	deiny_wp@trisakti.ac.id	Indonesia
Dr.	Teguh Firmansyah ²	teguhfirmansyah@untirta.ac.id	Indonesia
Dr.	Muhammad Iqbal ³	muh.iqbal@itb.ac.id	Indonesia
Dr.	Slamet Widodo ⁴	lamet_ae39@apps.ipb.ac.id	Indonesia
Prof.	Mudrik Alaydrus ⁵	mudrikalaydrus@mercubunana.ac.id	Indonesia
Prof.	Zahriladha Zakria ⁶	zahriladha@utem.edu.my	Malaysia

Affiliations

We will use the best match from our database to determine if your manuscript is eligible for special benefits. Matched organizations are for internal purposes and will not be published.

1. Department of Electrical Engineering, Universitas Trisakti, West Jakarta, Indonesia

Matched organization

Universitas Trisakti
WEST JAKARTA, Indonesia

2. Department of Electrical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kota Serang, Banten 42124, Indonesia

Matched organization

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
SERANG, Indonesia

3. Advanced Functional Materials Laboratory,
Faculty of Industrial Technology, Institut
Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

Matched organization

Institut Teknologi Bandung
BANDUNG, Indonesia

4. Department of Mechanical and Biosystem
Engineering, IPB University, Bogor 16680,
Indonesia

Matched organization

Institut Pertanian Bogor Departemen Teknik Mesin dan
Biosistem
BOGOR, Indonesia

5. Department of Electrical Engineering,
Universitas Mercu Buana, West Jakarta,
Indonesia

Matched organization

Universitas Mercu Buana Fakultas Teknik
WEST JAKARTA, Indonesia

6. Faculty of Electronic and Computer Technology
and Engineering, Universiti Teknikal Malaysia
Melaka (UTeM), Malaysia

Matched organization

Universiti Teknikal Malaysia Melaka
DURIAN TUNGGAL, Malaysia

Funders

Is this research supported by funding?

- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Grant numbers

- 058/E5/PG.02.00/PL.BATCH.2/2024

Additional Information

Keywords

- Microwave sensors
- Permittivity measurement
- Resonators

Subject Category

- Microwave theory and techniques
- Sensors

Has this manuscript been submitted previously to this journal?

No, it wasn't submitted previously

Informed Consent

No, there were no human subjects

Animal Subjects

There were no animal subjects

Opposed Reviewers

No response provided

Cover letter / Comments

Yes, I'd like to add a cover letter or comments

(see [Manuscript Files](#))

Has this manuscript been previously published, in whole or in part?

No, this manuscript has never been previously presented or published.

Do you have code (software) associated with your manuscript?

No, I do not have code associated with my manuscript

Do you have data associated with your manuscript?

No, I do not have data associated with my manuscript

Select a Manuscript Type

Research Article

History

Submitted On 5 December 2024 by Syah Alam

> [Show this version history.](#)

Submission Started 5 December 2024 by Syah Alam

[Atypon Privacy policy](#) | [Terms & Conditions](#) | [Contact us](#) | [Help](#) | [Cookie Preferences](#)

©Atypon Systems, LLC [Atypon ReX](#)

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SYAH ALAM S.Pd, M.T

Alamat : Jl Rambutan Barat IV No.23

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 0391/E5/DT.05.00/2024 dan Perjanjian / Kontrak Nomor Nomor 058/E5/PG.02.00/PL.BATCH.2/2024 mendapatkan Anggaran Penelitian Perancangan Detektor Komposisi dan Adulterasi Susu Sapi Segar Secara Kontak dan Non-Kontak Berbasis Antena Sensor Sebesar Rp.133.530.000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
1	Bahan Substrat PCB Rogers RO5880, Konektor RP SMA, Timah Sanfix, Lotfet Pasta, Kabel Pigtail 50 Ohm, Spacer Nylon, Akriilik, Adapter Female ke N-Male, Sampel Susu	Rp.88.730.000	Rp.88.730.000
2	Pengumpulan Data Simulasi perancangan sensor, FGD Progress Report Penelitian	Rp.5.400.000	Rp.5.400.000
3	Analisis Data Analisis data hasil simulasi dan pengukuran	Rp.4.000.000	Rp.4.000.000
4	Sewa Peralatan Pengukuran medan dekat antena, Pengukuran medan jauh dari antena di chamber	Rp.12.000.000	Rp.12.000.000
5	Pelaporan Luaran Wajib Pabrikasi Sensor, Luaran Hak Cipta, Publikasi Jurnal Internasional, Rapat Penyusunan Luaran dan Laporan Kemajuan Penelitian	Rp.23.400.000	Rp.23.400.000
6	Lain-lain -	Rp.0	Rp.0
Realisasi (100 %)			Rp.133.530.000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan Penelitian dimaksud.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 15-12-2024, Ketua



METERAN
TEMPEL

2FC05AMX038796026

SYAH ALAM S.Pd, M.T
NIP/NIPK 0315048604