

SURAT TUGAS

Nomor: **853**/AU.00.02/USAkti/WR.1/VIII/2024

Dasar : Surat dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor: 0667/E5/AL.04/2024, 30 Mei 2024 perihal Pengumuman Penerima Pendanaan Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2024

MENUGASKAN

Kepada : Nama-nama terlampir

Untuk : Berperan serta secara aktif melaksanakan kegiatan Penelitian sebagai Penerima Pendanaan Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Tahun Anggaran 2024.

Waktu : Juni sampai Desember 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 : 6 Agustus 2024



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

Tembusan kepada Yth.:

1. Dekan FK, FTSP, FTI, FTKE, FALTL Usakti
2. Nama yang tersebut dalam lampiran
3. Arsip

Lampiran Surat Tugas

Nomor : 853/AU.00.02/USAkti/WR.1/VIII/2024

Tanggal : 6 Agustus 2024

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
1	ANITA SITAWATI (2360/USAkti)	FALTL	1. RINI FITRI 2. WISELY YAHYA	3677/USAkti 3834/USAkti	Perencanaan Ruang Terbuka Hijau di Koridor Jalan Tol Berbasis Carbon Capture	PFR
2	ANNISA BHIKUNING (2660/USAkti)	FTI	1. SANDI APRIANDI SETIAWAN	Mahasiswa	Komposisi Emphy Fruit Bunch Fiber, Biogas dan Mesocarp Fiber Sebagai Energi Terbarukan Pengganti Palm Kernel Shell Pada Industri Kelapa Sawit	PPS-PTM
3	LISA OKSRI NElfIA (3505/USAkti)	FTSP	1. ASTRI RINANTI 2. BAMBANG ENDRO YUWONO 3. YOHANS SUNARNO 4. ALVITO TRIADJI PAMUNGKAS	2234/USAkti 1736/USAkti - Mahasiswa	Uji Karakteristik Modular Beton Apung Ramah Lingkungan Untuk PLTS Terapung Menuju Transisi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia	PFR
4	LISA SAMURA (3475/USAkti)	FTKE	1. MUSTAMINA MAULANI 2. EVI ULINA MARGARETA SITUMORANG 3. BAMBANG SOEGIJONO 4. KARTIKA FAJARWATI HARTONO 5. SURYO PRAKOSO 6. MUHAMMAD YUNAN HASBI	3441/USAkti - - 3196/USAkti 2907/USAkti BRIN	Fabrikasi dan Karakterisasi Paduan CuZn Fasa Alfa yang Dibuat dengan Metode Casting	PFR
5	LYDIA SARI (3498/USAkti)	FTI	1. SYAH ALAM 2. INDRA SURJATI	3617/USAkti 1331/USAkti	Analisis Kinerja Kode BCH-Raptor Untuk Keandalan Transmisi Data Wireless Body Area Network Pada Aplikasi Tele-Health	PFR
6	MONICA DWI HARTANTI (2903/USAkti)	FK	1. RAHMI AMTHA 2. RADITYA WRATSANGKA 3. ASTRI RINANTI 4. TJHWA ENDANG DJUANA 5. CHRISTINA SAFIRA WHINIE LESTARI 6. DIDIK TULLUS SUBEKTI 7. MOHAMMAD DESEM 8. TALITHA ASMARIA 9. ILHAM HIZBULLOH 10. CHRISTOPHER ANDREW TEGUH	2082/USAkti 3287/USAkti 2234/USAkti 2381/USAkti BRIN BRIN BRIN BRIN BRIN Mahasiswa Mahasiswa	Inovasi Alat Deteksi HPV berbasis mRPA-NALFIA: Alternatif Metode PCR Murah, Mudah dan Cepat untuk Skrining Kanker Serviks di Puskesmas	PT

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
7	MUHAMMAD TAUFIQ FATHADDIN (2029/USAKTI)	FTKE	1. DWI ATTY MARDIANA 2. ANDRIAN SUTIADI	3413/USAKTI Mahasiswa	Analisis Karakteristik dan Kinerja Xathan Gum dengan Penambahan Porang untuk Peningkatan Perolehan Minyak Menuju Teknologi Ramah Lingkungan	PPS-PTM
8	MUHAMMAD TAUFIQ FATHADDIN (2029/USAKTI)	FTKE	1. DWI ATTY MARDIANA 2. FAJRI MAULIDA	3413/USAKTI Mahasiswa	Pengembangan Chemical Flooding dengan Surfaktan Lerak untuk Peningkatan Perolehan Minyak Menuju Teknologi Ramah Lingkungan Menggunakan Sumber Alam Hayati Non-Edible	PPS-PTM
9	PARWADI (2126/USAKTI)	FTI	1. RINA FITRIANA 2. RAHMI MAULIDYA	2552/USAKTI 2469/USAKTI	Pengembangan Model Dan Optimalisasi Pengukuran Kinerja Industri Manufaktur Untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	PFR
10	RINA FITRIANA (2552/USAKTI)	FTI	1. JUNIATI GUNAWAN 2. DADAN UMAR DAIHANI 3. INDRYADI HARDI	2432/USAKTI 1131/USAKTI Mahasiswa	Pengembangan Model Pengukuran Tingkat Maturitas Keberlangsungan Bisnis pada Industri Keuangan Bank Perekonomian Rakyat di Indonesia	PPS-PDD
11	RINI FITRI (3677/USAKTI)	FALTL	1. NUR INTAN SIMANGUNSONG 2. HERIKA 3. DIBYANTI DANNISWARI	1962/USAKTI 3707/USAKTI 3902/USAKTI	Perencanaan Lanskap Agroforestri Berbasis Kopi untuk Pengelolaan DAS Ciliwung Hulu Berkelanjutan	PFR
12	SULIESTYAH (1437/USAKTI)	FTKE	1. EDY JAMAL TUHETERU 2. ARIANI DWI ASTUTI 3. INDAH PERMATA SARI	2685/USAKTI 2228/USAKTI 3736/USAKTI	Optimasi Karbon Aktif Batubara Sebagai Adsorben Logam Fe Dan Mn Dalam Pengolahan Limbah Air Asam Tambang	PFR
13	SURYO PRAKOSO (2907/USAKTI)	FTKE	1. MUHAMMAD BURHANNUDINNUR 2. SIGIT RAHMAWAN 3. FIRMAN HERDIANSYAH 4. BILLY ARIOSENO PRAKOSO	1978/USAKTI 3611/USAKTI 3202/USAKTI Mahasiswa	Analisis Pengaruh Kualitas Batuan Terhadap Eksponen Saturasi dan Akurasi Hasil Perhitungan Saturasi Air	PFR
14	SYAH ALAM (3617/USAKTI)	FTI	1. INDRA SURJATI 2. YULI KURNIANINGSIH 3. SURYADI	1331/USAKTI 2277/USAKTI Mahasiswa	Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G)	PFR
15	TEDDY SISWANTO (2612/USAKTI)	FTI	1. SYANDRA SARI 2. HARTINI 3. CHAERUDIN SAPUTRA 4. PUTRI MARESTI	2553/USAKTI 2019/USAKTI Mahasiswa Mahasiswa	<i>Integrasi Artificial Intelligence</i> Pada Aplikasi ERP Untuk Fabrikasi <i>Furniture</i>	PFR
16	WINNIE SEPTIANI (2684/USAKTI)	FTI	1. EMELIA SARI 2. YUNITA FRISCILLIA SURYANA	3632/USAKTI Mahasiswa	<i>Sustainable Systematic Layout Planning</i> Fasilitas Pengolahan Sampah Plastik Terintegrasi untuk Mendukung <i>Green Economy</i>	PPS-PTM

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
17	WINNIE SEPTIANI (2684/USAKTI)	FTI	1. DEDY SUGIARTO 2. CITRA PUSPITA RANI	2128/USAKTI Mahasiswa	Integrasi ISM dan DEMATEL untuk Penyusunan Strategi Implementasi Sistem Informasi Hidrologi dan Kualitas Air (SIHKA) Direktorat Bina Teknik SDA PUPR	PPS-PTM



Wakil Rektor I
Universitas Trisakti

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



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
LEMBAGA LAYANAN PENDIDIKAN TINGGI
WILAYAH III**

Jalan. SMA Negeri 14 Cawang Jakarta Timur 13630
Telepon (021) 8090275 Faksimile. (021) 8094679
Laman: <http://lldikti3.kemdikbud.go.id>

**KONTRAK
PELAKSANAAN PROGRAM BANTUAN OPERASIONAL PERGURUAN TINGGI
NEGERI PROGRAM PENELITIAN
TAHUN ANGGARAN 2024**

ANTARA

LLDIKTI WILAYAH III

DENGAN

**UNIVERSITAS TRISAKTI
NOMOR: 832/LL3/AL.04/2024**

Pada hari ini Rabu tanggal Dua Puluh Enam bulan Juni tahun Dua Ribu Dua Puluh Empat, kami yang bertandatangan di bawah ini:

1. Toni Toharudin : Kepala LLDIKTI WILAYAH III yang berkedudukan di Jl. SMA Negeri 14 No. 4, Cawang, Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama LLDIKTI WILAYAH III untuk selanjutnya disebut PIHAK KESATU;
2. Muhammad Burhannudinnur : Wakil Rektor I Universitas Trisakti yang berkedudukan di Jl. Kyai Tapa No.1, Grogol, Jakarta Barat dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama peneliti di UNIVERSITAS TRISAKTI untuk selanjutnya disebut PIHAK KEDUA;

PIHAK KESATU dan PIHAK KEDUA secara bersama-sama selanjutnya disebut PARA PIHAK.

PARA PIHAK sepakat menandatangani Kontrak Pelaksanaan Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian Tahun Anggaran 2024 yang selanjutnya disebut Kontrak, dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut.

Pasal 1
RUANG LINGKUP

- (1) Ruang lingkup Kontrak ini meliputi pelaksanaan penelitian tahun anggaran 2024 sebanyak 17 (Tujuh Belas) judul penelitian.
- (2) Daftar judul penelitian, nama pelaksana penelitian, skema, jangka waktu penelitian, dan besarnya biaya masing-masing judul penelitian tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Kontrak ini.

Pasal 2
SUMBER DANA

Pendanaan program penelitian tahun anggaran 2024 berdasarkan kontrak ini bersumber pada 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-1 tanggal 4 Februari 2024.

Pasal 3
NILAI KONTRAK

- (1) PIHAK KESATU memberikan pendanaan dengan nilai Kontrak sebesar Rp1.606.620.000,00 (Satu Milyar Enam Ratus Enam Juta Enam Ratus Dua Puluh Ribu Rupiah) kepada PIHAK KEDUA.
- (2) Nilai kontrak sebagaimana dimaksud pada ayat 1 digunakan untuk pembiayaan pelaksanaan program penelitian, pajak, dan biaya lain yang sah.
- (3) Pembayaran nilai kontrak sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan melalui mekanisme transfer dengan detail rekening Institusi sebagai berikut:

Nama Institusi	: UNIVERSITAS TRISAKTI
Nomor Rekening	: 376501634
Nama penerima pada rekening	: LEMBAGA PENELITIAN DAN PKM USAKTI
Nama Bank	: BNI
Alamat Bank	: Komp. Pertokoan Duta Merlin, Jl. Gajah Mada No.3-5. RT.2/RW.8, Petojo Utara, Gambir, Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 10130
NPWP Institusi	: 021880695036000

- (4) PIHAK KESATU tidak bertanggungjawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana, yang disebabkan oleh kesalahan PIHAK KEDUA dalam menyampaikan informasi detail rekening institusi sebagaimana dimaksud pada ayat (3).

Pasal 4
NILAI DAN TAHAPAN PEMBAYARAN

- (1) nilai kontrak sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (1) dibayarkan oleh PIHAK KESATU kepada PIHAK KEDUA secara bertahap kepada rekening Institusi melalui mekanisme transfer yaitu:
 - a. tahap kesatu sebesar *Rp1.285.296.000,00 (Satu Milyar Dua Ratus Delapan Puluh Lima Juta Dua Ratus Sembilan Puluh Enam Ribu Rupiah)* dan;
 - b. tahap kedua sebesar *Rp321.324.000,00 (Tiga Ratus Dua Puluh Satu Juta Tiga Ratus Dua Puluh Empat Ribu Rupiah)*.
- (2) pembayaran tahap kesatu sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a, akan dibayarkan setelah revisi proposal penelitian dan surat pernyataan kesanggupan pelaksanaan penelitian diunggah oleh para peneliti dibawah koordinasi PIHAK KEDUA ke laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU.
- (3) apabila pembayaran tahap kesatu sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a diterima oleh pelaksana penelitian setelah tanggal 23 September 2024, maka Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) dapat diunggah paling lambat 2 (dua) minggu setelah dana diterima melalui laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU.
- (4) pembayaran tahap kedua sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b dibayarkan setelah pelaksana penelitian mengunggah Laporan Kemajuan/Antara Penelitian dan Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) ke laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU paling lambat tanggal 30 September 2024.
- (5) PIHAK KEDUA mewajibkan pelaksana penelitian menyampaikan bukti telah menyelesaikan seluruh pekerjaan dengan mengunggah dokumen sebagai berikut:
 - a. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB); dan
 - b. laporan akhir pelaksanaan penelitian.pada laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU paling lambat tanggal 16 Desember 2024.
- (6) Pasal 4 ayat (5) menjadi dasar pelaporan keuangan tahunan Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat.
- (7) Apabila pembayaran tahap kedua sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b diterima oleh pelaksana penelitian setelah tanggal 6 Desember 2024, maka Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) dapat diunggah paling lambat 2 (dua) minggu setelah dana diterima melalui laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU.

Pasal 5
HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) PIHAK KESATU mempunyai hak menerima dokumen hasil unggahan dari penerima dana penelitian sebagai berikut:
 - a. menerima catatan harian penelitian
 - b. menerima laporan kemajuan penelitian;
 - c. menerima laporan akhir tahun atau laporan akhir pelaksanaan penelitian;
 - d. melakukan pemantauan dan evaluasi;
 - e. menerima surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 - f. menerima hasil laporan pemantauan dan evaluasi dari PIHAK KEDUA;
- (2) PIHAK KEDUA mempunyai hak mendapatkan dana penelitian dari PIHAK KESATU.

- (3) PIHAK KESATU mempunyai kewajiban:
 - a. memberikan pendanaan penelitian kepada PIHAK KEDUA;
 - b. melakukan pemantauan dan evaluasi; dan
 - c. melakukan validasi luaran penelitian;
- (4) PIHAK KEDUA mempunyai kewajiban:
 - a. membuat Kontrak Pelaksanaan dengan ketua pelaksana penelitian yang paling sedikit memuat:
 1. nama pelaksana;
 2. judul penelitian;
 3. ruang lingkup penelitian;
 4. sumber dana penelitian;
 5. nilai kontrak penelitian;
 6. tata cara dan tahapan pembayaran;
 7. jangka waktu pelaksanaan dan penyelesaian;
 8. hak dan kewajiban para pihak;
 9. batas akhir pelaporan;
 10. pencantuman pemberi dana penelitian dalam publikasi ilmiah;
 11. luaran penelitian;
 12. serah terima luaran penelitian;
 13. kesanggupan pelaksanaan penelitian; dan
 14. sanksi; dan
 15. adendum kontrak.
 - b. bertanggung jawab atas terlaksananya penelitian berdasarkan Kontrak ini yang dilakukan oleh para peneliti;
 - c. memantau pengunggahan ke laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU atas dokumen sebagai berikut:
 1. revisi proposal penelitian;
 2. surat pernyataan kesanggupan pelaksanaan penelitian;
 3. catatan harian pelaksanaan penelitian;
 4. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
 5. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 6. laporan akhir pelaksanaan penelitian; dan
 7. luaran penelitian.
 - d. melakukan pemantauan dan evaluasi secara internal serta penilaian kemajuan pelaksanaan program penelitian setelah ketua pelaksana mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke laman yang ditentukan oleh PIHAK KESATU.
 - e. Melakukan koordinasi dengan penerima dana penelitian apabila dalam pelaksanaan penelitian terdapat sisa dana serta melaporkan kepada PIHAK KESATU.

Pasal 6

PENGGANTIAN KEANGGOTAAN

- (1) Apabila terjadi perubahan susunan tim pelaksana penelitian karena tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka PIHAK KEDUA wajib menunjuk pengganti serta mengirimkan surat permohonan perubahan kepada PIHAK KESATU.
- (2) Perubahan terhadap susunan tim pelaksana penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari PIHAK KESATU.
- (3) Dalam hal tidak terdapat pengganti ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat dan ketentuan dalam panduan penelitian, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

Pasal 7
PAJAK

Ketentuan pengenaan pajak pertambahan nilai dan/atau pajak penghasilan dalam rangka pelaksanaan kegiatan penelitian ini wajib dilaksanakan oleh perguruan tinggi penerima dana penelitian sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang perpajakan.

Pasal 8
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian berdasarkan Kontrak ini diatur dan dikelola sesuai dengan ketentuan peraturan dan perundang-undangan.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian wajib mencantumkan PIHAK KESATU sebagai pemberi dana.
- (3) Pencantuman nama PIHAK KESATU sebagaimana dimaksud pada ayat (2), paling sedikit mencantumkan nama Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

Pasal 9
INTEGRITAS AKADEMIK

- (1) Pelaksana penelitian wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggung jawab dalam kegiatan penelitian yang dilaksanakan.
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum, dan profesionalitas serta kewajiban sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas tertinggi dalam semua aspek penelitian.

Pasal 10
KEADAAN KAHAR

- (1) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) suatu keadaan yang terjadi di luar kehendak PARA PIHAK dalam kontrak, dan tidak dapat diperkirakan sebelumnya, sehingga kewajiban yang ditentukan dalam kontrak menjadi tidak dapat dipenuhi, maka PARA PIHAK sepakat tidak akan saling menuntut pelaksanaan pemenuhan ketentuan dalam Kontrak Penelitian ini.
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi 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 kahar (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada ayat (2), maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan kahar (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan PARA PIHAK dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

Pasal 11
JANGKA WAKTU KONTRAK DAN ADENDUM

- (1) Kontrak ini berlaku sejak tanggal 11 Juni 2024 sampai dengan tanggal 16 Desember 2024.
- (2) Kontrak ini dapat diubah berdasarkan kesepakatan tertulis PARA PIHAK yang dituangkan dalam suatu adendum dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Kontrak ini.

Pasal 12
PENYELESAIAN PERSELISIHAN

- (1) Dalam hal terjadi perselisihan atau perbedaan penafsiran terkait Kontrak Penelitian ini, PARA PIHAK sepakat untuk menyelesaikannya secara musyawarah dan mufakat.
- (2) Dalam hal musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak tercapai, PARA PIHAK sepakat untuk menyelesaikannya melalui Pengadilan Negeri Jakarta Pusat.

Pasal 13
SANKSI

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Pelaksanaan Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian Tahun Anggaran 2024 telah berakhir, PIHAK KEDUA tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6 ayat (2), maka PIHAK KEDUA dikenai sanksi administratif.
- (2) Apabila dikemudian hari terbukti bahwa judul-judul proposal yang diajukan pada program penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran/itikad buruk yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan penelitian tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA dikenai sanksi administratif.
- (3) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan (2) dapat berupa penghentian pembayaran dan/atau Ketua Tim Pelaksana Penelitian tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.

Pasal 14
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 15
PENUTUP

Kontrak Penelitian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK dalam rangkap 3 (tiga) asli bermeterai cukup yang biayanya dibebankan kepada PIHAK KEDUA, untuk tiap-tiap PIHAK dan memiliki kekuatan hukum yang sama.

PIHAK KESATU,



Toni Toharudin
NIP. 097004011995121001

PIHAK KEDUA,



Muhammad Burhannudinnur

KONTRAK PENELITIAN TAHUN ANGGARAN 2024

**ANTARA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS TRISAKTI**

**DENGAN
PENELITI UNIVERSITAS TRISAKTI**

Nomor: 181/A/LPPM-P/USAkti/VI/2024

Pada hari ini Kamis tanggal Dua Puluh Tujuh bulan Juni 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 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:

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 1 dari 10
		

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara;
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** lanjutan 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-1 tanggal 4 Februari 2024 dan berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 832/LL3/AL.04/2024 Tanggal 26 Juni 2024
- (2) Identitas penelitian ini adalah sebagai berikut:
- a) Ketua Peneliti : Syah Alam
 - b) Judul penelitian : Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G)


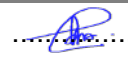
Pasal 3
Jangka Waktu

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
 - b) HKI (hak cipta) poster penelitian
 - c) Purwarupa antena mikrostrip
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.



Pasal 5
Jangka Waktu

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

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


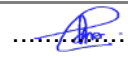
- (1) **PIHAK PERTAMA** mempunyai kewajiban:
- a. Menyalurkan pendanaan penelitian kepada **PIHAK KEDUA**;
 - b. Melakukan pemantauan dan evaluasi;
 - c. Melakukan penilaian luaran penelitian; dan
 - d. Melakukan validasi luaran tambahan.
- (2) **PIHAK KEDUA** mempunyai kewajiban:
- a. **Menandatangani 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;

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

6. Luaran penelitian.
- (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:
- Bentuk/ukuran kertas A4;
 - Warna cover putih
 - 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-1 tanggal 4 Februari 2024

dan

Berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor: 832/LL3/AL.04/2024 Tanggal 26 Juni 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

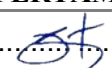
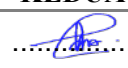
Penilaian Luaran

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

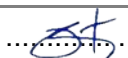
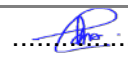
PIHAK PERTAMA menyalurkan pendanaan penelitian sebesar: **Rp128.870.000,- (seratus dua puluh delapan juta delapan ratus tujuh puluh ribu rupiah)** yang dibebankan kepada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2024, Nomor SP DIPA-

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

023.17.1.690523/2024 revisi ke-1 tanggal 4 Februari 2024 dan berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 832/LL3/AL.04/2024 Tanggal 26 Juni 2024

- (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.103.096.000,- (seratus tiga juta sembilan puluh enam ribu rupiah)**
 - b) Pembayaran Tahap Kedua sebesar 20% yaitu **Rp.25.774.000,- (dua puluh lima juta tujuh ratus tujuh puluh empat 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 rekening : **Syah Alam**
Nomor Rekening : **0357984328**
Nama Bank : **BNI**
Alamat Bank : **Jl. Pecenongan No. 52. Jakarta Pusat**
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:


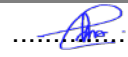
1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan.

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



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

PIHAK KEDUA

Svah Alam
0315048604

Mengetahui

Dekan



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

PIHAK PERTAMA	PIHAK KEDUA	Hal 10 dari 10

SURAT TUGAS

Nomor: 853/AU.00.02/USAkti/WR.1/VIII/2024

Dasar : Surat dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor: 0667/E5/AL.04/2024, 30 Mei 2024 perihal Pengumuman Penerima Pendanaan Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2024

MENUGASKAN

Kepada : Nama-nama terlampir

Untuk : Berperan serta secara aktif melaksanakan kegiatan Penelitian sebagai Penerima Pendanaan Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Tahun Anggaran 2024.

Waktu : Juni sampai Desember 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 : 6 Agustus 2024



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

Tembusan kepada Yth.:

1. Dekan FK, FTSP, FTI, FTKE, FALTL Usakti
2. Nama yang tersebut dalam lampiran
3. Arsip

Lampiran Surat Tugas

Nomor : 853/AU.00.02/USAkti/WR.1/VIII/2024

Tanggal : 6 Agustus 2024

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
1	ANITA SITAWATI (2360/USAkti)	FALTL	1. RINI FITRI 2. WISELY YAHYA	3677/USAkti 3834/USAkti	Perencanaan Ruang Terbuka Hijau di Koridor Jalan Tol Berbasis Carbon Capture	PFR
2	ANNISA BHIKUNING (2660/USAkti)	FTI	1. SANDI APRIANDI SETIAWAN	Mahasiswa	Komposisi Emphy Fruit Bunch Fiber, Biogas dan Mesocarp Fiber Sebagai Energi Terbarukan Pengganti Palm Kernel Shell Pada Industri Kelapa Sawit	PPS-PTM
3	LISA OKSRI NELFIA (3505/USAkti)	FTSP	1. ASTRI RINANTI 2. BAMBANG ENDRO YUWONO 3. YOHANS SUNARNO 4. ALVITO TRIADJI PAMUNGKAS	2234/USAkti 1736/USAkti - Mahasiswa	Uji Karakteristik Modular Beton Apung Ramah Lingkungan Untuk PLTS Terapung Menuju Transisi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia	PFR
4	LISA SAMURA (3475/USAkti)	FTKE	1. MUSTAMINA MAULANI 2. EVI ULINA MARGARETA SITUMORANG 3. BAMBANG SOEGIJONO 4. KARTIKA FAJARWATI HARTONO 5. SURYO PRAKOSO 6. MUHAMMAD YUNAN HASBI	3441/USAkti - - 3196/USAkti 2907/USAkti BRIN	Fabrikasi dan Karakterisasi Paduan CuZn Fasa Alfa yang Dibuat dengan Metode Casting	PFR
5	LYDIA SARI (3498/USAkti)	FTI	1. SYAH ALAM 2. INDRA SURJATI	3617/USAkti 1331/USAkti	Analisis Kinerja Kode BCH-Raptor Untuk Keandalan Transmisi Data Wireless Body Area Network Pada Aplikasi Tele-Health	PFR
6	MONICA DWI HARTANTI (2903/USAkti)	FK	1. RAHMI AMTHA 2. RADITYA WRATSANGKA 3. ASTRI RINANTI 4. TJHWA ENDANG DJUANA 5. CHRISTINA SAFIRA WHINIE LESTARI 6. DIDIK TULUS SUBEKTI 7. MOHAMMAD DESEM 8. TALITHA ASMARIA 9. ILHAM HIZBULLOH 10. CHRISTOPHER ANDREW TEGUH	2082/USAkti 3287/USAkti 2234/USAkti 2381/USAkti BRIN BRIN BRIN BRIN BRIN Mahasiswa Mahasiswa	Inovasi Alat Deteksi HPV berbasis mRPA-NALFIA: Alternatif Metode PCR Murah, Mudah dan Cepat untuk Skrining Kanker Serviks di Puskesmas	PT

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
7	MUHAMMAD TAUFIQ FATHADDIN (2029/USAKTI)	FTKE	1. DWI ATTY MARDIANA 2. ANDRIAN SUTIADI	3413/USAKTI Mahasiswa	Analisis Karakteristik dan Kinerja Xathan Gum dengan Penambahan Porang untuk Peningkatan Perolehan Minyak Menuju Teknologi Ramah Lingkungan	PPS-PTM
8	MUHAMMAD TAUFIQ FATHADDIN (2029/USAKTI)	FTKE	1. DWI ATTY MARDIANA 2. FAJRI MAULIDA	3413/USAKTI Mahasiswa	Pengembangan Chemical Flooding dengan Surfaktan Lerak untuk Peningkatan Perolehan Minyak Menuju Teknologi Ramah Lingkungan Menggunakan Sumber Alam Hayati Non-Edible	PPS-PTM
9	PARWADI (2126/USAKTI)	FTI	1. RINA FITRIANA 2. RAHMI MAULIDYA	2552/USAKTI 2469/USAKTI	Pengembangan Model Dan Optimalisasi Pengukuran Kinerja Industri Manufaktur Untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	PFR
10	RINA FITRIANA (2552/USAKTI)	FTI	1. JUNIATI GUNAWAN 2. DADAN UMAR DAIHANI 3. INDRYADI HARDI	2432/USAKTI 1131/USAKTI Mahasiswa	Pengembangan Model Pengukuran Tingkat Maturitas Keberlangsungan Bisnis pada Industri Keuangan Bank Perekonomian Rakyat di Indonesia	PPS-PDD
11	RINI FITRI (3677/USAKTI)	FALTL	1. NUR INTAN SIMANGUNSONG 2. HERIKA 3. DIBYANTI DANNISWARI	1962/USAKTI 3707/USAKTI 3902/USAKTI	Perencanaan Lanskap Agroforestri Berbasis Kopi untuk Pengelolaan DAS Ciliwung Hulu Berkelanjutan	PFR
12	SULIESTYAH (1437/USAKTI)	FTKE	1. EDY JAMAL TUHETERU 2. ARIANI DWI ASTUTI 3. INDAH PERMATA SARI	2685/USAKTI 2228/USAKTI 3736/USAKTI	Optimasi Karbon Aktif Batubara Sebagai Adsorben Logam Fe Dan Mn Dalam Pengolahan Limbah Air Asam Tambang	PFR
13	SURYO PRAKOSO (2907/USAKTI)	FTKE	1. MUHAMMAD BURHANNUDINNUR 2. SIGIT RAHMAWAN 3. FIRMAN HERDIANSYAH 4. BILLY ARIOSENO PRAKOSO	1978/USAKTI 3611/USAKTI 3202/USAKTI Mahasiswa	Analisis Pengaruh Kualitas Batuan Terhadap Eksponen Saturasi dan Akurasi Hasil Perhitungan Saturasi Air	PFR
14	SYAH ALAM (3617/USAKTI)	FTI	1. INDRA SURJATI 2. YULI KURNIANINGSIH 3. SURYADI	1331/USAKTI 2277/USAKTI Mahasiswa	Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G)	PFR
15	TEDDY SISWANTO (2612/USAKTI)	FTI	1. SYANDRA SARI 2. HARTINI 3. CHAERUDIN SAPUTRA 4. PUTRI MARESTI	2553/USAKTI 2019/USAKTI Mahasiswa Mahasiswa	<i>Integrasi Artificial Intelligence</i> Pada Aplikasi ERP Untuk Fabrikasi <i>Furniture</i>	PFR
16	WINNIE SEPTIANI (2684/USAKTI)	FTI	1. EMELIA SARI 2. YUNITA FRISCILLIA SURYANA	3632/USAKTI Mahasiswa	<i>Sustainable Systematic Layout Planning</i> Fasilitas Pengolahan Sampah Plastik Terintegrasi untuk Mendukung <i>Green Economy</i>	PPS-PTM

No	Ketua Peneliti	Fak	Anggota Peneliti	NIK	Judul Penelitian	Skema
17	WINNIE SEPTIANI (2684/USAKTI)	FTI	1. DEDY SUGIARTO 2. CITRA PUSPITA RANI	2128/USAKTI Mahasiswa	Integrasi ISM dan DEMATEL untuk Penyusunan Strategi Implementasi Sistem Informasi Hidrologi dan Kualitas Air (SIHKA) Direktorat Bina Teknik SDA PUPR	PPS-PTM



Wakil Rektor I
Universitas Trisakti

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



PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN FUNDAMENTAL - REGULER

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 Penelitian Fundamental - Reguler: tahun 2024 s.d. tahun 2024

1. JUDUL PENELITIAN

Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G)

Bidang Fokus	Tema	Topik (jika ada)	Prioritas Riset
Teknologi Informasi dan Komunikasi	Pengembangan Infrastruktur TIK	Teknologi antena dan propagasi gelombang radio	Green Economy

Rumpun Ilmu Level 1	Rumpun Ilmu Level 2	Rumpun Ilmu Level 3
ILMU TEKNIK	TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA	Teknik Elektro

Skema Penelitian	Strata (Dasar/Terapan/Pengembangan)	Nilai SBK	Target Akhir TKT	Lama Kegiatan
Penelitian Fundamental - Reguler	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 koordinasi dengan anggota peneliti lainnya -Melakukan permodelan dan simulasi disain antenna array MIMO untuk system komunikasi 5G. -Melakukan analisa hasil simulasi dari antenna yang dirancang -Menyusun luaran penelitian	257111
INDRA SURJATI 0316105601 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	-Melakukan pemilihan metode optimasi yang digunakan dalam proses perancangan antenna -Melakukan proses pengukuran dari antenna yang telah dirancang -Melakukan analisa dan hasil pengukuran dari antenna yang dirancang	5984150
YULI KURNIANINGSIH 0317076705 Anggota Universitas Trisakti	Dosen	Teknik Elektro	-Melakukan analisa hasil pengukuran dan simulasi antenna rancangan -Melakukan pendekatan permodelan matematis untuk system komunikasi MIMO yang digunakan pada system komunikasi 5G.	5984592
SURYADI 162012110004	Mahasiswa	Teknik Elektro	- Merancang antenna dan mensimulasikan dengan perangkat lunak EM	-

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
Mahasiswa Universitas Trisakti			simulation - Membantu proses pengukuran antena di laboratorium	

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	PIER Journal (https://www.jpier.org/)

5. ANGGARAN

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

Total RAB 1 Tahun Rp128.870.000,00

Tahun 1 Total Rp128.870.000,00

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Spacer Nylon	Unit	7000	10	70.000
Bahan	Barang Persediaan	Kabel Pigtail	Unit	30	150.000	4.500.000
Bahan	Barang Persediaan	Adapter SMA Female ke N Male	Unit	24	100.000	2.400.000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	FGD Progress Report Penelitian	OH	8	300.000	2.400.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	Melakukan simulasi dan optimasi antena rancangan	OJ	10	100.000	1.000.000
Sewa Peralatan	Ruang penunjang penelitian	Sewa ruangan anechoic chamber untuk pengujian medan jauh dari antena	Unit	10	1.000.000	10.000.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Sewa peralatan pengukuran medan dekat untuk antena	Unit	10	500.000	5.000.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Analisa Data Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena	Unit	4	500.000	2.000.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	engiolahan Data Hasil Pengukuran Antena	P (penelitian)	1	2.000.000	2.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya konsumsi rapat	Rapat Penyusunan Luaran dan Laporan Kemajuan Penelitian	OH	5	200.000	1.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Pabrikasi antena	Paket	17	500.000	8.500.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di	Biaya publikasi pada jurnal internasional bereputasi	Paket	1	15.000.000	15.000.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
	Jurnal Bereputasi Internasional					
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Pendaftaran KI	Pendaftaran Hak Cipta	Paket	1	400.000	400.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Lotfet	Unit	20	40.000	800.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Timah	Unit	24	100.000	2.400.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Konektor SMA Female	Unit	50	100.000	5.000.000
Bahan	ATK	Kertas A4	Paket	4	100.000	400.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Substrat PCB Antena (RO-5880)	Unit	6	11.000.000	66.000.000

*. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

istem Komunikasi Generasi Kelima (5G) telah diperkenalkan pada tahun 2017 dan menawarkan kecepatan transfer data yang sangat tinggi sampai dengan 20 Gbps (Gigabits per second). Berdasarkan regulasi yang ditetapkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemenkominfo) Republik Indonesia melalui Kepdirjen 235 Tahun 2018 terkait Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Uji Coba Penggunaan Teknologi IMT2020, salah satu frekuensi yang menjadi pilihan untuk digunakan adalah 3.5 GHz. Komunikasi 5G juga membutuhkan sistem multi masukan dan multi keluaran untuk dapat melayani pengguna dalam jumlah yang banyak (multi-user) dengan menggunakan beberapa antena yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal informasi. Kualitas dan jangkauan penerimaan sinyal informasi juga bergantung terhadap nilai penguatan (gain) dari antena yang digunakan. Untuk itu sangat diperlukan perangkat penerima untuk mendukung kelancaran proses komunikasi antara pengirim dan penerima. Urgensi dari penelitian ini adalah: diperlukannya perangkat antena yang memiliki performansi tinggi dan mudah dikoneksikan dengan perangkat telekomunikasi lainnya (modem, handphone) agar komunikasi antara pengirim dan penerima dapat berjalan dengan optimal, selain itu antenna yang dihasilkan juga dapat direkomendasikan sebagai perangkat TIK yang dapat mendukung pengembangan produk dalam negeri guna menekan import dari luar negeri. Tujuan dari penelitian ini adalah: merancang dan melakukan permodelan antena multi masukan dan multi keluaran dengan metode tersusun (array) untuk sistem komunikasi generasi kelima (5G) yang memiliki penguatan (gain) yang tinggi sehingga jangkauan dan area cakupan dari sinyal yang dipancarkan dan diterima oleh pengguna lebih baik serta memiliki disain yang kompak dan biaya pabrikan yang terjangkau. Penelitian ini mengusulkan antena mikrostrip MIMO berkinerja tinggi berdasarkan array planar seri dengan elemen 8x2 yang beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz untuk sistem komunikasi 5G. Spiral stub dan feed inset diusulkan untuk mengontrol koefisien refleksi dan bandwidth antena sementara array planar seri diusulkan untuk meningkatkan gain. Untuk mendukung sistem komunikasi MIMO, antena yang diusulkan dipisahkan menjadi dua port berbeda dengan jarak tertentu. Dari hasil pengukuran, antena yang diusulkan memiliki kinerja tinggi yang ditunjukkan dengan lebar pita 680 MHz (3 - 3,68 GHz) dan gain tinggi sebesar 17,8 dB pada frekuensi

resonansi 3,5 GHz. Selain itu, antena yang diusulkan memiliki mutual coupling dan diversity yang tinggi yang ditunjukkan dengan ECC dan DG masing-masing sebesar 0,001 dan 9,99 dB. Karya ini memberikan solusi untuk merancang antena mikrostrip berkinerja tinggi dan dapat diimplementasikan sebagai antena penerima untuk sistem komunikasi 5G. Selanjutnya, luaran penelitian yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah: publikasi pada jurnal internasional terindeks database bereputasi (Q3).

B. KATA KUNCI

antena; mikrostrip; multi keluaran multi masukan, penguatan, sistem komunikasi 5G

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

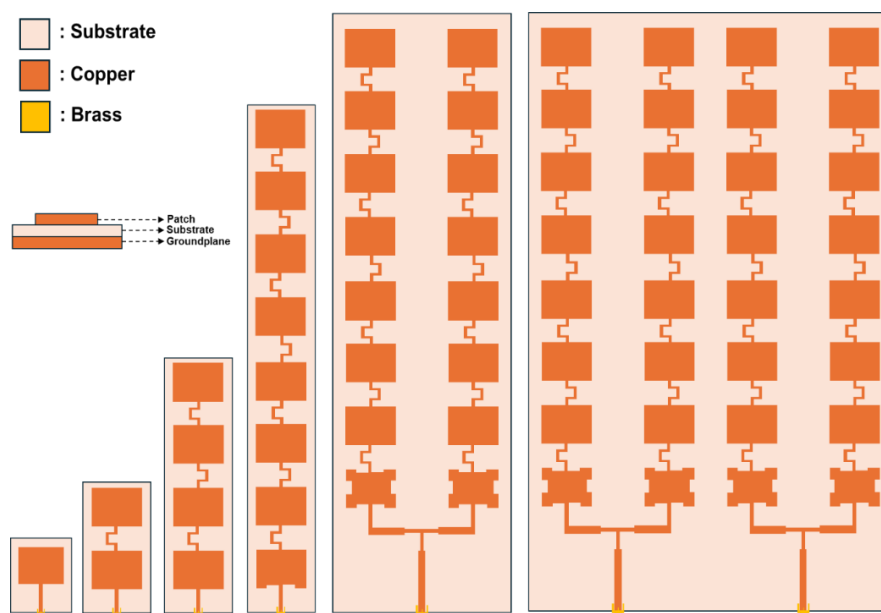
C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan 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.

1. Hasil Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan sesuai dengan usulan proposal dimana luaran yang dihasilkan adalah purwarupa antenna mikrostrip multi keluaran multi masukan untuk sistem komunikasi 5G. Dalam penelitian ini, antenna yang diusulkan dirancang menggunakan substrat FR-4 dengan konstanta dielektrik 4,3, tan delta 0,0265 dan ketebalan 1,6 mm. Elemen radiasi antenna diwakili oleh patch persegi panjang yang ditempatkan pada lapisan atas substrat sementara lapisan bawah berfungsi sebagai bidang tanah. Antenna dihubungkan langsung dengan konektor kuningan menggunakan saluran mikrostrip dengan impedansi 50 ohm. Tahapan dalam perancangan antenna yang diusulkan adalah sebagai berikut:

- Tahap 1 : Melakukan perancangan antenna dengan elemen tunggal untuk frekuensi 3.5 GHz
- Tahap 2 : Melakukan optimasi *bandwidth* dan *gain* dari antenna array seri dengan 2 elemen menggunakan *spiral stub*
- Tahap 3 : Melakukan optimasi *gain* dari antenna dengan array seri dengan 4 elemen dikombinasi dengan *spiral stub*.
- Tahap 4 : Melakukan optimasi *gain* dari antenna dengan *array* seri dengan 8 elemen dikombinasi dengan *spiral stub* dan *inset feed*
- Tahap 5 : Melakukan optimasi *gain* dari antenna dengan planar array seri dengan 8x2 elemen dikombinasi dengan *spiral stub* dan *inset feed*
- Tahap 6 : Melakukan optimasi *gain* dari antenna dengan planar array seri dengan 8x2 elemen dikombinasi dengan *spiral stub* dan *inset feed* dan terkonfigurasi secara MIMO dengan dua port
- Tahap 7 : Melakukan pabrikan dan validasi di laboratorium

Evolusi dan model antenna yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 1**. Antenna dirancang dan disimulasikan menggunakan simulasi EM berdasarkan HFSS 15.0. **Gambar 1** menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan dikembangkan dalam enam model. Model 1 mengusulkan antenna dengan satu elemen yang beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz yang direpresentasikan dalam **Gambar 1, a**. Lebih lanjut, model 2 dan model 3 mengusulkan antenna array dua elemen dan empat elemen berdasarkan konfigurasi seri dengan *spiral stub* yang ditunjukkan pada **Gambar 1, b, c**.



Gambar 1. Evolusi antenna yang diusulkan: a – elemen tunggal; b – array 2 elemen; c – array 4 elemen; d – array 8 elemen; e – array planar 8x2 elemen; f – array planar MIMO

Model 4 mengusulkan antenna array delapan elemen dengan menambahkan inset yang diumpankan ke patch antenna sementara model 5 mengusulkan antenna array dengan elemen 8x2 yang dikonfigurasi berdasarkan bidang datar horizontal yang ditunjukkan pada **Gambar 1, d, e**. Model terakhir mengusulkan antenna array dengan elemen 8x2 yang dikonfigurasi sebagai MIMO menggunakan dua port yang dipisahkan oleh jarak tertentu yang ditunjukkan pada **Gambar 1, f**. Penambahan *spiral stub* dan *fed inset* bertujuan untuk mengurangi koefisien refleksi sementara penambahan jumlah elemen pada antenna *array* bertujuan untuk meningkatkan *gain*.

Tahap pertama, antenna dirancang dengan patch persegi panjang untuk beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Panjang dan lebar patch antenna masing-masing direpresentasikan oleh W_p dan L_p yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$W_p = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\epsilon_r}{2}}}, \quad (1)$$

$$L_p = L_{eff} - \Delta_L, \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

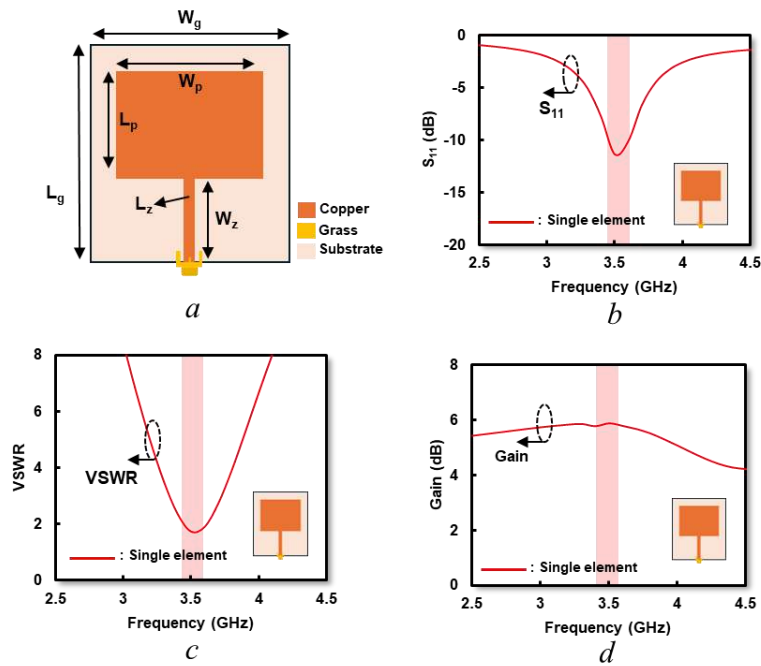
$$\Delta_L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}. \quad (5)$$

Dalam konteks ini, W_p dan L_p masing-masing menunjukkan lebar dan panjang patch; f_o menandakan frekuensi resonansi, ϵ_r menunjukkan permitivitas substrat, ϵ_{eff} mengacu pada permitivitas efektif substrat pada frekuensi resonansi tertentu, h menunjukkan ketebalan substrat, dan Δ_L memperhitungkan efek tepi medan fringing pada patch. Selain itu, saluran mikrostrip disarankan untuk mengelola impedansi dan koefisien refleksi antenna. Ukuran saluran mikrostrip secara signifikan dipengaruhi oleh impedansi masukan dan frekuensi resonansi yang dipilih. Dalam studi ini, impedansi masukan ditetapkan pada 50 ohm. Dimensi saluran mikrostrip dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$W_z = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}, \quad (6)$$

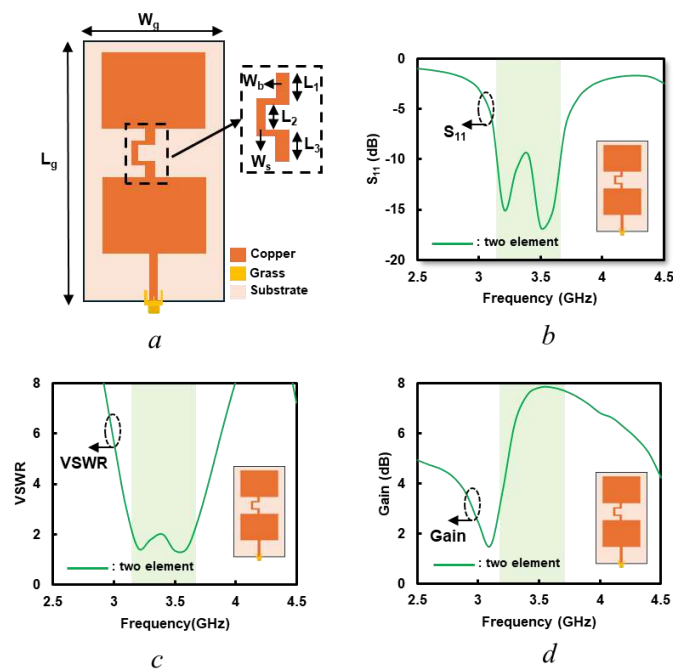
$$B = \frac{60\pi^2}{Z_o \sqrt{\epsilon_{eff}}}, \quad (7)$$

Dalam konteks ini, W_z merupakan lebar jalur mikrostrip, Z_o menunjukkan impedansi antenna, dan B merupakan konstanta impedansi. Impedansi antenna adalah 50 Ω , yang sesuai dengan impedansi konektor yang digunakan. Selain itu, panjang jalur mikrostrip (L_z) adalah $\frac{1}{4}$ dari panjang gelombang (λ_g), yang dihitung menggunakan persamaan berikut. Struktur dan hasil simulasi antenna dengan elemen tunggal ditunjukkan pada **Gambar 2**. Selanjutnya, **Gambar 2, a** menunjukkan dimensi W_p dan L_p masing-masing adalah 26 mm dan 22 mm. Selain itu, panjang dan lebar garis mikrostrip yang direpresentasikan oleh L_z dan W_z adalah 13 mm dan 3 mm. Dimensi bidang tanah ditunjukkan oleh W_g dan L_g dengan lebar dan panjang masing-masing adalah 35 mm dan 29 mm.



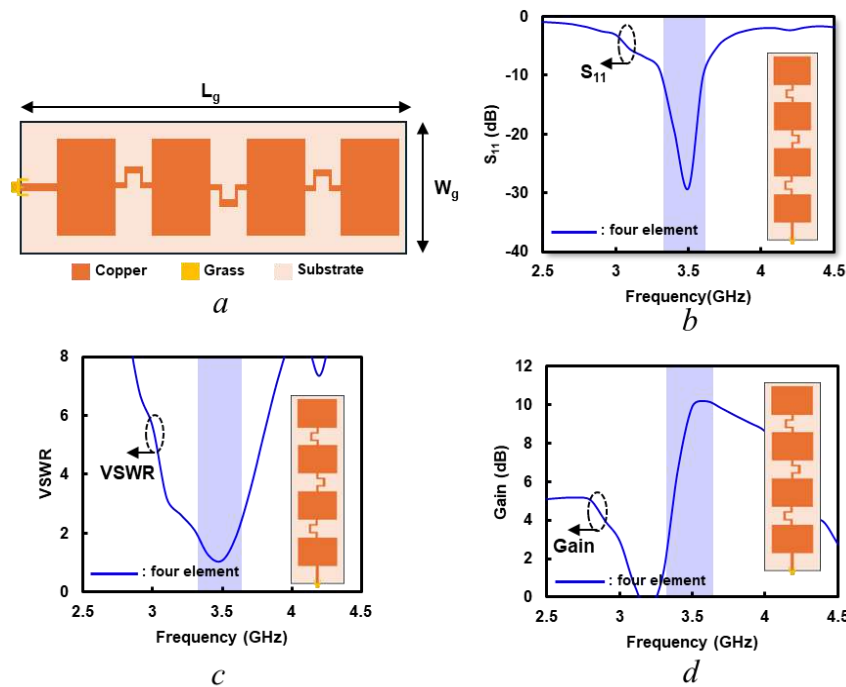
Gambar 2. Model antenna elemen tunggal: a – Desain elemen tunggal; b – Simulasi S_{11} ; c – Simulasi VSWR; d – Simulasi *gain*

Lebih lanjut, hasil simulasi S_{11} , VSWR pada **Gambar 2, a, b** menunjukkan bahwa antenna telah beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dengan S_{11} $-11,34$ dB dan VSWR 1,74. Penguatan antenna elemen tunggal ditunjukkan pada **Gambar 2, c** dengan penguatan puncak pada frekuensi resonansi 3,5 GHz adalah 5,8 dB. Namun, lebar pita yang diperoleh dari antenna elemen tunggal masih sempit pada 40 MHz (3,48 GHz – 3,52 GHz). Oleh karena itu, diperlukan optimasi untuk meningkatkan lebar pita antenna yang diusulkan. Tahap kedua adalah mengoptimalkan antenna elemen tunggal menjadi antenna array seri dengan dua elemen. Tujuan penambahan elemen adalah untuk meningkatkan *gain* sementara *bandwidth* antenna dioptimalkan dengan stub berbentuk spiral. Struktur dan hasil simulasi antenna array dengan dua elemen ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Model antenna array dengan dua elemen: a – Desain antenna array dua elemen dengan *spiral stub*; b – simulasi S_{11} ; c – simulasi VSWR; d – simulasi *gain*

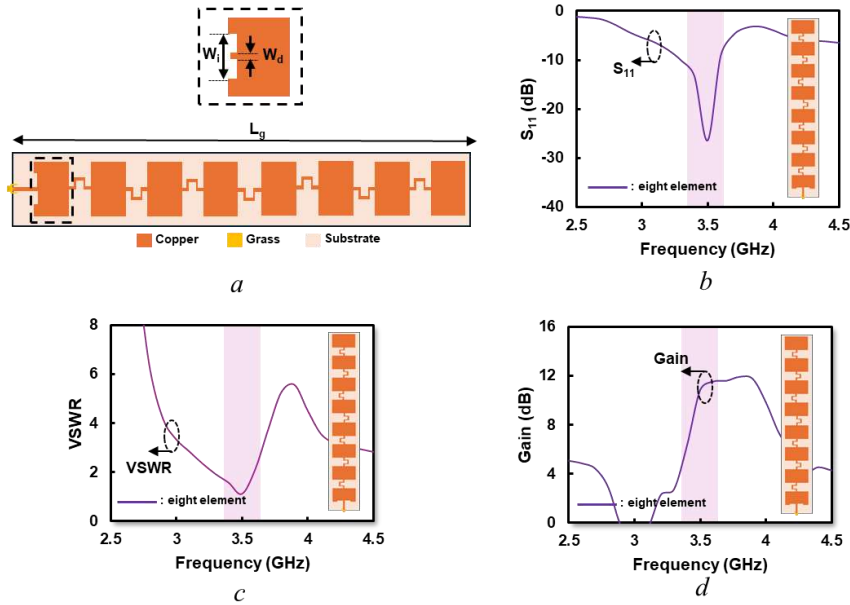
Gambar 3, a menunjukkan struktur antenna array dengan dua elemen yang dimensinya W_g dan L_g adalah 32 mm dan 71 mm. Selain itu, *spiral stub* diusulkan untuk menghubungkan antara elemen dengan panjang L_1 , L_2 dan L_3 sebesar 6 mm, 7 mm dan 6 mm. Selanjutnya, lebar *spiral stub* direpresentasikan oleh W_b dan W_s yang lebarnya masing-masing adalah 3 mm dan 1 mm. Hasil simulasi S_{11} dan VSWR dari antenna array dengan dua elemen ditunjukkan pada **Gambar 3, b, c** di mana S_{11} adalah $-16,79$ dB dan VSWR adalah 1,33 pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. *Bandwidth* yang diperoleh dari antenna array dengan dua elemen adalah 400 MHz (3,2 GHz–3,6 GHz) dengan *gain* puncak 7,82 dB. Temuan ini menunjukkan bahwa *spiral stub* dan penambahan elemen berhasil meningkatkan *bandwidth* dan *gain* antenna yang diusulkan. Namun, *gain* yang diperoleh masih rendah sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut. Oleh karena itu, *gain* antenna yang diusulkan dioptimalkan dengan cara menambah jumlah elemen array. Tahap ketiga adalah meningkatkan *gain* antenna dengan cara mengoptimasi array antenna menjadi empat elemen. Struktur dan hasil simulasi antenna array dengan empat elemen ditunjukkan pada **Gambar 4**.



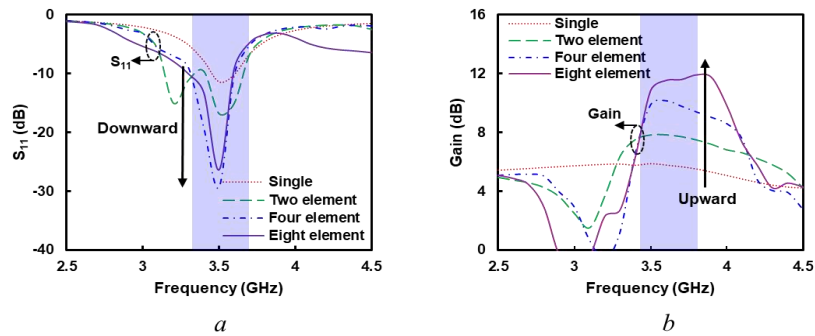
Gambar 4. Model antenna array dengan empat elemen: a – Desain antenna array empat elemen dengan *spiral stub*; b – simulasi S_{11} ; c – simulasi VSWR; d – simulasi *gain*

Gambar 4, a menggambarkan desain antenna array empat elemen, dengan W_g dan L_g masing-masing 32 mm dan 142 mm. Elemen-elemen array dihubungkan oleh *spiral stubs* yang memanjang ke arah yang berlawanan. Lebih jauh, simulasi S_{11} dan VSWR menunjukkan bahwa antenna memiliki kinerja tinggi dengan S_{11} dan VSWR sebesar $-29,28$ dB dan 1,07 pada frekuensi resonansi 3,5 GHz seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4, b, c**. *Bandwidth* yang diperoleh dari array antenna dengan empat elemen adalah 300 MHz (3,3 GHz – 3,6 GHz) dengan *gain* puncak 9,9 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 4, d**. Tahap keempat adalah mengoptimalkan array antenna dengan delapan elemen untuk meningkatkan *gain*. Lebih jauh, *inset feed* diusulkan untuk mengendalikan frekuensi resonansi antenna yang direpresentasikan oleh W_i dan W_d dengan dimensi masing-masing 7 mm dan 1 mm. Panjang dan lebar bidang tanah yang diwakili oleh W_g dan L_g adalah 32 mm dan 310 mm seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5, a**.

Simulasi S_{11} dan VSWR antenna array dengan delapan elemen yang diilustrasikan pada **Gambar 5, b, c** menunjukkan bahwa antenna telah beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dengan S_{11} sebesar $-26,37$ dB dan VSWR sebesar 1,10. Lebar pita yang diperoleh adalah 300 MHz (3,3 GHz – 3,6 GHz) sedangkan penguatan puncak adalah 10,82 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5, d**. Lebih lanjut, hasil simulasi S_{11} dan penguatan seluruh model antenna yang ditunjukkan pada Gambar 6, a, b diusulkan untuk mengevaluasi pengoptimalan antenna yang diusulkan, masing-masing. **Gambar 6, a** mengilustrasikan bahwa koefisien refleksi antenna yang diusulkan secara bertahap meningkat dari $-11,23$ dB menjadi $-26,27$ dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Hasil ini menunjukkan bahwa optimasi menggunakan antenna array delapan elemen, *spiral stub*, dan *inset feed* secara efektif meningkatkan kinerja antenna dalam hal koefisien refleksi hingga 134% dibandingkan dengan antenna satu elemen.



Gambar 5. Model antenna array dengan delapan elemen: a – Desain antenna array delapan elemen dengan *spiral stub* dan *inset fed*; b – simulasi S_{11} ; c – simulasi VSWR; d – simulasi *gain*



Gambar 6. Perbandingan hasil simulasi: a – simulasi S_{11} ; b – simulasi *gain*

Selain itu, lebar pita antenna yang diusulkan meningkat sebesar 650%, dari 40 MHz (3,48 GHz–3,52 GHz) menjadi 300 MHz (3,3 GHz–3,6 GHz). Hal ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan memenuhi spesifikasi untuk sistem komunikasi 5G yang beroperasi dalam rentang frekuensi 3,4–3,6 GHz. Selain itu, **Gambar 6, b** menunjukkan bahwa penguatan antenna meningkat seiring dengan peningkatan jumlah elemen dalam susunan antenna, dengan peningkatan penguatan sebesar 78% dari 5,8 dB menjadi 10,82 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Namun, penguatan antenna yang diusulkan masih di bawah target yang diinginkan ≥ 12 dB. Dengan demikian, diperlukan pengoptimalan tambahan untuk meningkatkan penguatan antenna.

2. Analisa Hasil Optimasi Perancangan Antena

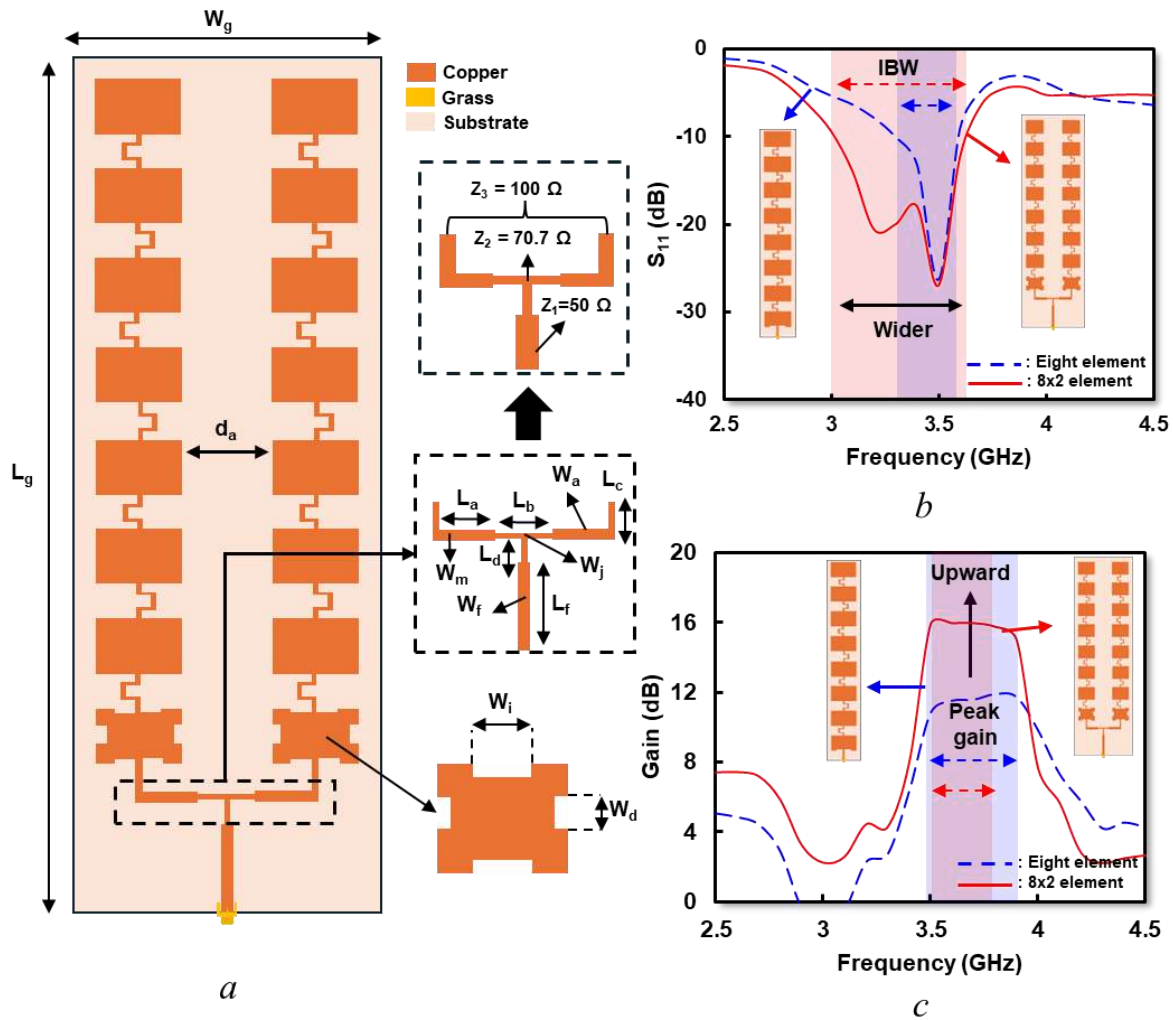
Untuk meningkatkan *gain*, antenna dikonfigurasi sebagai *array* planar seri dengan elemen 8x2. Elemen-elemen *array* antenna dihubungkan dengan pencocokan impedansi berdasarkan *T-stubs* sementara elemen antenna dioptimalkan dengan celah di tepi kanan dan kiri *patch*. Struktur antenna *array* planar seri dan hasil simulasi ditunjukkan pada **Gambar 7**. **Gambar 7, a** menunjukkan elemen-elemen antenna yang dipisahkan oleh jarak tertentu yang direpresentasikan oleh $d_a = 21$ mm yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$d_a = \frac{1}{8} \lambda, \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (9)$$

di mana d_a adalah jarak antar elemen, λ adalah panjang gelombang antenna dan c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). Perlu dicatat bahwa jarak antar elemen antenna planar array sangat memengaruhi *gain*. Lebih jauh, saluran mikrostrip dengan impedansi bertingkat digunakan sebagai pencocokan impedansi antar elemen antenna array yang direpresentasikan oleh $Z_1=50 \Omega$, $Z_2=70,7 \Omega$ dan $Z_3=100 \Omega$. Lebar saluran transmisi menentukan impedansinya, yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_3}, \quad (10)$$

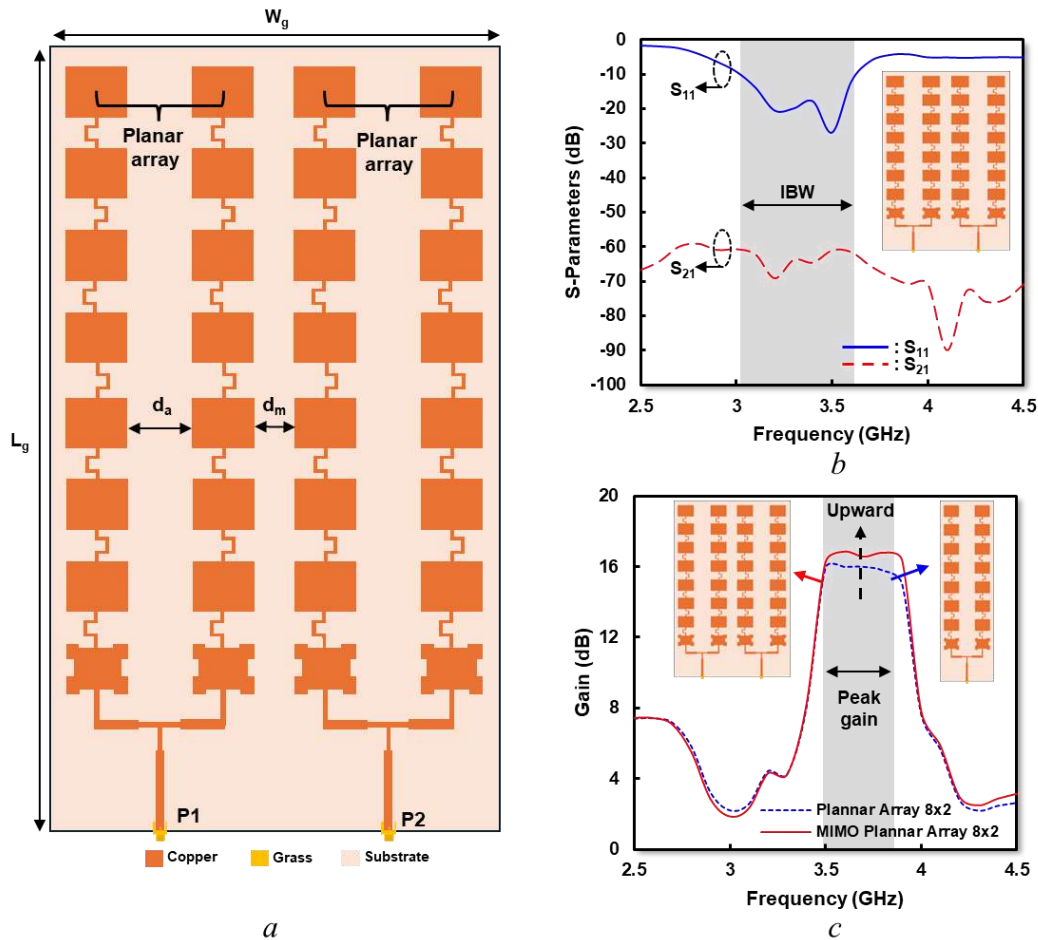


Gambar 7. Model antenna array planar seri: a – Desain elemen array planar 8x2 dengan spiral stub dan inset fed; b – simulasi S_{11} ; c – simulasi VSWR; d – simulasi gain

Lebar saluran mikrostrip dengan impedansi bertingkat direpresentasikan oleh $W_f = 3$ mm, $W_j = 1$ mm dan $W_m = 2$ mm sedangkan panjangnya direpresentasikan oleh $L_f = 33$ mm, $L_d = 8$ mm, $L_b = 23$ mm, $L_a = 12$ mm dan $L_c = 17$ mm. Dimensi bidang tanah yang ditunjukkan oleh W_g dan L_g masing-masing adalah 82 mm dan 353 mm. Lebih lanjut, **Gambar 7, b** menunjukkan bahwa lebar pita antenna yang diusulkan meningkat dari 300 MHz (3,3 GHz – 3,6 GHz) menjadi 600 MHz (3 GHz – 3,6 GHz). Selain itu, penguatan puncak antenna juga meningkat dari 10,82 menjadi 16,09 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7, c**. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan telah memenuhi spesifikasi untuk sistem komunikasi 5G dengan lebar pita ≤ 200 MHz dan penguatan ≥ 12 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz.

Langkah selanjutnya adalah mengoptimalkan antenna dengan konfigurasi MIMO yang terhubung langsung ke port 1 dan port 2. Perlu diperhatikan bahwa jarak antar antenna di setiap port sangat memengaruhi mutual coupling konfigurasi MIMO. *Mutual coupling* menunjukkan independensi antenna saat keduanya bekerja secara bersamaan. Standar minimum untuk *mutual coupling* adalah $S_{21} \leq -20$ dB pada frekuensi resonansi yang ditentukan. Selanjutnya, untuk mendukung sistem komunikasi 5G, antenna dikonfigurasi dalam MIMO dengan 2 port berbeda yang direpresentasikan oleh port 1 (P1) dan port 2 (P2) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 8, a**. Struktur antenna array planar seri dihubungkan ke P1 dan P2, masing-masing. Untuk mengendalikan

independensi kedua antenna dengan mutual coupling yang tinggi, antenna dipisahkan oleh jarak tertentu yang direpresentasikan oleh $d_m=21$ mm. Dimensi groundplane direpresentasikan oleh W_g dan L_g yang masing-masing adalah 164 mm dan 353 mm.



Gambar 8. Model antenna array planar seri MIMO: a – Desain elemen array planar MIMO 8x2; b – simulasi S_{11} ; c – simulasi VSWR; d – simulasi *gain*

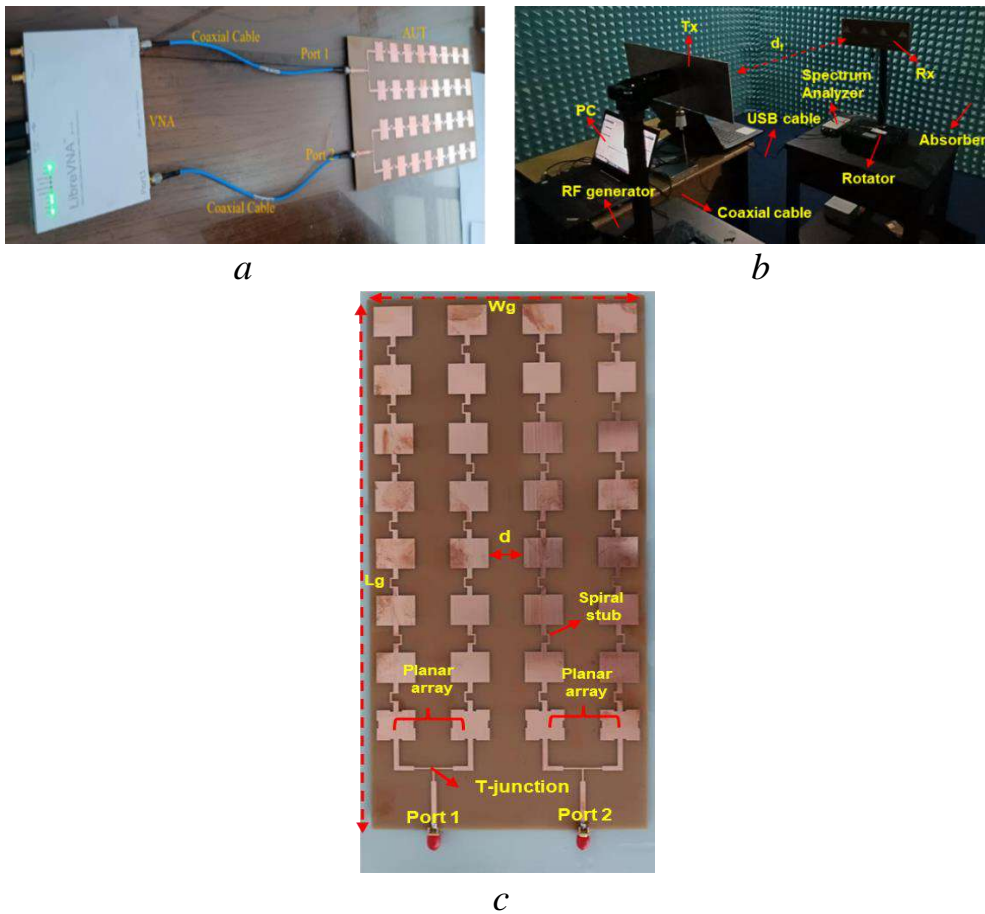
Hasil simulasi yang diilustrasikan pada **Gambar 8, b** menunjukkan bahwa antenna telah beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dengan S_{11} dan S_{21} sekitar -20 dB dan -60 dB dengan lebar pita 650 MHz (3 GHz–3,65 GHz). Temuan ini menunjukkan bahwa antenna memiliki lebar pita yang memenuhi kriteria untuk sistem komunikasi 5G dan memiliki mutual coupling yang tinggi dengan $S_{21} \leq -20$ dB. Selain itu, *gain* antenna dengan konfigurasi MIMO juga meningkat dari 15,98 dB menjadi 16,78 dB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, c. Hal ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan telah memenuhi spesifikasi untuk sistem komunikasi 5G dimana *gain* ≥ 12 dB. Tahap selanjutnya adalah fabrikasi dan validasi kinerja antenna yang diusulkan melalui proses pengukuran di laboratorium.

3. Fabrikasi dan pengukuran antenna yang diusulkan

Dalam penelitian ini, antenna di fabrikasi menggunakan substrat FR-4 dimana elemen yang memancarkan terletak pada lapisan atas sedangkan lapisan bawah berfungsi sebagai ground plane seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 9, c**. Validasi kinerja near-field dilakukan melalui proses pengukuran menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) dengan rentang frekuensi 2,5 GHz–4,5 GHz, ukuran langkah frekuensi 0,01 GHz dan suhu 25° yang dihubungkan ke antenna (AUT) melalui port 1 dan port 2 dengan kabel koaksial seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 9, a**.

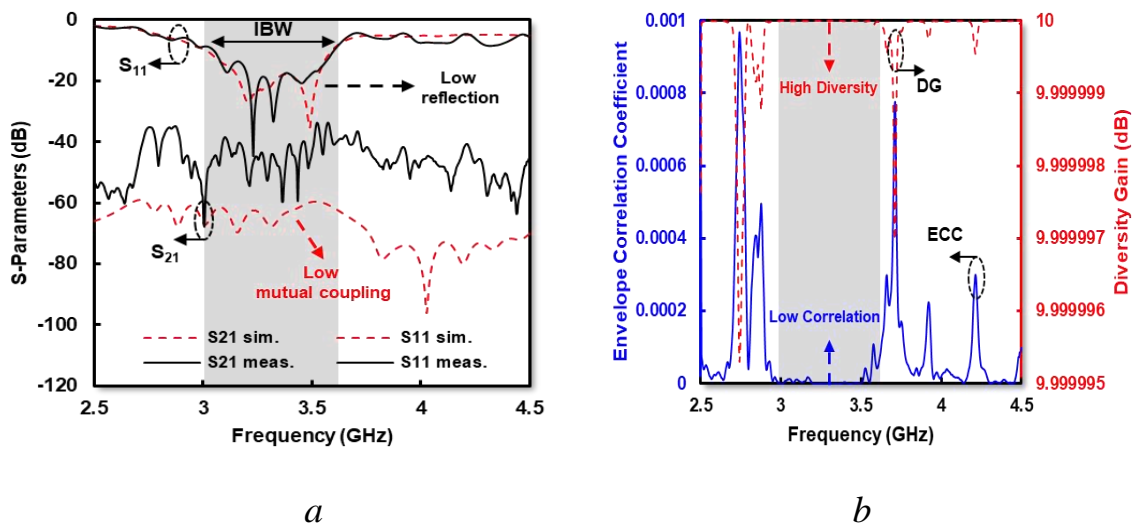
Setup pengukuran terdiri dari antenna yang diuji (AUT) yang berfungsi sebagai pemancar (T_x) yang dihubungkan ke generator RF sedangkan antenna referensi ditempatkan sebagai penerima (R_x) yang dihubungkan ke *spectrum analyzer* dan dipisahkan berdasarkan daerah fresnel dimana $df = 2D^2/\lambda$ [20]. Antenna ditempatkan pada rotator yang berputar searah jarum jam dari 0–360° dengan ukuran langkah 1°. Karakteristik medan jauh antenna

yang diusulkan diamati berdasarkan pola radiasi antenna saat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik.



Gambar 9. Proses pengukuran antenna yang diusulkan: a – Pengaturan pengukuran untuk validasi medan dekat; b – Pengaturan pengukuran untuk validasi medan jauh di ruang anechoic; c – Fabrikasi antenna yang diusulkan

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran S_{11} dan S_{21} pada **Gambar 10** menunjukkan bahwa antenna yang difabrikasi memiliki kinerja yang sama dengan antenna yang disimulasikan, di mana S_{11} sekitar -20 dB sedangkan untuk S_{21} sekitar -40 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Lebar pita antenna yang difabrikasi adalah 680 MHz dengan rentang frekuensi 3 GHz–3,68 GHz. Temuan ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran sejalan dengan hasil simulasi.



Gambar 10. Performa antenna usulan: a – Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran S_{11} dan S_{21} ; b – Koefisien korelasi envelope dan *gain diversity* berdasarkan hasil pengukuran

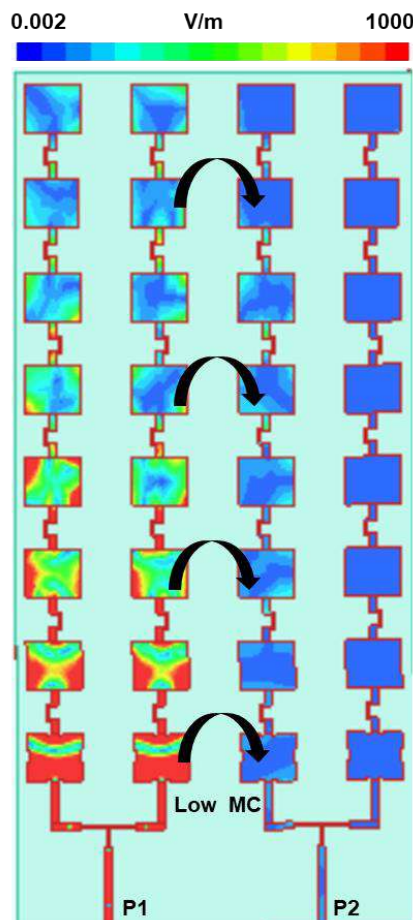
Tahap selanjutnya melibatkan penilaian kinerja antenna MIMO dengan memeriksa parameter *Envelope Correlation Coefficient* (ECC) dan *Diversity Gain* (DG). ECC mengukur korelasi antara dua antenna yang beroperasi secara bersamaan dalam konfigurasi MIMO. Biasanya, nilai ECC berada dalam kisaran 0 hingga 1, dengan ambang batas $\leq 0,5$ yang umumnya diterima untuk desain antenna MIMO. ECC dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [23]:

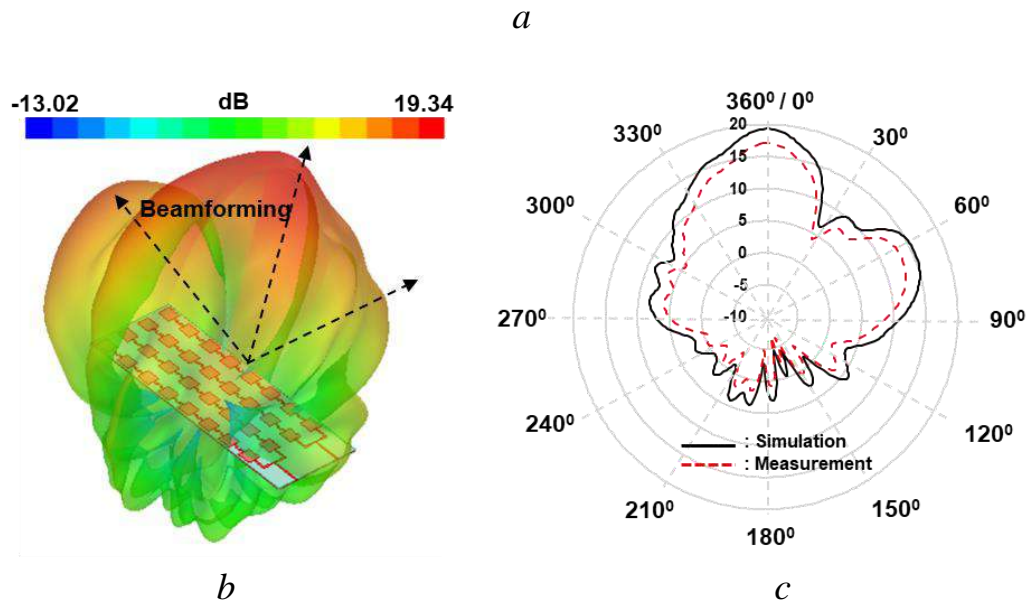
$$ECC = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{21}^* S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2)(1 - |S_{22}|^2 - |S_{12}|^2)} \quad (11)$$

Diversity Gain (DG) mencirikan kemampuan sistem antenna untuk mengurangi efek multipath fading. Nilai DG mencerminkan kemampuan sistem untuk meningkatkan atau mempertahankan kualitas sinyal relatif terhadap noise dengan menggabungkan sinyal dari beberapa antenna daripada mengandalkan satu antenna. Untuk antenna MIMO, diversitas biasanya direpresentasikan oleh nilai $DG \leq 10$ dB [18]. DG dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[23]:

$$DG = 10\sqrt{1 - (ECC)^2} \quad (12)$$

Gambar 10, b menunjukkan bahwa antenna yang difabrikasi memiliki ECC dan DG sekitar 0–0,001 dB dan 9,99–10 dB dalam rentang frekuensi resonansi 2,5 GHz – 4,5 GHz. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan memiliki independensi dan keragaman yang tinggi. Selain itu, penguatan keragaman yang tinggi berkontribusi pada throughput dan cakupan data yang lebih baik, menjadikan sistem antenna lebih efisien dalam memberikan kinerja yang konsisten dalam kondisi yang menantang, seperti lingkungan perkotaan atau area dengan rintangan.





Gambar 11. Kinerja MIMO dari antenna yang diusulkan: a – Simulasi konsentrasi medan-E dari antenna yang diusulkan pada $f_r = 3,5$ GHz; b – Simulasi radiasi 3D dari antenna yang diusulkan pada $f_r = 3,5$ GHz; c– simulasi perbandingan dan pengukuran pola radiasi pada $f_r = 3,5$ GHz

Untuk memvalidasi independensi dan kopling timbal balik dari antenna yang diusulkan, pengamatan komprehensif konsentrasi medan listrik dengan simulasi EM diusulkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11, a**. Medan listrik antenna yang diusulkan diamati pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dan menunjukkan bahwa kopling timbal balik yang dihasilkan rendah seperti yang ditunjukkan oleh medan listrik tertinggi hanya pada antenna di *port* 1 (P1) dan tidak mendistribusikan medan listrik ke antenna di *port* 2 (P2).

Lebih jauh lagi, *beamforming* antenna yang diusulkan ditunjukkan pada **Gambar 11, b** di mana lobus utama memancarkan gelombang elektromagnetik ke bagian depan antenna sementara lobus samping memancarkan ke bagian atas, bawah, dan belakang antenna. Lebih jauh lagi, pola radiasi dari proses simulasi dan pengukuran yang diilustrasikan pada **Gambar 11, c** menunjukkan hasil yang lurus dan serupa di mana radiasi maksimum berada pada sudut 0 dengan daya pancar sekitar 17,8 dB. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan telah beroperasi secara optimal pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dan mendukung MIMO untuk sistem komunikasi 5G. Lebih jauh lagi, perbandingan lebar pita dan penguatan dari model pengembangan antenna yang diusulkan ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Perbandingan bandwidth dari model antenna yang diusulkan

Model	Rentang Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)
1 st model	3.48–3.52	40
2 nd model	3.2–3.6	400
3 rd model	3.3–3.6	300
4 th model	3.3–3.6	300
5 th model	3–3.6	600
6 th model	3–3.65	650

Tabel 2. Perbandingan gain dari model antenna yang diusulkan

Model	Rentang Frekuensi (GHz)	Gain (dB)
1 st model	3.48–3.52	5.8
2 nd model	3.2–3.6	7.82
3 rd model	3.3–3.6	9.9
4 th model	3.3–3.6	10.8
5 th model	3–3.6	16.09
6 th model	3–3.65	17.8

Peningkatan *bandwidth* dan *gain* antenna dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$BW = \frac{(Optimized\ BW - Initial\ BW)}{Initial\ BW} \times 100\% , \quad (13)$$

$$Gain = \frac{(Optimized\ Gain - Initial\ Gain)}{Initial\ Gain} \times 100\% . \quad (14)$$

Berdasarkan persamaan (13) dan persamaan (14), peningkatan *gain* dan *bandwidth* diperoleh dengan menghitung selisih *bandwidth* dan *gain* antenna dengan kondisi awal dan kondisi optimal. Pada penelitian ini, *bandwidth* dan *gain* awal yang digunakan adalah antenna elemen tunggal sedangkan *bandwidth* dan *gain* optimal diperoleh dari antenna array MIMO dengan elemen 8x2.

4. Analisis Hasil Pengukuran dari antenna yang diusulkan

Berdasarkan proses pengukuran, perbandingan lebar pita semua model antenna usulan ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1**, lebar pita antenna dengan model 1 meningkat signifikan dari 40 MHz menjadi 400 MHz pada model 2 dan 300 MHz pada model 3 dan 4. Selanjutnya, pada model 5 dan 6, lebar pita meningkat menjadi 600 MHz dan 650 MHz. Dari hasil pengukuran, diperoleh bahwa lebar pita antenna meningkat hingga 1525% dibandingkan dengan antenna elemen tunggal. Selanjutnya, evaluasi juga dilakukan dengan mengamati penguatan antenna usulan. Perbandingan penguatan seluruh model antenna ditunjukkan pada **Tabel 2**. Berdasarkan **Tabel 2**, penguatan antenna meningkat seiring dengan penambahan jumlah elemen susunan antenna. Pada model 1, *gain* antenna sebesar 5,8 dB sedangkan pada model 2, model 3, dan model 4, *gain* antenna meningkat masing-masing menjadi 7,8 dB, 9,9 dB, dan 10,2 dB. Selanjutnya, pada model 5 dan model 6, *gain* antenna meningkat masing-masing menjadi 16,09 dan 17,8 dB.

Secara keseluruhan, *gain* antenna meningkat hingga 206,8% dibandingkan antenna elemen tunggal. Temuan ini menunjukkan bahwa evolusi antenna telah berhasil meningkatkan kinerja antenna dengan menghasilkan *gain* yang tinggi. Selain itu, kinerja MIMO antenna ditunjukkan dengan mutual coupling $S_{21} \leq -20$ dB yang tinggi. Dari hasil pengukuran, *mutual coupling* S_{21} diperoleh sebesar -40 dB pada rentang frekuensi 2,5 GHz – 4,5 GHz. Kinerja MIMO juga ditunjukkan dengan diversitas yang tinggi dengan *diversity gain* sebesar 9,9 dB dan korelasi yang rendah sebesar 0,0001. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna memiliki independensi yang tinggi dan tidak saling memengaruhi saat bekerja bersama.

Dari hasil yang diperoleh, antenna yang diusulkan memiliki kinerja dengan *bandwidth* yang lebar dan *gain* yang tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [15–19]. Selain itu, antenna yang diusulkan juga memiliki kemampuan untuk sistem MIMO berkinerja tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [19] yang mengusulkan antenna untuk sistem komunikasi 5G yang tidak mendukung sistem MIMO. Namun, ada beberapa keterbatasan, seperti dimensi antenna yang relatif besar dan operasinya yang dibatasi pada satu frekuensi resonansi. Akibatnya, upaya penelitian di masa mendatang akan difokuskan pada meminimalkan dimensi antenna dan meningkatkan kinerjanya di beberapa frekuensi resonansi, sehingga memungkinkan penerapannya dalam sistem komunikasi lain seperti 4G, Zigbee, dan Wi-Fi.

5. Perbandingan dengan pekerjaan sebelumnya

Sistem komunikasi 5G memerlukan antenna yang lebih canggih dan beragam daripada generasi sebelumnya untuk mendukung berbagai kemajuan teknologi, seperti MIMO dan gelombang milimeter (mmWave) [1–3]. MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan teknologi yang memegang peranan penting dalam sistem komunikasi 5G. Keunggulan utama MIMO dalam 5G adalah kemampuannya untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan data secara signifikan tanpa memerlukan spektrum frekuensi yang lebih banyak. Dengan menggunakan beberapa antenna pada sisi transmisi dan penerimaan, MIMO memungkinkan transmisi data secara simultan melalui beberapa jalur, sehingga mengurangi interferensi dan meningkatkan efisiensi spektral [4, 5]. Selain itu, MIMO dapat meningkatkan jangkauan dan keandalan sinyal dengan menggunakan teknik seperti beamforming, yang memfokuskan sinyal ke pengguna tertentu. Hal ini sangat penting dalam memberikan pengalaman yang lebih cepat dan stabil bagi pengguna di daerah pinggiran kota [6]. Menurut [7], frekuensi resonansi untuk sistem komunikasi 5G dikategorikan menjadi tiga pita: tinggi, sedang, dan rendah. Salah satu frekuensi yang direkomendasikan untuk sistem komunikasi 5G adalah 3,5 GHz yang termasuk dalam kategori pita tengah dan lingkungan yang dinamis, seperti daerah perkotaan atau dengan mobilitas tinggi [8].

Lebih jauh lagi, antenna mikrostrip menawarkan beberapa keuntungan penting untuk aplikasi 5G, khususnya dalam hal integrasi, ukuran, dan kinerja [9, 10]. Karena desainnya yang tipis dan ringan, antenna mikrostrip dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam perangkat portabel seperti telepon pintar dan perangkat IoT, serta ke dalam infrastruktur jaringan seperti stasiun pangkalan [11, 12]. Antenna ini juga dapat diproduksi

dalam bentuk array, yang memungkinkan penerapan teknologi MIMO dan beamforming, yang sangat penting untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan transmisi dalam jaringan 5G [13, 14]. Selain itu, antenna mikrostrip dapat dirancang untuk beroperasi pada rentang frekuensi yang luas, termasuk frekuensi tinggi seperti mmWave yang digunakan dalam 5G, dengan tetap menjaga efisiensi yang baik. Biaya produksinya yang relatif rendah dan kemampuannya untuk dicetak pada berbagai substrat juga menjadikannya pilihan yang ekonomis dan praktis untuk penyebaran 5G secara luas. Namun, antenna mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, seperti lebar pita yang sempit, penguatan yang rendah, dan direktivitas yang terbatas. Parameter utama yang menunjukkan kinerja antenna meliputi koefisien refleksi, lebar pita, penguatan, dan pola radiasi. Oleh karena itu, antenna dengan lebar pita yang lebar dan penguatan yang tinggi sangat penting untuk mendukung sistem komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi, 4G, dan 5G. Selain itu, antenna berkinerja tinggi dengan banyak masukan dan banyak keluaran sangat penting untuk memfasilitasi komunikasi antara pemancar dan penerima, terutama untuk sistem komunikasi 5G.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi dan mengusulkan antenna mikrostrip untuk sistem komunikasi 5G menggunakan berbagai teknik, termasuk desain fraktal, array, dan elemen parasit. Lebih jauh lagi, dalam sebuah penelitian yang disajikan oleh [10], antenna mikrostrip dengan *bandwidth* yang lebih lebar dicapai dengan menggabungkan elemen parasit yang ditempatkan di atas elemen yang memancar. Namun, penguatan antenna tetap rendah, sehingga memerlukan peningkatan lebih lanjut. Pekerjaan sebelumnya [15] mengusulkan antenna fraktal untuk komunikasi 5G dengan konfigurasi MIMO beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Namun, penguatan antenna yang diusulkan masih rendah sekitar 3 dB. Pekerjaan lain yang diusulkan oleh [16] mengusulkan antenna array MIMO sepuluh elemen yang beroperasi dalam frekuensi resonansi 3,5 GHz. Namun, *bandwidth* antenna yang diusulkan masih rendah sekitar 200 MHz. Selain itu, pekerjaan sebelumnya [17], menyajikan antenna mikrostrip pita lebar beroperasi pada frekuensi resonansi 3,35-3,95 GHz dengan elemen array MIMO 2x2. Namun, *gain* antenna yang diusulkan hanya 12,6 dB. Studi lain oleh [18] mengusulkan susunan antenna mikrostrip dengan empat elemen yang beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz, mencapai *bandwidth* 0,7 GHz dan *gain* 9,24 dB. Meskipun demikian, peningkatan *bandwidth* disertai dengan penurunan *gain*, yang menunjukkan hubungan terbalik antara *bandwidth* dan *gain*. Selain itu, penelitian sebelumnya oleh [19] mengusulkan antenna mikrostrip menggunakan susunan dengan elemen 4x2 dengan *bandwidth* 0,6 GHz dan *gain* 12,2 dB. Namun, antenna yang diusulkan tidak mendukung sistem komunikasi MIMO. Temuan lain menggambarkan antenna mikrostrip MIMO berdasarkan konfigurasi vertikal dan horizontal dengan 2 port yang beroperasi pada frekuensi resonansi 3,5 GHz dan 6 GHz [20]. Namun, *gain* yang diperoleh masih rendah sekitar 7,8 dB. Oleh karena itu, antenna MIMO dengan *bandwidth* lebar dan *gain* tinggi diperlukan untuk mendukung sistem komunikasi 5G. Dari hasil penelitian yang dilakukan, antenna yang diusulkan memiliki kinerja dengan *bandwidth* lebar dan *gain* tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [15–18]. Selain itu, antenna yang diusulkan juga memiliki kemampuan untuk sistem MIMO berkinerja tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [19] yang mengusulkan antenna untuk sistem komunikasi 5G yang tidak mendukung sistem MIMO seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan penelitian yang dikerjakan dibandingkan penelitian sebelumnya

Referensi	Metode	Parameter				Kapabilitas MIMO
		Frekuensi Resonansi (GHz)	Koefisien Refleksi (dB)	Bandwidth (GHz)	Gain (dB)	
[15]	Fraktal	3.3 GHz	≤ -10 dB	0.8 GHz	3,2	Tidak
[16]	Multi elemen	3.5 GHz	≤ -10 dB	0.2 GHz	4,4	Ya
[17]	Array 2x2	3.5 GHz	≤ -10 dB	0.6 GHz	12,6	Ya
[18]	Array 4x2	3.5 GHz	≤ -10 dB	0.7 GHz	9,24	Tidak
[19]	Planar series 4x2 elemen	3.5 GHz	≤ -10 dB	0.6 GHz	12.5 dB	Tidak
Pekerjaan ini	Planar series 8x2 elemen	3.5 GHz	≤ -10 dB	0.65 GHz	17.8 dB	Ya

6. Evaluasi Capaian Luaran

Evaluasi persentase capaian luaran berdasarkan parameter dari kegiatan penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 4** dibawah ini:

Tabel 4. Ketercapaian penelitian berdasarkan target parameter

Parameter	Target	Ketercapaian	Persentase
Frekuensi resonansi	3.5 GHz	3.5 GHz	100%
Koefisien refleksi	≤ -10 dB	≤ -10 dB	100%
VSWR	≤ 2	≤ 2	100%
Bandwidth	≥ 200 MHz	650 MHz	100%
Gain	≥ 15 dB	17.8 dB	100%
Disain dan protipe antena mikrostrip	Blue print/desain dan prototipe MIMO Array seri planar 8x2 element	Blue print/desain MIMO Array Seri Plannar Array 8x2 element tersedia dan telah diuji	100%

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

Tabel 5 – Ketercapaian penelitian berdasarkan luaran wajib dan tambahan

Jenis Luaran	Target	Ketercapaian	Prosentase
Wajib	Accepted	<i>Accepted</i> di Jurnal Internasional Scopus Q3 (Eastern-European Journal of Enterprise Technologies)	100%
Tambahan	HKI	Telah terdaftar dengan di Kemenkumham dengan nomor pencatatan 000676218	100%

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.

Penelitian ini telah menghasilkan **luaran wajib** yaitu :

- 1 publikasi pada jurnal internasional terindeks scopus Q3 dalam status *published* dengan judul **“DEVELOPMENT MODEL OF HIGH-PERFORMANCE MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT MICROSTRIP ANTENNA BASED ON PLANAR SERIES ARRAY WITH 8X2 ELEMENT FOR 5G COMMUNICATIONS SYSTEM”** → Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, ISSN : 1729-4061, indeks Scopus Q3
 Link Jurnal : <https://journals.uran.ua/eejet/about>
- Link scimago : <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100450083&tip=sid&clean=0>
- Link publikasi : <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/309907>

Selanjutnya, **luaran tambahan** dari kegiatan penelitian ini adalah :

- Hak Cipta poster penelitian dengan judul **“ANTENA MIKROSTRIP MIMO BERKINERJA TINGGI BERBASIS PLANAR SERIES ARRAY DENGAN 8X2 ELEMEN UNTUK SISTEM KOMUNIKASI 5G”**, No pendaftaran : 000676218, status : Tercatat
- 1 Publikasi pada Jurnal Nasional Terakreditasi SINTA 3 dalam status published dengan judul **“High Gain Plannar Series Array 8x2 Element Microstrip Antenna Using spiral stub For 5G**

Communication System” → Journal of Informatics And Telecommunication Engineering (JITE), ISSN: 2549-6255, terakreditasi SINTA 3

Link Jurnal : <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jite/article/view/11267>

DOI : <https://doi.org/10.31289/jite.v8i1.11267>

Link SINTA : <https://sinta.kemdikbud.go.id/journals/profile/4143>

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta unggah 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

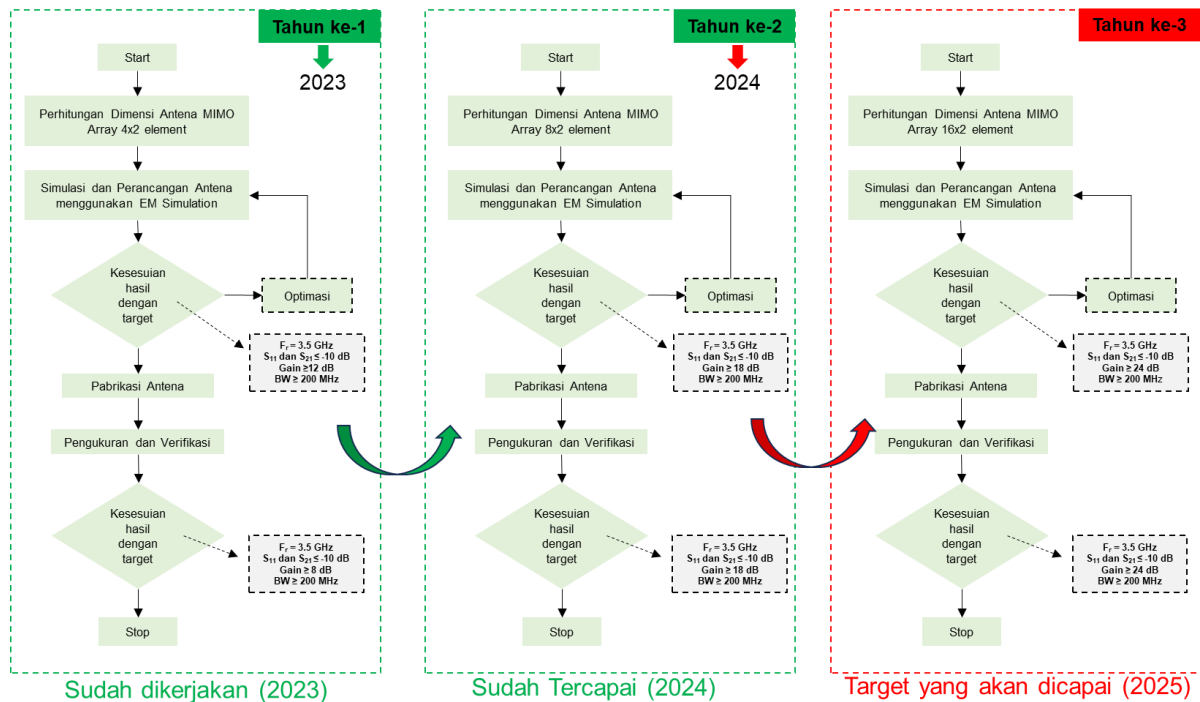
Dalam penelitian ini tidak melibatkan mitra. Semua kegiatan dilakukan di Laboratorium Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti.

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.

Penelitian ini berjalan dengan lancar dan tidak ada kendala dalam proses pelaksanaannya. Universitas sangat mendukung kegiatan dengan memberikan pendampingan dalam proses penyusunan laporan kemajuan dan persiapan monitoring evaluasi.

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.

Penyelesaian tahapan dari kegiatan penelitian ini untuk tahun pertama ditunjukkan pada **Gambar 13** dimana performansi antenna MIMO yang diusulkan telah berhasil ditingkatkan untuk mendapatkan *bandwidth* dan *gain* yang lebih optimal sehingga mendukung untuk diterapkan pada sistem komunikasi 5G.

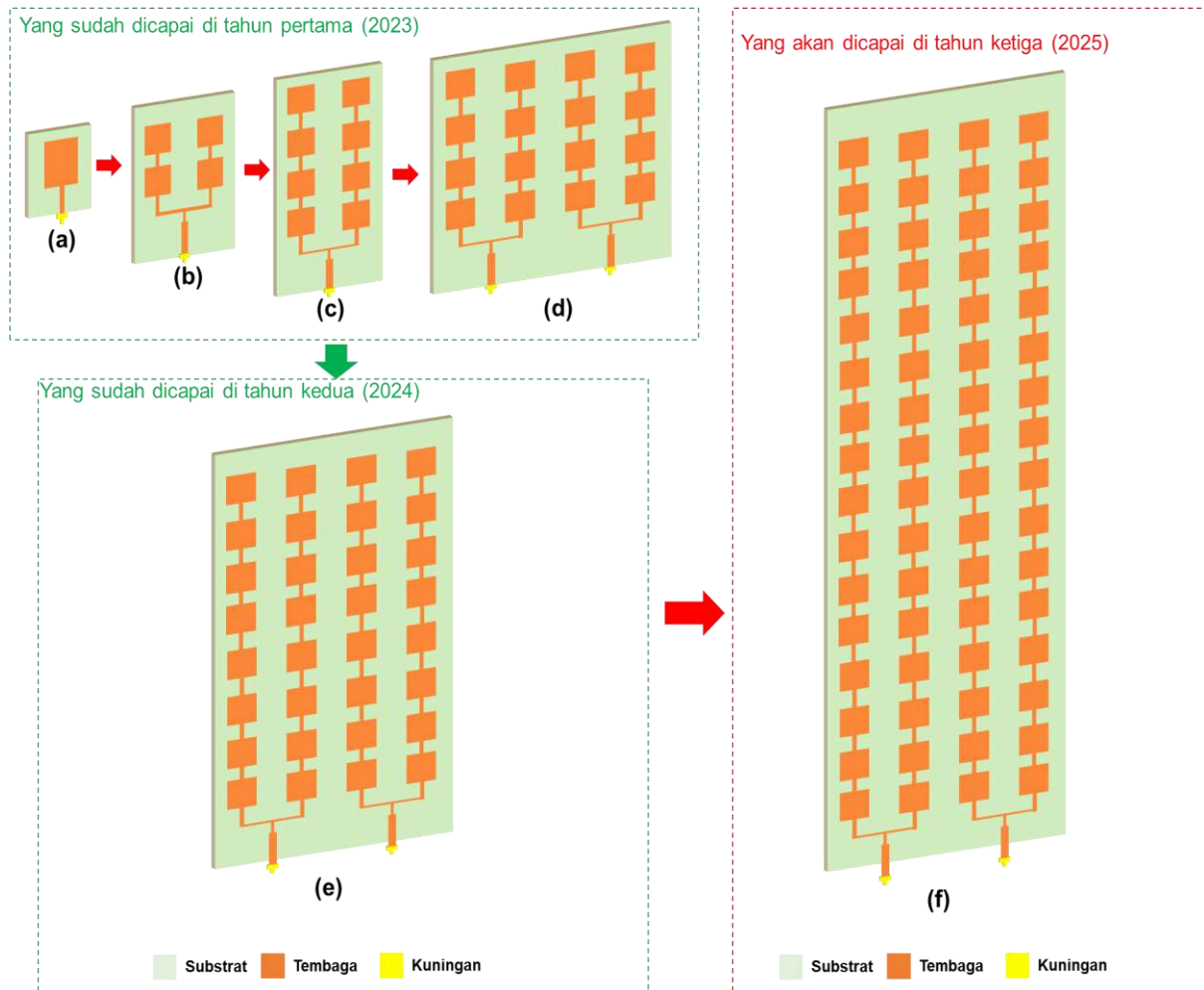


Gambar 12. Tahapan penyelesaian kegiatan penelitian

Berdasarkan **gambar 12**, disain dan antenna *array planar* seri dengan 4x2 elemen dan antenna MIMO *array planar* seri dengan 4x2 elemen telah dipabrikasi dan di validasi di laboratorium dan telah memenuhi target yang ditentukan pada tahun 2023. Selanjutnya pada tahun 2024, antenna MIMO dikembangkan dengan menambah jumlah elemen menjadi 8x2 untuk meningkatkan gain dan bandwidth. Dari hasil pengukuran, *gain* antenna meningkat hingga 206,8% dibandingkan antenna elemen tunggal. Temuan ini menunjukkan bahwa evolusi antenna telah berhasil meningkatkan kinerja antenna dengan menghasilkan gain yang tinggi. Selain itu, kinerja MIMO antenna ditunjukkan dengan mutual coupling $S_{21} \leq -20$ dB yang tinggi. Dari hasil pengukuran, *mutual coupling* S_{21} diperoleh sebesar -40 dB pada rentang frekuensi 2,5 GHz – 4,5 GHz. Kinerja MIMO juga ditunjukkan dengan diversitas yang tinggi dengan *diversity gain* sebesar 9,9 dB dan korelasi yang rendah sebesar 0,0001. Selain itu, penguatan antenna yang diusulkan berhasil ditingkatkan secara bertahap menggunakan susunan planar seri dengan elemen 8x2. Dari hasil pengukuran, diperoleh penguatan sebesar 17,8 dB. Temuan ini menunjukkan bahwa antenna yang diusulkan telah memenuhi target dengan penguatan sekitar 18 dB untuk sistem komunikasi 5G. Namun, performansi dari antenna perlu ditingkatkan kembali agar dapat mencapai target maksimal yaitu 24 dB untuk sistem komunikasi 5G.

Tahapan selanjutnya dari penelitian ini adalah merancang dan membubrikasi antenna mikrostrip array 16x2 elemen dengan konfigurasi MIMO dengan 2 port dan melakukan proses pengukuran koefisien isolasi, koefisien korelasi dan *diversity gain*. Target dari tahapan selanjutnya adalah menghasilkan antenna mikrostrip MIMO dengan 2 port yang memiliki koefisien isolasi ≤ -20 dB dan *diversity gain* ≤ 24 dB. Untuk meningkatkan gain dan pola pancar dari antenna dilakukan pendekatan dengan menambah jumlah elemen menjadi 16 x 2 yang

dikonfigurasi secara MIMO. Selanjutnya, disain dari antenna yang sudah didapatkan dari tahun pertama dan rencana serta target disain yang diusulkan pada penelitian tahun kedua ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Disain antenna yang diusulkan pada penelitian tahun pertama, kedua dan ketiga

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.

1. S. Kamal *et al.*, "Wheel-shaped miniature assembly of circularly polarized wideband microstrip antenna for 5G mmWave terminals," *Alexandria Eng. J.*, vol. 60, no. 2, pp. 2457–2470, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.aej.2020.12.054.
2. K. A. Fante and M. T. Gameda, "Broadband microstrip patch antenna at 28 GHz for 5G wireless applications," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 2238–2244, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i3.pp2238-2244.
3. N. M. Tarpara, R. R. Rathwa, and N. A. Kotak, "Design of Slotted Microstrip patch Antenna for 5G Application," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 2018, [Online]. Available: www.irjet.net
4. R. Hussain, A. T. Alreshaid, S. K. Podilchak, and M. S. Sharawi, "Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets," *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 11, no. 2, pp. 271–279, 2017, doi: 10.1049/iet-map.2016.0738.
5. J. Deng, J. Li, L. Zhao, and L. Guo, "A Dual-Band Inverted-F MIMO Antenna with Enhanced Isolation for WLAN Applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 16, no. c, pp. 2270–2273, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2017.2713986.
6. N. O. Parchin, H. J. Basherlou, Y. I. A. Al-Yasir, A. Ullah, R. A. Abd-Alhameed, and J. M. Noras, "Multi-band MIMO antenna design with user-impact investigation for 4G and 5G

- mobile terminals,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 3, 2019, doi: 10.3390/s19030456.
7. A. Hikmaturokhman, K. Ramli, and M. Suryanegara, “Spectrum Considerations for 5G in Indonesia,” *Proceeding - 2018 Int. Conf. ICT Rural Dev. Rural Dev. through ICT Concept, Des. Implic. IC-ICTRuDEv 2018*, pp. 23–28, 2018, doi: 10.1109/ICICTR.2018.8706874.
 8. S. Hobbs, “Valuing 5G Spectrum : Valuing the 3 . 5 GHz and C-Band Frequency Range,” no. February, pp. 1–8, 2018.
 9. W. An, Y. Li, H. Fu, J. Ma, W. Chen, and B. Feng, “Low-Profile and Wideband Microstrip Antenna with Stable Gain for 5G Wireless Applications,” *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 17, no. 4, pp. 621–624, 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2806369.
 10. A. R. Pratiwi, E. Setijadi, and G. Hendranto, “Design of Two-Elements Subarray with Parasitic Patch for 5G Application,” in *Proceedings - 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Humanification of Reliable Intelligent Systems, ISITIA 2020*, 2020, pp. 311–316. doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163785.
 11. X. Tang *et al.*, “Ultra-Wideband Patch Antenna for Sub-6 GHz 5G Communications,” *2019 IEEE Int. Work. Electromagn. Appl. Student Innov. Compet. iWEM 2019 - Proc.*, pp. 1–3, 2019, doi: 10.1109/iWEM.2019.8887933.
 12. S. Murugan, “Compact MIMO Shorted Microstrip Antenna for 5G Applications,” *Int. J. Wirel. Microw. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 22–27, Feb. 2021, doi: 10.5815/ijwmt.2021.01.03.
 13. P. S. Naik and H. G. Virani, “1× 4 Microstrip Patch Slotted Array Antenna for 5G C-Band Access Point Application,” *2020 Int. Conf. Electron. Sustain. Commun. Syst.*, pp. 641–644, 2020.
 14. B. Aghoutane, S. Das, M. EL Ghzaoui, B. T. P. Madhav, and H. El Faylali, “A novel dual band high gain 4-port millimeter wave MIMO antenna array for 28/37 GHz 5G applications,” *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 145, no. August 2021, p. 154071, 2022, doi: 10.1016/j.aeue.2021.154071.
 15. G. Naga Jyothi Sree and S. Nelaturi, “Design and experimental verification of fractal based MIMO antenna for lower sub 6-GHz 5G applications,” *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 137, no. February, p. 153797, 2021, doi: 10.1016/j.aeue.2021.153797.
 16. W. Hu *et al.*, “Dual-Band Ten-Element MIMO Array Based on Dual-Mode IFAs for 5G Terminal Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 178476–178485, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2958745.
 17. K. Da Xu, J. Zhu, S. Liao, and Q. Xue, “Wideband Patch Antenna Using Multiple Parasitic Patches and Its Array Application With Mutual Coupling Reduction,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 42497–42506, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2860594.
 18. S. ALAM, I. SURJATI, L. SARI, A. ANINDITO, A. Y. PUTRANTO, and T. Firmansyah, “Bandwidth enhancement of array microstrip antenna using *spiral stub* for 5g communication system,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 97, no. 11, pp. 40–44, 2021, doi: 10.15199/48.2021.11.07.
 19. S. Alam *et al.*, “WIDE BAND AND HIGH GAIN MICROSTRIP ANTENNA USING PLANAR SERIES ARRAY 4x2 ELEMENT FOR 5G COMMUNICATION SYSTEM,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 4, no. 5(124), pp. 16–24, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.285395.
 20. S. M. Putri *et al.*, “High Isolation of Dual-Band MIMO Microstrip Antenna with Vertical – Horizontal Configuration for 5G Communication System,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 2024, no. 4, pp. 87–93, 2024, doi: 10.15199/48.2024.04.17.
 21. D. G. Fang, “Antenna Theory and Microstrip Antennas,” *Antenna Theory and Microstrip Antennas*, pp. 1–299, 2017, doi: 10.1201/b10302.
 22. R. Garg, P. Bhartia, I. J. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*. Artech house, 2001.
 23. S. M. Putri *et al.*, “High Isolation of Dual-Band MIMO Microstrip Antenna with Vertical – Horizontal Configuration for 5G Communication System,” *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 2024, no. 4, pp. 87–93, 2024, doi: 10.15199/48.2024.04.17.

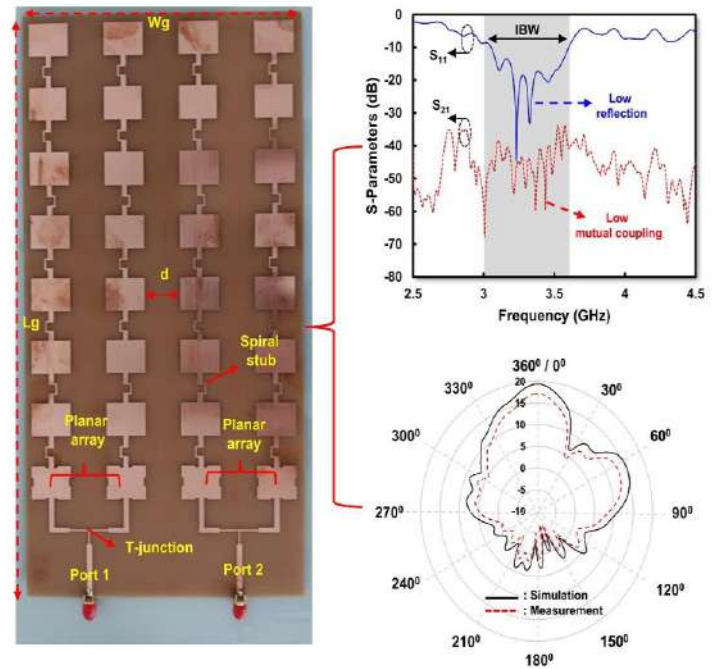
Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi 5G

SKEMA PENELITIAN : PENELITIAN RISET FUNDAMENTAL (PRF) TAHUN ANGGARAN 2024/2025

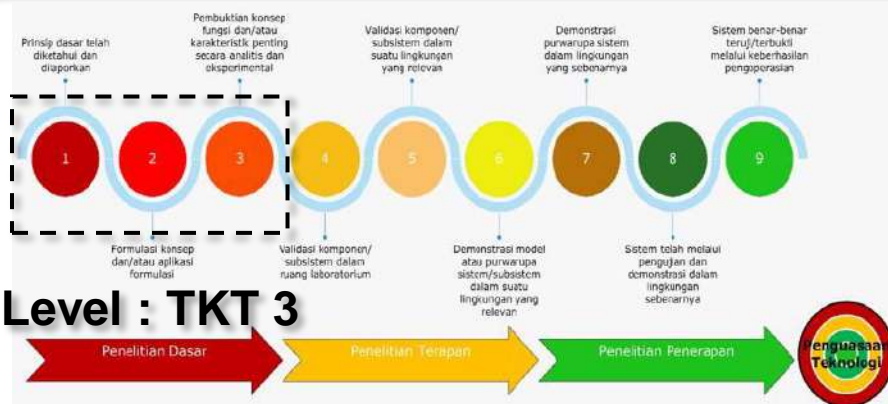
Ringkasan Penelitian:

Penelitian ini mengusulkan antena mikrostrip MIMO yang memiliki kinerja tinggi yang ditunjukkan dengan lebar pita 680 MHz (3 - 3,68 GHz) dan gain tinggi sebesar 17,8 dB pada frekuensi resonansi 3,5 GHz. Selain itu, antena yang diusulkan memiliki kopling mutual yang tinggi dengan $S_{21} \leq -20$ dB. Temuan ini memberikan solusi untuk merancang antena mikrostrip berkinerja tinggi dan dapat diimplementasikan sebagai antena penerima untuk sistem komunikasi 5G.

Hasil Penelitian dan Luaran



Antena MIMO Planar Series Array 8x2 Elemen



Level : TKT 3

Tim Peneliti : Universitas Trisakti

Ketua	Anggota 1	Anggota 2
Syah Alam, S.Pd, MT, PhD	Prof. Dr. Ir. Indra Surjati, MT, IPU	Dr. Ir. Yuli Kurnia Ningsih, MT, IPU

Total Dana Penelitian : Rp. 128,870,000

Luaran Kegiatan Penelitian

Kata Kunci : antena; mikrostrip; multi keluaran multi masukan, penguatan, sistem komunikasi 5G

Hibah Pendanaan Penelitian (Skema Penelitian Riset Fundamental)

Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) 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-1 tanggal 4 Februari 2024 dan berdasarkan Kontrak antara Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III (LLDIKTI WILAYAH III) dengan Universitas Trisakti Nomor 832/LL3/AL.04/2024, 26 Juni 2024

- Applied physics

5/5 (131) 2024

Content

APPLIED PHYSICS

- 6 Optimization of the solar cell based on cadmium telluride by adding the CdSeTe absorbing layer (heterostructure simulation)
Hryhorii Ilchuk, Ihor Semkiv, Maryana Karkulovska, Vitalii Vashchynskyi, Mykola Solovyov
- 13 Assessing the potential accuracy of a small-sized goniometer with extended dynamic range based on nuclear magnetic resonance
Sergiy Ivanov
- 26 Development of methods for monitoring and optimization of underground drainage systems using wireless sensor networks and ultra-wideband antennas
Kabi Yelikbay, Pramod Kumar, Ruslan Kassym, Tansaule Serikov, Maxsat Orunbekov, Ainur Turdy, Marzhan Temirbekova, Arai Tolegenova, Akmaral Tlenshieva, Makbal Kassymova
- 37 Development model of a high-performance multiple input multiple output microstrip antenna based on a planar series array with 8×2 elements for 5G communication systems
Syah Alam, Indra Surjati, Lydia Sari, Yuli Kurnia Ningsih, Suryadi, Teguh Firmansyah, Zahriladha Zakaria
- 50 Optimization of distributed acoustic sensors based on fiber optic technologies
Askar Abdykadyrov, Nurzhigit Smailov, Akezhan Sabibolda, Gulzhaina Tolen, Zhandos Dosbayev, Zhomart Ualiyev, Rashida Kadyrova
- 60 Identification of characteristics of conceptual prototype of microprocessor resource-saving relay protection system
Alexandr Neftissov, Ilyas Kazambayev, Lalita Kirichenko, Dnislam Urazayev, Andrii Biloshchytskyi, Omirzak Abdirashev
- 70 Development of mathematical models of heat conductivity for modern electronic devices with elements containing foreign inclusions
Vasyl Havrysh, Elvira Dzhumelia, Oksana Hrytsai, Stepan Kachan, Viktoria Maikher
- 80 Devising a method for determining the moisture conductivity coefficient of subgrade soils taking into account European approaches and standards
Andrii Bubela, Liudmyla Bondarenko, Yevheniia Kvatadze, Vitalii Stozhka, Andrii Ivko
- 90 Determining working characteristics of the excess air pressure system in an emergency hatch based on jet water-gas ejectors
Serhii Hrynychak
- 100 Abstract and References



[Home](#) / [Editorial Team](#)

Editorial Team

EDITOR-IN-CHIEF

[Dmitriy Demin](#), PC TECHNOLOGY CENTER, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

[Vagan Terziyan](#), University of Jyvaskyla, Finland

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

[Volodymyr Biletskyi](#), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Volodymyr Bondarenko](#), Dnipro University of Technology, Ukraine

[Svitlana Havenko](#), Ukrainian Academy of Printing, Ukraine; Lodz University of Technology, Poland

[Mykhaylo Zagirnyak](#), Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

[Viliam Zaloga](#), Sumy State University, Ukraine

[Myroslav Kindrachuk](#), National Aviation University, Ukraine

[Volodymyr Korzhyk](#), E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

[Svitlana Kuleshova](#), Khmelnytskyi National University, Ukraine

[Tetiana Roik](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Marcin Kamiński](#), Lodz University of Technology, Poland

[Uğur Ulusoy](#), Cumhuriyet University, Turkey

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

[Vitalii Budashko](#), National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

[Grygoriy Zholtkevych](#), V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

[Valeriy Lakhno](#), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

[Vasyl Lytvyn](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Serhii Ostapov](#), Yuriy Fedkovych Chernvtsi National University, Ukraine

[Vasyl Teslyuk](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Vagan Terziyan](#), University of Jyvaskyla, Finland

CONTROL PROCESSES

[Tetiana Butko](#), Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

[Igor Gritsuk](#), Kherson State Maritime Academy, Ukraine

[Dmitriy Demin](#), National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», PC TECHNOLOGY CENTER, Ukraine

[Sviatoslav Kryshchtopa](#), Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

[Vasyl Loginov](#), JSC "FED", Ukraine

[Sergey Myamlin](#), JSC "Ukrainian Railway", Ukraine

[Sergii Panchenko](#), Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

[Andrii Prokhorchenko](#), Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

[Oksana Sira](#), National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

[Olha Sushchenko](#), National Aviation University, Ukraine

[Olena Tymoschuk](#), Kyiv Institute of Water Transport named after Hetman Peter Konashevich-Sagaidachny, State University of Infrastructure and Technologies, Ukraine

[Rab Nawaz Lodhi](#), Hailey College of Commerce, University of the Punjab, Lahore, Pakistan

MATHEMATICS AND CYBERNETICS - APPLIED ASPECTS

[Igor Atamanyuk](#), Warsaw University of Life Sciences, Poland; Mykolaiv National Agrarian University, Ukraine

[Yuriy Kondratenko](#), Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine

[Tetyana Romanova](#), University of Leeds, Leeds, United Kingdom; A. Pidgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

[Vadym Savanevych](#), Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine

[Hari Mohan Srivastava](#), University of Victoria, Canada; Azerbaijan University, Azerbaijan

[Dimitris Kanellopoulos](#), University of Patras, Greece

[Izhar Ahmad](#), King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

[Gerhard Wilhelm Weber](#), Poznan University of Technology, Poland

APPLIED PHYSICS

[Ruslan Vovk](#), V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

[Alexander Glamazdin](#), National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Ukraine

[Tetyana Gordiyenko](#), State Enterprise "All-Ukrainian State Scientific and Production Centre for Standardization, Metrology, Certification and Protection of Consumer" (SE "Ukrmetrteststandard"), Ukraine

[Nikolay Grishanov](#), Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

[Vitaly Zhelezny](#), Odesa National University of Technology, Ukraine

[Hryhoriy Ilchuk](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Volodymyr Maslov](#), Ukraine

[Vadim Starikov](#), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Viktor Tkachenko](#), The Science And Production Establishment "Renewable Energy Sources And Sustainable Technologies" (Spe Resst), National Science Center 'Kharkiv Institute of Physics and Technology', Ukraine

[Bohdan Tsizh](#), Institute of Materials Engineering, Kazimierz Wielki University, Poland; Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Ukraine

[Mohammad Mehdi Rashidi](#), University of Electronic Science and Technology of China, China; University of Johannesburg, South Africa

[Lykourgos Magafas](#), International Hellenic University, Greece

[Anatoliy Pavlenko](#), Kielce University of Technology, Poland

[Yaroslav Bobitski](#), University of Rzeszow, Poland

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

[Viacheslav Barsukov](#), Institute for Sorption and Problems of Endoecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

[Yaroslav Vakhula](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Alexey Kapustin](#), Pryazovskyi State Technical University, Ukraine

[Pavlo Krivenko](#), Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

[Alexander Roshal](#), V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

[Kostyantyn Sukhyy](#), Ukrainian State University of Science and Technologies, Ukraine; Ukrainian State Chemical Technology University, Ukraine

[Vitaliy Chumak](#), National Aviation University, Ukraine

[Liang Zeng](#), Tianjin University, China

[Arvidas Galdikas](#), Kaunas University of Technology, Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania

[Luísa Martins](#), Universidade de Lisboa, Portugal

[Juan B. Carda](#), Universidad Jaume I, Spain

APPLIED MECHANICS

[Konstantin Avramov](#), Anatolii Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

[Sergey Ignatovich](#), National Aviation University, Ukraine

[Viktor Legeza](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute", Ukraine

[Volodymyr Loboda](#), Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

[Hennadiy Lvov](#), National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

[Petro Pukach](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Gennadiy Filimonikhin](#), Central Ukrainian National Technical University, Ukraine

[Nikolai Yaroshevich](#), Lutsk National Technical University, Ukraine

[Igor Andrianov](#), RWTH Aachen University, Germany

[Elias C. Aifantis](#), Aristotle University of Thessaloniki, Greece; Michigan Technological University, United States

[Evangelos Giakoumis](#), National Technical University of Athens, Greece

[Evangelos Sapountzakis](#), National Technical University of Athens, Greece

[Francesco Tornabene](#), Universita del Salento, Lecce, Italy

[Frank Visser](#), Flowserve, Netherlands

[Roland W. Lewis](#), Swansea University, United Kingdom

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

[Andriy Avramenko](#), Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Ukraine

[Borys Liubarskyi](#), National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

[Nataliia Fialko](#), Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Ukraine

[Oleksandr Shchedrolosiev](#), Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

[Matheos Santamouris](#), University of New South Wales, Australia

[Zhenjun Ma](#), University of Wollongong, Australia

[Tatiana Morosuk](#), Technical University Berlin, Germany

[Tole Sutikno](#), Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

[Hai-Wen Li](#), Kyushu University, Japan; Hefei General Machinery Research Institute (HGMR), China

[Mihaela Popescu](#), University of Craiova, Romania

[Mustafa Acaroglu](#), Selçuk University, Turkey

INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

[Valeriy Bezruk](#), Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

[Oleh Velychko](#), State Enterprise "Ukrmetrteststandard", Ukraine

[Olena Vysotska](#), National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Ukraine

[Leonid Uryvsky](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Galyna Shcherbakova](#), Odessa National Polytechnic University, Ukraine

[Vasyl Yatskiv](#), West Ukrainian National University, Ukraine

[Ulkar Sattarova](#), Azerbaijan University of Architecture and Construction, Azerbaijan

ECOLOGY

[Sergii Boichenko](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Borys Bolibrukh](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Mykola Gomelya](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Oksana Kyrychenko](#), Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

[Natalya Remez](#), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

[Evgeniy Rybka](#), National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

[Oksana Tykhenko](#), National Aviation University, Ukraine

[Yuriy Tsapko](#), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

[Iryna Shvedchykova](#), Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

[Oleg Makarynskyi](#), MidCoast Council, Australia; Odessa State Environmental University, Ukraine

[Ozgur Kisi](#), University of Applied Sciences, Germany; Ilia State University, Georgia

[Miklas Scholz](#), University of Salford, Salford, United Kingdom; Atene KOM, Germany

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF FOOD PRODUCTION

[Larysa Bal-Prylypko](#), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

[Oleg Burdo](#), Odesa National University of Technology, Ukraine

[Viktoriia Yevlash](#), State Biotechnological University, Ukraine

[Iryna Tsykhanovska](#), Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Ukraine

[Effat Baher](#), National Research Centre, Egypt

[Vinod Modi](#), Amity University, India

[Davide Barreca](#), University of Messina, Italy

[Gabriel Olaniran Adegoke](#), University of Ibadan, Dominion University, Nigeria

MATERIALS SCIENCE

[Andriy Buketov](#), Kherson State Maritime Academy, Ukraine

[Edvin Gevorkyan](#), Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine; Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Poland

[Vitalii Dubok](#), Institute for Problems of Materials Sciences National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

[Zoia Duriagina](#), Lviv Polytechnic National University, Ukraine

[Vasily Efremenko](#), State Higher Educational Institution "Priazovskiy State Technical University", Ukraine

[Ivan Yaremiy](#), Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine

[Charis Apostolopoulos](#), University of Patras, Rio, Greece

[Jenő Gubicza](#), Eötvös Loránd University, Hungary

[Manoj Gupta](#), National University of Singapore, Singapore

[Patrizia Bocchetta](#), University of Salento, Italy

TRANSFER OF TECHNOLOGIES: INDUSTRY, ENERGY, NANOTECHNOLOGY

[Vitalina Babenko](#), V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

[Viacheslav Dzhezdzhula](#), Vinnytsia National Technical University, Ukraine

[Iryna Gontareva](#), V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

[Viacheslav Makedon](#), Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

[Oleksandr Prystemskyi](#), Kherson State Agrarian and Economic University, Ukraine

[Yuri Romanenkoy](#), Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine

[H. Kent Baker](#), American University, Washington, USA

[Luísa Carvalho](#), Institute Polytechnic of Setúbal, Portugal

[Gabriel Fedorko](#), Technical university of Kosice, Slovakia

[Simon Grima](#), University of Malta, Malta; University of Latvia, Latvia

[Ryszard Pukala](#), Bronislaw Markiewicz State University of Technology and Economics, Poland



[Information site](#)



Language

[English](#)

Українська

Information

[For Readers](#)

[For Authors](#)

[For Librarians](#)

[Make a Submission](#)

[Open Journal Systems](#)



[Collective monographs](#)
[with Scopus indexing](#)
[from PC TECHNOLOGY CENTER](#)



[Offer for scientists from](#)
[our partner Scientific Route](#)



[How to correctly link to an article in the Eastern European Journal of Enterprise Technologies](#)



Scopus

CiteScore 2022

2.1

SJR 2022

0.283

SNIP 2022

0.514



[Subscribe](#)

Current Issue

[RTOM 1.0](#)

[RSS 2.0](#)

[RSS 1.0](#)

Visitors



ISSN (print) 1729-3774, ISSN (on-line) 1729-4061

Platform &
workflow by
OJS / PKP

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314234

OPTIMIZATION OF THE SOLAR CELL BASED ON CADMIUM TELLURIDE BY ADDING THE CdSeTe ABSORBING LAYER (HETEROSTRUCTURE SIMULATION) (p. 6–12)

Hryhorii IlchukLviv Polytechnic National University,
Lviv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-4343>**Ihor Semkiv**Lviv Polytechnic National University,
Lviv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3432-8779>**Maryana Karkulovska**Lviv Polytechnic National University,
Lviv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1348-6148>**Vitalii Vashchynskyi**Lviv Polytechnic National University,
Lviv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6587-6957>**Mykola Solovyov**Lviv Polytechnic National University,
Lviv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7678-4049>

Cadmium telluride solar cells are among the most common devices for photovoltaic applications. However, the energy conversion efficiency of these elements remains insufficiently high. Using the SCAPS programming environment, research and optimization of a classical thin-film solar cell based on CdTe were carried out. The structure of this element consisted of ITO as a transparent conductive contact, a cadmium sulfide (CdS) layer, and a cadmium telluride (CdTe) absorber layer with a metal contact. To optimize this structure in terms of power conversion efficiency, the influence of the thickness and concentration of acceptor impurities in the CdTe absorbing layer, as well as the influence of the thickness and concentration of donor impurities in the CdS buffer layer, were considered. It was established that the optimal thicknesses for the CdS buffer layer and absorption CdTe layers are 50 nm and 3000 nm, respectively. An additional CdSeTe layer between the CdS and CdTe layers has been proposed as one of the optimization options to improve the device efficiency. The main photovoltaic parameters of such a solar cell were analyzed depending on the thickness of the CdSeTe layer and its selenium content. It has been demonstrated that adding CdSeTe solid solution to the 1500 nm thick CdTe absorber layer increases the efficiency of the solar cell by 6.84%. The main photovoltaic characteristics of CdS/CdTe and CdS/CdSeTe/CdTe solar cells were compared. The results showed that the simulated CdS/CdSeTe/CdTe structure provides better photoconversion efficiency in the AM1.5G light spectrum compared to the classical CdS/CdTe structure. Such elements can be used to form highly efficient solar panels.

Keywords: solar cell, SCAPS, thin films, heterostructures, cadmium telluride, cadmium chalcogenide.

References

- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., Hao, X. (2021). Solar cell efficiency tables (Version 58). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29 (7), 657–667. <https://doi.org/10.1002/pip.3444>
- Thompson, N., Ballen, J. (2017). First Solar. MIT Management Sloan School. Available at: https://mitsloan.mit.edu/sites/default/files/2020-03/First%20Solar.IC_.pdf
- Romeo, A., Artegiani, E. (2021). CdTe-Based Thin Film Solar Cells: Past, Present and Future. *Energies*, 14 (6), 1684. <https://doi.org/10.3390/en14061684>
- Mohamed, H. A. (2015). Optimized conditions for the improvement of thin film CdS/CdTe solar cells. *Thin Solid Films*, 589, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.081>
- Morales-Acevedo, A. (2006). Thin film CdS/CdTe solar cells: Research perspectives. *Solar Energy*, 80 (6), 675–681. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.10.008>
- Dharmadasa, I. M., Alam, A. E., Ojo, A. A., Echendu, O. K. (2019). Scientific complications and controversies noted in the field of CdS/CdTe thin film solar cells and the way forward for further development. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30 (23), 20330–20344. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02422-6>
- Yang, X., Liu, B., Li, B., Zhang, J., Li, W., Wu, L., Feng, L. (2016). Preparation and characterization of pulsed laser deposited a novel CdS/CdSe composite window layer for CdTe thin film solar cell. *Applied Surface Science*, 367, 480–484. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.224>
- Ibrahim, M., Chelvanathan, P., Miraz, M. H., Alkhamash, H. I., Hasan, A. K. M., Akhtaruzzaman, Md. et al. (2022). Comprehensive study on CdSe thin film as potential window layer on CdTe solar cell by SCAPD-1D. *Chalcogenide Letters*, 19 (1), 33–43. <https://doi.org/10.15251/cl.2022.191.33>
- Li, C., Hu, G., Hao, X., Li, C., Tan, B., Wang, Y. et al. (2021). Performance improvement of CdS/CdTe solar cells by incorporation of CdSe layers. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32 (14), 19083–19094. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06425-0>
- Lingg, M., Buecheler, S., Tiwari, A. N. (2019). Review of CdTe_{1-x}Se_x Thin Films in Solar Cell Applications. *Coatings*, 9 (8), 520. <https://doi.org/10.3390/coatings9080520>
- Paudel, N. R., Yan, Y. (2014). Enhancing the photo-currents of CdTe thin-film solar cells in both short and long wavelength regions. *Applied Physics Letters*, 105 (18). <https://doi.org/10.1063/1.4901532>
- Fiducia, T. A. M., Mendis, B. G., Li, K., Grovenor, C. R. M., Munshi, A. H., Barth, K. et al. (2019). Understanding the role of selenium in defect passivation for highly efficient selenium-alloyed cadmium telluride solar cells. *Nature Energy*, 4 (6), 504–511. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0389-z>
- Poplawsky, J. D., Guo, W., Paudel, N., Ng, A., More, K., Leonard, D., Yan, Y. (2016). Structural and compositional dependence of the CdTe_xSe_{1-x} alloy layer photoactivity in CdTe-based solar cells. *Nature Communications*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/ncomms12537>
- Burgelman, M., Nollet, P., Degraeve, S. (2000). Modelling polycrystalline semiconductor solar cells. *Thin Solid Films*, 361-362, 527–532. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(99\)00825-1](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(99)00825-1)
- Zheng, X., Kuciauskas, D., Moseley, J., Colegrove, E., Albin, D. S., Moutinho, H. et al. (2019). Recombination and bandgap engineering in CdSeTe/CdTe solar cells. *APL Materials*, 7 (7). <https://doi.org/10.1063/1.5098459>
- Doroody, C., Sajedur Rahman, K., Chelvanathan, P., Adib Ibrahim, M., Sopian, K., Amin, N. et al. (2023). Incorporation of Magnesium-doped Zinc Oxide (MZO) HRT Layer in Cadmium Telluride

- (CdTe) Solar Cells. *Results in Physics*, 47, 106337. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106337>
17. Nykyryu, L. I., Yavorskyi, R. S., Zapukhlyak, Z. R., Wisz, G., Potera, P. (2019). Evaluation of CdS/CdTe thin film solar cells: SCAPS thickness simulation and analysis of optical properties. *Optical Materials*, 92, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.04.029>
 18. Bhari, B. Z., Rahman, K. S., Chelvanathan, P., Ibrahim, M. A. (2023). Plausibility of ultrathin CdTe solar cells: probing the beneficial role of MgZnO (MZO) high resistivity transparent (HRT) layer. *Journal of Materials Science*, 58 (40), 15748–15761. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-09001-5>
 19. Filipe, D. I., Chenene, M. L. (2023). Front interface defect signature and benefits of CdSeTe thickness and band gap in CdSeTe/CdTe graded solar cell. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3462048/v2>
 20. Zyoud, S. H., Zyoud, A. H., Ahmed, N. M., Abdelkader, A. F. I. (2021). Numerical Modelling Analysis for Carrier Concentration Level Optimization of CdTe Heterojunction Thin Film–Based Solar Cell with Different Non–Toxic Metal Chalcogenide Buffer Layers Replacements: Using SCAPS–1D Software. *Crystals*, 11 (12), 1454. <https://doi.org/10.3390/cryst11121454>
 21. Liu, X., Abbas, A., Togay, M., Kornienko, V., Greenhalgh, R., Curson, K. et al. (2024). The effect of remnant CdSe layers on the performance of CdSeTe/CdTe photovoltaic devices. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 267, 112717. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.112717>
 22. Munshi, A. H., Kephart, J., Abbas, A., Raguse, J., Beaudry, J.-N., Barth, K. et al. (2018). Polycrystalline CdSeTe/CdTe Absorber Cells With 28 mA/cm² Short-Circuit Current. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8 (1), 310–314. <https://doi.org/10.1109/jphotov.2017.2775139>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313878

ASSESSING THE POTENTIAL ACCURACY OF A SMALL-SIZED GONIOMETER WITH EXTENDED DYNAMIC RANGE BASED ON NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE (p. 13–25)

Sergiy Ivanov

State University of Information and Communication Technologies,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3001-2451>

This paper evaluates potential accuracy characteristics of a small-sized goniometer based on nuclear magnetic resonance with an extended dynamic range. This required constructing a model of goniometer errors, estimating its accuracy based on this model, and formulating practical recommendations for the design of such a device based on the accuracy assessment.

To evaluate the accuracy of a nuclear goniometer, a theoretical model was built that makes it possible to determine the optimal operating parameters of the cell gas mixture, the ranges of their permissible changes, the sensitivity of the goniometer, and the dependence of its characteristics on external and internal factors. In particular, the dependence of output signal of the device on the parameters of gas mixture and optical pumping has been determined. For a goniometer with a cell volume of 8 cm³, the optimum temperature is 130 °C, and the optimum intensity of the pumping radiation is 5 mW.

The dependence of output signal on the measured angle of rotation was also established, as well as the noise and error dependence of the device on the permissible values of its parameters. Based on the model built, parameters of a goniometer with a cell volume of 8 cm³ were determined; the maximum angular sensitivity of such a goniometer

with complete suppression of technical noise is $\delta\varphi_{sen}=1.0$ arcsec. The greatest contribution to the angle measurement error is from the instability of pumping power I_p ($\Delta I_p/I_p=0.05$) – 85 %, magnetic field B_0 ($\Delta B_0/B_0=10^{-8}$) – 13 %, temperature T ($\Delta T/T=0.1$) – 2 %.

The goniometer under consideration corresponds to the medium accuracy class, $\delta\varphi_{rot}\geq 10$ arcsec. It could be used in optical manufacturing for operational control, calibration, and certification of optical products. To improve the angular accuracy of the goniometer, it is necessary to increase the stability of the laser pumping intensity.

Keywords: goniometer, nuclear magnetic resonance, gas cell, optical pumping, Helmholtz coil, Larmor frequency.

References

1. Zheng, L., Tang, Q., Ma, X., Zhang, Y. (1996). High-precision static and dynamic angular measurements with a ring laser gyro. *Automated Optical Inspection for Industry*, 2899, 50–53. <https://doi.org/10.1117/12.253053>
2. Pisani, M., Astrua, M., Santiano, M., Beverini, N., Di Virgilio, A., Maccioni, E. et al. (2018). G-LAS: a ring laser gyroscope for high accuracy angle measurements. *Journal of Physics: Conference Series*, 1065, 032009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1065/3/032009>
3. Wie, Z., Yao, H., Ke, L., Jin, Z., Zi, X. (2022). Calibration and Measurement Method of Laser Gyro Goniometer. *Metrology Science and Technology*, 66 (4), 40–47.
4. Cherepanska, I. Yu., Bezvesilna, O. M., Sazonov, A. Yu. (2019). Precise Intelligent Goniometric System. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 143 (2), 7–14. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-7-14>
5. Zou, W., Huang, Y., Lin, H., Xue, Z. (2024). New Application and Research of Ring Laser Gyroscope in the Field of Angle Metrology. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1–12. <https://doi.org/10.1109/tim.2024.3449940>
6. Mou, J., Pang, B., Huang, T., Ying, G., Shu, X. (2019). A new method to eliminate the misalignment angle in dynamic goniometer based on fiber optic gyro. *Optik*, 193, 162998. <https://doi.org/10.1016/j.jiljo.2019.162998>
7. Pang, B., Ying, G., Xue, F., Huang, T., Che, S., Shu, X., Mou, J. (2019). Uncertainty analysis of dynamic goniometer based on fiber optic gyroscope. *9th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optical Test, Measurement Technology, and Equipment*, 20, 115. <https://doi.org/10.1117/12.2509290>
8. Ivanov, S. V. (2016). Porivnialnyi analiz efektyvnosti vydiv namotky volokna chutlyvoho elementa volokonno-optychnoho hiroskopa v umovakh zminy temperatury. *Naukovi visti natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*, 1, 99–106.
9. Ivanov, S. V., Muravov, V. V., Oliinyk, P. B. (2024). Pat. No. 156304 UA. Honiometr. MPK G01B11/26; No. u202305588; declared: 21.11.2023; published: 05.06.2024, Bul. No. 23.
10. Skinner, J. G., Ranta, K., Whiting, N., Coffey, A. M., Nikolaou, P., Rosen, M. S. et al. (2020). High Xe density, high photon flux, stopped-flow spin-exchange optical pumping: Simulations versus experiments. *Journal of Magnetic Resonance*, 312, 106686. <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2020.106686>
11. Cates, G. D., Fitzgerald, R. J., Barton, A. S., Bogorad, P., Gatzke, M., Newbury, N. R., Saam, B. (1992). Rb–129Xe spin-exchange rates due to binary and three-body collisions at high Xe pressures. *Physical Review A*, 45 (7), 4631–4639. <https://doi.org/10.1103/physreva.45.4631>

12. Li, R., Quan, W., Fang, J. (2017). Polarization Measurement of Cs Using the Pump Laser Beam. *IEEE Photonics Journal*, 9 (6), 1–8. <https://doi.org/10.1109/jphot.2017.2761779>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310360

DEVELOPMENT OF METHODS FOR MONITORING AND OPTIMIZATION OF UNDERGROUND DRAINAGE SYSTEMS USING WIRELESS SENSOR NETWORKS AND ULTRA-WIDEBAND ANTENNAS (p. 26–36)

Kabi Yelikbay

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3657-1407>

Pramod Kumar

CMR Engineering College, Seethariguda, Telangana, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2810-2765>

Ruslan Kassym

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
University of Jaén, Jaén, Spain
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

Tansaule Serikov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-7702>

Maxat Orunbekov

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0220-4053>

Ayinuer Turdy

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1809-9340>

Marzhan Temirbekova

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1911-289X>

Arai Tolegenova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8328>

Akmaral Tlenshiyeva

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8105-1632>

Makbal Kassymova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0299-8816>

This research focuses on optimizing ultra-wideband (UWB) antennas, which are critical in modern communication systems due to their wide frequency range (3.1–10.6 GHz) and high data transmission capabilities. The study addresses the challenge of optimizing key antenna parameters – such as return loss, peak gain, and radiation efficiency – while also ensuring energy efficiency and network longevity. Traditional optimization methods, such as LEACH-C, often fail to balance these factors, leading to suboptimal performance.

To solve this problem, the researchers developed the Generalized Position-based Optimization Neural Network (GPON) for UWB antenna optimization. They also evaluated the Position-based Hybrid Neural Network (PAN) method, comparing its performance with existing algorithms including LEACH-C, Firefly Algorithm (FA), HFAPSO, FA-ANN, and HWOABCA. The GPON model reduced return loss to 25.5 dB at 3.5 GHz and improved peak gain to 4.2 dB i, while maintaining 92 % radiation efficiency. In contrast, PAN demonstrated a 15–25 % improvement in residual energy and extended network lifetime by 20 % compared to LEACH-C.

These improvements were due to the integration of advanced neural network techniques in GPON and the effective use of positional data in PAN, enabling more precise and adaptive optimization. The ability to balance multiple performance metrics simultaneously – a challenge previous models struggled with – is a key feature. This balance is crucial for UWB antennas in communication systems where both performance and energy efficiency are vital. The findings are especially relevant for practical applications in wireless sensor networks, mobile communications, and radar systems, requiring long-term network reliability and optimal antenna performance.

Keywords: ultra-wideband, antenna optimization, GPON, energy efficiency, network longevity, neural networks.

References

- Muragesh, S. K., Rao, S. (2014). Automated internet of things for underground drainage and manhole monitoring system for metropolitan cities. *International Journal of Information & Computation Technology*, 4 (12), 1211–1220. Available at: https://www.ripublication.com/irph/ijict_spl/ijictv4n12spl_14.pdf
- Haswani, N. G., Deore, P. J. (2018). Web-Based Realtime Underground Drainage or Sewage Monitoring System Using Wireless Sensor Networks. 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA). <https://doi.org/10.1109/iccubea.2018.8697512>
- See, C. H., Kosha, J., Mshwat, W. A., Abd-Alhameed, R. A., Ong, F. L. C., McEwan, N. J., Excell, P. S. (2019). Design of mobile band subsurface antenna for drainage infrastructure monitoring. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 13 (13), 2380–2385. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2019.0243>
- Huang, G.-L., Zhou, S.-G., Chio, T.-H. (2017). Highly-Efficient Self-Compact Monopulse Antenna System With Integrated Comparator Network for RF Industrial Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64 (1), 674–681. <https://doi.org/10.1109/tie.2016.2608769>
- Liu, G., Wang, Z., Jiang, T. (2016). QoS-Aware Throughput Maximization in Wireless Powered Underground Sensor Networks. *IEEE Transactions on Communications*, 64 (11), 4776–4789. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2016.2602863>
- Kunsei, H., Bialkowski, K. S., Alam, M. S., Abbosh, A. M. (2018). Improved Communications in Underground Mines Using Reconfigurable Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66 (12), 7505–7510. <https://doi.org/10.1109/tap.2018.2869250>
- Salam, A., Vuran, M. C., Dong, X., Argyropoulos, C., Irmak, S. (2019). A Theoretical Model of Underground Dipole Antennas for Communications in Internet of Underground Things. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67 (6), 3996–4009. <https://doi.org/10.1109/tap.2019.2902646>
- Shakila, R., Paramasivan, B. (2020). RETRACTED ARTICLE: An improved range based localization using Whale Optimization Algorithm in underwater wireless sensor network. *Journal of Ambient In-*

- telligence and Humanized Computing, 12 (6), 6479–6489. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02263-w>
9. Alhawari, A. R. H., Majeed, S. F., Saedi, T., Mumtaz, S., Alghamdi, H., Hindi, A. T. et al. (2021). Compact Elliptical UWB Antenna for Underwater Wireless Communications. *Micromachines*, 12 (4), 411. <https://doi.org/10.3390/mi12040411>
 10. Mir, Z. H., Ko, Y.-B. (2020). Self-Adaptive Neighbor Discovery in Wireless Sensor Networks with Sectorized-Antennas. *Computer Standards & Interfaces*, 70, 103427. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103427>
 11. Ranjan, A., Sahu, H. B., Misra, P. (2020). Modeling and measurements for wireless communication networks in underground mine environments. *Measurement*, 149, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106980>
 12. Nishikawa, Y., Sasamura, T., Ishizuka, Y., Sugimoto, S., Iwasaki, S., Wang, H. et al. (2018). Design of stable wireless sensor network for slope monitoring. 2018 IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet). <https://doi.org/10.1109/wisnet.2018.8311550>
 13. Salam, A., Vuran, M. C., Irmak, S. (2019). Di-Sense: In situ real-time permittivity estimation and soil moisture sensing using wireless underground communications. *Computer Networks*, 151, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.01.001>
 14. Pasupathi, S., Vimal, S., Harold-Robinson, Y., Khari, M., Verdú, E., Crespo, R. G. (2020). Energy efficiency maximization algorithm for underwater Mobile sensor networks. *Earth Science Informatics*, 14 (1), 215–225. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00478-1>
 15. Singh, A., Mehra, R. M., Pandey, V. K. (2020). Design and Optimization of Microstrip Patch Antenna for UWB Applications Using Moth-Flame Optimization Algorithm. *Wireless Personal Communications*, 112 (4), 2485–2502. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07160-1>
 16. Sothar, P., Wang, H., Muneer, B., Dayo, Z. A., Chowdhry, B. S. (2019). A Broadband High Gain Tapered Slot Antenna for Underwater Communication in Microwave Band. *Wireless Personal Communications*, 116 (2), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06633-2>
 17. Anveshkumar, N., Gandhi, A. S. (2017). Design and performance analysis of a modified circular planar monopole UWB antenna. 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 19, 1–5. <https://doi.org/10.1109/icccnt.2017.8203970>
 18. Li, Y.-L., Shao, W., You, L., Wang, B.-Z. (2013). An Improved PSO Algorithm and Its Application to UWB Antenna Design. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 1236–1239. <https://doi.org/10.1109/lawp.2013.2283375>
 19. Tiemann, J., Pillmann, J., Wietfeld, C. (2017). Ultra-Wideband Antenna-Induced Error Prediction Using Deep Learning on Channel Response Data. 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). <https://doi.org/10.1109/vtcspring.2017.8108571>
 20. Yunus, F., Ariffin, S. H. S., Zahedi, Y. (2010). A Survey of Existing Medium Access Control (MAC) for Underwater Wireless Sensor Network (UWSN). 2010 Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation. <https://doi.org/10.1109/ams.2010.110>
 21. Sultan, A., Yermoldina, G., Kassym, R., Serikov, T., Bekbosynov, S., Yernazarov, N. et al. (2024). Research and construction of an adaptive drive with increased efficiency based on a balancing friction clutch. *Vibroengineering Procedia*, 54, 334–340. <https://doi.org/10.21595/vp.2024.23971>
 22. Bimurzaev, S., Aldiyarov, N., Yerzhigitov, Y., Tlenshiyeva, A., Kassym, R. (2023). Improving the resolution and sensitivity of an orthogonal time-of-flight mass spectrometer with orthogonal ion injection. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (126)), 43–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290649>
 23. Baibolov, A., Sydykov, S., Alibek, N., Tokmoldayev, A., Turdybek, B., Jurado, F., Kassym, R. (2022). Map of zoning of the territory of Kazakhstan by the average temperature of the heating period in order to select a heat pump system of heat supply: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44 (3), 7303–7315. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2108168>
 24. Utegenova, A., Bapyshev, A., Suimenbayeva, Z., Aden, A., Kassym, R., Tansaule, S. (2023). Development system for coordination of activities of experts in the formation of machinescheckable standards in the field of military and space activities based on ontological engineering: a case study. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (125)), 67–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288542>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309907

DEVELOPMENT MODEL OF A HIGH-PERFORMANCE MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT MICROSTRIP ANTENNA BASED ON A PLANAR SERIES ARRAY WITH 842 ELEMENTS FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS (p. 37–49)

Syah Alam

Universitas Trisakti,
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-8364>

Indra Surjati

Universitas Trisakti,
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6944-0213>

Lydia Sari

Universitas Trisakti, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0147-7305>

Yuli Kurnia Ningsih

Universitas Trisakti,
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-9143>

Suryadi Suryadi

Universitas Trisakti,
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0490-1473>

Teguh Firmansyah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
Serang, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9000-9337>

Zahriladha Zakaria

Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM),
Durian Tunggal, Melaka, Malaysia

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

MIMO (Multiple Input Multiple Output) makes a major contribution to 5G communication systems by increasing network capacity and spectrum efficiency. In 5G, MIMO enables the use of multiple antennas at base stations and user devices, allowing simultaneous sending and receiving of data over multiple paths. This significantly increases data throughput and connection reliability, especially in environments with high user density. In addition, MIMO technology supports the implementation

of beamforming, which focuses signals on a specific direction, reduces interference, and improves signal coverage and quality, making it one of the keys to achieving faster and more responsive 5G performance. Therefore, antennas with wide bandwidth, high gain and MIMO performance are crucial for supporting 5G communication systems. This paper proposes a high-performance MIMO microstrip antenna based on a series planar array with 8×2 elements operating at a resonant frequency of 3.5 GHz for 5G communication systems. A spiral stub and a feed inset are proposed to control the reflection coefficient and bandwidth of the antenna while the series planar array is proposed to increase the gain. To support the MIMO communication system, the proposed antenna is separated into two different ports with a certain distance. From the measurement results, the proposed antenna has high performance indicated by a wide bandwidth of 680 MHz (3–3.68 GHz) and a high gain of 17.8 dB at a resonant frequency of 3.5 GHz. In addition, the proposed antenna has high mutual coupling and diversity indicated by ECC and DG of 0.001 and 9.99 dB, respectively. This work provides a solution to design a high-performance microstrip antenna and can be implemented as a receiving antenna for 5G communication systems.

Keywords: microstrip antenna, high gain, MIMO system, planar array, 5G system.

References

- Kamal, S., Bin Ain, M. F., Ullah, U., Mohammed, A. S. B., Najmi, F., Hussin, R. et al. (2021). Wheel-shaped miniature assembly of circularly polarized wideband microstrip antenna for 5G mmWave terminals. *Alexandria Engineering Journal*, 60 (2), 2457–2470. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.054>
- Fante, K. A., Gameda, M. T. (2021). Broadband microstrip patch antenna at 28 GHz for 5G wireless applications. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11 (3), 2238. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i3.pp2238-2244>
- Tarpara, N., Rathwa, R. R., Kotak, D. N. A. (2018). Design of Slotted Microstrip patch Antenna for 5G Application. *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 5 (4), 2827–2832.
- Hussain, R., Alreshaid, A. T., Podilchak, S. K., Sharawi, M. S. (2017). Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 11 (2), 271–279. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0738>
- Deng, J., Li, J., Zhao, L., Guo, L. (2017). A Dual-Band Inverted-F MIMO Antenna With Enhanced Isolation for WLAN Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 2270–2273. <https://doi.org/10.1109/lawp.2017.2713986>
- Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Al-Yasir, Y. I. A., Ullah, A., Abd-Alhameed, R. A., Noras, J. M. (2019). Multi-Band MIMO Antenna Design with User-Impact Investigation for 4G and 5G Mobile Terminals. *Sensors*, 19 (3), 456. <https://doi.org/10.3390/s19030456>
- Hikmaturokhman, A., Ramli, K., Suryanegara, M. (2018). Spectrum Considerations for 5G in Indonesia. 2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev). <https://doi.org/10.1109/icitr.2018.8706874>
- Hobbs, S. (2018). Valuing 5G Spectrum: Valuing the 3.5 GHz and C-Band Frequency Range. Coleago Consulting.
- An, W., Li, Y., Fu, H., Ma, J., Chen, W., Feng, B. (2018). Low-Profile and Wideband Microstrip Antenna With Stable Gain for 5G Wireless Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (4), 621–624. <https://doi.org/10.1109/lawp.2018.2806369>
- Pratiwi, A. R., Setijadi, E., Hendratoro, G. (2020). Design of Two-Elements Subarray with Parasitic Patch for 5G Application. 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 7, 311–316. <https://doi.org/10.1109/isitia49792.2020.9163785>
- Tang, X., Jiao, Y., Li, H., Zong, W., Yao, Z., Shan, F. et al. (2019). Ultra-Wideband Patch Antenna for Sub-6 GHz 5G Communications. 2019 International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM). <https://doi.org/10.1109/iwem.2019.8887933>
- Murugan, S. (2021). Compact MIMO Shorted Microstrip Antenna for 5G Applications. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, 11 (1), 22–27. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2021.01.03>
- Naik, P. S., Virani, H. G. (2020). 1×4 Microstrip Patch Slotted Array Antenna for 5G C-Band Access Point Application. 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 1, 641–644. <https://doi.org/10.1109/icesc48915.2020.9156015>
- Aghoutane, B., Das, S., EL Ghzaoui, M., Madhav, B. T. P., El Faylali, H. (2022). A novel dual band high gain 4-port millimeter wave MIMO antenna array for 28/37 GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 145, 154071. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.154071>
- Naga Jyothi Sree, G., Nelaturi, S. (2021). Design and experimental verification of fractal based MIMO antenna for lower sub 6-GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 137, 153797. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.153797>
- Hu, W., Liu, X., Gao, S., Wen, L.-H., Qian, L., Feng, T. et al. (2019). Dual-Band Ten-Element MIMO Array Based on Dual-Mode IFAs for 5G Terminal Applications. *IEEE Access*, 7, 178476–178485. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2958745>
- Xu, K. D., Zhu, J., Liao, S., Xue, Q. (2018). Wideband Patch Antenna Using Multiple Parasitic Patches and Its Array Application With Mutual Coupling Reduction. *IEEE Access*, 6, 42497–42506. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2860594>
- Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Anindito, A., Putranto, A. Y., Firmansyah, T. (2021). Bandwidth Enhancement of Array Microstrip Antenna Using Spiral Stub For 5G Communication System. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (11), 42–46. <https://doi.org/10.15199/48.2021.11.07>
- Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Ningsih, Y. K., Suryadi, S., Trihantoro, G. et al. (2023). Wide band and high gain microstrip antenna using planar series array 4×2 element for 5G communication system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (124)), 16–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285395>
- Putri, S., Surjati, I., Alam, S., Ningsih, Y. K., Sari, L., Firmansyah, T., Zakaria, Z. (2024). High Isolation of Dual-Band MIMO Microstrip Antenna with Vertical – Horizontal Configuration for 5G Communication System. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (4), 89–95. <https://doi.org/10.15199/48.2024.04.17>
- Fang, D. G. (2017). *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10302>
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. ARTECH HOUSE. Available at: <https://uodiyala.edu.iq/uploads/PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL37/Microstrip%20Antenna%20Design%20Handbook.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313455

OPTIMIZATION OF DISTRIBUTED ACOUSTIC
SENSORS BASED ON FIBER OPTIC TECHNOLOGIES
(p. 50–59)

Askar Abdykadyrov

RSE “Institute of Mechanics and Engineering
named after Academician U. A. Dzholdasbekova”,

Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1143-4675>

Nurzhigit Smailov

RSE “Institute of Mechanics and Engineering
named after Academician U. A. Dzholdasbekova”,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Akezhan Sabibolda

RSE “Institute of Mechanics and Engineering
named after Academician U. A. Dzholdasbekova”,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-7940>

Gulzhaina Tolen

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6010-1167>

Zhandos Dosbayev

RSE “Institute of Mechanics and Engineering
named after Academician U. A. Dzholdasbekova”,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1673-4036>

Zhomart Ualiyev

RSE “Institute of Mechanics and Engineering
named after Academician U. A. Dzholdasbekova”,
Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5021-2154>

Rashida Kadyrova

Almaty Academy of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan
named after Makana Esbulatova, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5120-6932>

This research investigates distributed acoustic sensors (DAS) based on fiber optic technologies, focusing on the impact of pressure on signal-to-noise ratio (SNR), noise levels, and dominant frequency shifts. DAS systems are widely used for infrastructure monitoring due to their ability to capture acoustic signals over long distances, making them ideal for seismic and pipeline monitoring.

The study examines how fluctuating pressure affects DAS performance, particularly signal quality and noise reduction. In applications like pipeline leak detection and seismic monitoring, pressure changes can degrade signal clarity and complicate anomaly detection. Understanding this relationship is key to optimizing DAS performance and improving system efficiency.

The experiment varied pressure from 0.1 atm to 5 atm, showing that increased pressure raised SNR from 10 dB to 48 dB, reduced noise from 10 dB to 7 dB, and shifted the dominant frequency from 0.5 Hz to 3 Hz. Fourier analysis provided insights into these frequency spectrum changes. Higher pressure compresses the medium, enhancing signal isolation and improving SNR while reducing noise. The frequency shift results from changes in acoustic wave propagation speed under higher pressure, highlighting its role in signal processing.

The key finding is that higher pressure significantly improves signal quality and reduces noise, enhancing DAS performance. The frequency shift improves environmental detection capabilities. These results are valuable for DAS applications in environments with pressure variations, like pipeline monitoring,

where high signal quality is crucial. Improved signal fidelity and frequency shifts make DAS systems more reliable for long-term monitoring and contribute to accurate anomaly detection.

Keywords: fiber optic technologies, distributed acoustic sensors, seismic monitoring, infrastructure monitoring.

References

1. Udd, E., Spillman, W. B. (Eds.) (2024). *Fiber Optic Sensors*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119678892>
2. Ashry, I., Mao, Y., Wang, B., Hveding, F., Bukhamsin, A., Ng, T. K., Ooi, B. S. (2022). A Review of Distributed Fiber–Optic Sensing in the Oil and Gas Industry. *Journal of Lightwave Technology*, 40 (5), 1407–1431. <https://doi.org/10.1109/jlt.2021.3135653>
3. Hveding, F., Bukhamsin, A. (2018). Distributed Fiber Optic Sensing – A Technology Review for Upstream Oil and Gas Applications. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/192323-ms>
4. Mikhailov, P., Ualiyev, Z., Kabdoldina, A., Smailov, N., Khikmetov, A., Malikova, F. (2021). Multifunctional fiber-optic sensors for space infrastructure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 80–89. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242995>
5. Sekenov, B., Smailov, N., Tashtay, Y., Amir, A., Kuttybayeva, A., Tolemanova, A. (2024). Fiber-Optic Temperature Sensors for Monitoring the Influence of the Space Environment on Nanosatellites: A Review. *Advances in Asian Mechanism and Machine Science*, 371–380. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_42
6. Khabay, A., Baktybayev, M., Ibekeyev, S., Sarsenbayev, N., Junussov, N., Zhumakhan, N. (2024). Improvement of fiber optic sensor measurement methods for temperature and humidity measurement in microelectronic circuits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (129)), 36–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306711>
7. Parker, T., Shatalin, S., Farhadiroushan, M. (2014). Distributed Acoustic Sensing – a new tool for seismic applications. *First Break*, 32 (2). <https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013034>
8. Masoudi, A., Newson, T. P. (2016). Contributed Review: Distributed optical fibre dynamic strain sensing. *Review of Scientific Instruments*, 87 (1). <https://doi.org/10.1063/1.4939482>
9. Hartog, A. H. (2017). *An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315119014>
10. Gonzalez-Herraez, M., Fernandez-Ruiz, M. R., Magalhaes, R., Costa, L., Martins, H. F., Becerril, C. et al. (2021). Distributed Acoustic Sensing for Seismic Monitoring. *Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021*, 9, Tu1L.2. <https://doi.org/10.1364/ofc.2021.tu1l.2>
11. Dou, S., Lindsey, N., Wagner, A. M., Daley, T. M., Freifeld, B., Robertson, M. et al. (2017). Distributed Acoustic Sensing for Seismic Monitoring of The Near Surface: A Traffic-Noise Interferometry Case Study. *Scientific Reports*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11986-4>
12. Zhu, H.-H., Liu, W., Wang, T., Su, J.-W., Shi, B. (2022). Distributed Acoustic Sensing for Monitoring Linear Infrastructures: Current Status and Trends. *Sensors*, 22 (19), 7550. <https://doi.org/10.3390/s22197550>
13. Martins, W. A., de Campos, M. L. R., da Silva Chaves, R., Lordeo, C. P. V., Ellmuthaler, A., Nunes, L. O., Barfoot, D. A. (2017). Communication Models for Distributed Acoustic Sensing for Telemetry. *IEEE Sensors Journal*, 17 (15), 4677–4688. <https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2714023>
14. Wang, Y., Yuan, H., Liu, X., Bai, Q., Zhang, H., Gao, Y., Jin, B. (2019). A Comprehensive Study of Optical Fiber Acoustic Sensing. *IEEE Access*, 7, 85821–85837. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2924736>

15. Cannon, R., Aminzadeh, F. (2013). Distributed Acoustic Sensing: State of the Art. All Days. <https://doi.org/10.2118/163688-ms>
16. Soroush, M., Mohammadtabar, M., Roostaei, M., Hosseini, S. A., Fatahpour, V., Mahmoudi, M. et al. (2022). Downhole Monitoring Using Distributed Acoustic Sensing: Fundamentals and Two Decades Deployment in Oil and Gas Industries. Day 3 Wed, March 23, 2022. <https://doi.org/10.2118/200088-ms>
17. Johannessen, K., Drakeley, B., Farhadiroushan, M. (2012). Distributed Acoustic Sensing - A New Way of Listening to Your Well/Reservoir. All Days. <https://doi.org/10.2118/149602-ms>
18. Lindsey, N. J., Martin, E. R., Dreger, D. S., Freifeld, B., Cole, S., James, S. R. et al. (2017). Fiber Optic Network Observations of Earthquake Wavefields. *Geophysical Research Letters*, 44 (23). <https://doi.org/10.1002/2017gl075722>
19. Zhan, Z. (2019). Distributed Acoustic Sensing Turns Fiber-Optic Cables into Sensitive Seismic Antennas. *Seismological Research Letters*, 91 (1), 1–15. <https://doi.org/10.1785/0220190112>
20. Sladen, A., Rivet, D., Ampuero, J. P., De Barros, L., Hello, Y., Calbris, G., Lamare, P. (2019). Distributed sensing of earthquakes and ocean-solid Earth interactions on seafloor telecom cables. *Nature Communications*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13793-z>
21. Murayama, H., Wada, D., Igawa, H. (2013). Structural health monitoring by using fiber-optic distributed strain sensors with high spatial resolution. *Photonic Sensors*, 3 (4), 355–376. <https://doi.org/10.1007/s13320-013-0140-5>
22. Eum, S. H., Kageyama, K., Murayama, H., Uzawa, K., Ohsawa, I., Kanai, M. et al. (2007). Structural health monitoring using fiber optic distributed sensors for vacuum-assisted resin transfer molding. *Smart Materials and Structures*, 16 (6), 2627–2635. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/16/6/067>
23. Fan, X., He, Z., Liu, Q., Chen, D., Wang, S., Yang, G. (2018). Fiber-optic distributed acoustic sensors (DAS) and applications in railway perimeter security. *Advanced Sensor Systems and Applications VIII*, 28, 1. <https://doi.org/10.1117/12.2505342>
24. Ružička, M., Münster, P., Dejdar, P., Jablončík, L. (2021). Distributed optical fiber acoustic sensing system for perimeter security. *Security & Future*, 5 (4), 150–152. Available at: <https://stumejournals.com/journals/confsec/2021/4/150.full.pdf>
25. Kabdoldina, A., Ualiyev, Z., Smailov, N., Malikova, F., Oralkanova, K., Baktybayev, M. et al. (2022). Development of the design and technology for manufacturing a combined fiber-optic sensor used for extreme operating conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (119)), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266359>
26. Smailov, N., Zhadiger, T., Tashtay, Y., Abdykadyrov, A., Amir, A. (2024). Fiber laser-based two-wavelength sensors for detecting temperature and strain on concrete structures. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 7 (4), 1693–1710. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v7i4.3481>
27. Kuttybayeva, A., Sabibolda, A., Kengesbayeva, S., Baigulbayeva, M., Amir, A., Sekenov, B. (2024). Investigation of a Fiber Optic Laser Sensor with Grating Resonator Using Mirrors. 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (El-Con). <https://doi.org/10.1109/elcon61730.2024.10468264>
28. Sabibolda, A., Tsymporenko, V., Smailov, N., Tsymporenko, V., Abdykadyrov, A. (2024). Estimation of the Time Efficiency of a Radio Direction Finder Operating on the Basis of a Searchless Spectral Method of Dispersion-Correlation Radio Direction Finding. *Advances in Asian Mechanism and Machine Science*, 62–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_8
29. Smailov, N., Tsymporenko, V., Sabibolda, A., Tsymporenko, V., Kabdoldina, A., Zhekambayeva, M. et al. (2023). Improving the accuracy of a digital spectral correlation-interferometric method of direction finding with analytical signal reconstruction for processing an incomplete spectrum of the signal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (125)), 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288397>
30. Sabibolda, A., Tsymporenko, V., Tsymporenko, V., Smailov, N., Zhunussov, K., Abdykadyrov, A. et al. (2022). Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9(115)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312489

IDENTIFICATION OF CHARACTERISTICS OF CONCEPTUAL PROTOTYPE OF MICROPROCESSOR RESOURCE-SAVING RELAY PROTECTION SYSTEM (p. 60–69)

Alexandr Neftissov

Astana IT University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

Ilyas Kazambayev

Astana IT University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

Lalita Kirichenko

Astana IT University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Dnislam Urazayev

Nazarbayev University, Astana,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4542-2691>

Andrii Biloshchytskyi

Astana IT University, Astana,
Republic of Kazakhstan

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

Omirzak Abdirashev

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7621-5444>

The object of the study is the conceptual prototype of a microprocessor resource-saving relay protection system. Currently, relay protection ensures electrical networks reliable and efficient work, however, the traditional architecture is proprietary, not allowing to fix and replace damaged parts without a company specialist. Therefore, the open-architecture relay protection is a very pressing issue, but the problem lies in meeting the relay protection requirements. The data transmission protocols nRF and ESP-NOW, Hall sensors evaluation for AC current measurement determination and sensor accuracy improvement was implemented. Experimental validation demonstrated that nRF and ESP-NOW protocols meet the delay and reliability requirements, however, the nRF protocol is more suitable due to its flexibility and obstacle penetration. The data demonstrated that the most effective conditions are without obstacles at 15 meters from the modem and with obstacles 5 meters from the modem. The experiment of Hall sensors characteristics determination

demonstrated the accuracy of current measurement with the set values of the opening and closing currents. Nevertheless, it is not accurate (12.45 %) for the relay protection application. Therefore, the application of the changing values of the opening and closing currents is more effective and accuracy reaches 6.92 %. As a result, the service life of the Hall sensor was determined, and even after 10 million openings, the open state time remained unchanged. Therefore, the approximation function for current amplitude determination depending on open state time was found. On the other hand, Hall sensors may suffer from temperature drift and require further optimization to be fully reliable. The study limitation is the current range from 0 to 800 A.

Keywords: relay protection, reed switch, Hall sensor, magnetic field, open architecture.

References

1. Technical report on the events of 9 august 2019. Available at: https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2019/09/eso_technical_report_-_final.pdf
2. Bringing 5G to power. Available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/industrylab/reports/bringing-5g-to-power>
3. Biglarbegian, M., Nibir, S. J., Jafarian, H., Parkhideh, B. (2016). Development of current measurement techniques for high frequency power converters. 2016 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). <https://doi.org/10.1109/intlec.2016.7749133>
4. Shen, D., Hu, B., Wang, X., Zhu, M., Wang, L., Lu, W. (2017). Research on Harmonic Characteristic of Electronic Current Transformer Based on the Rogowski Coil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 199, 012123. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/199/1/012123>
5. Piesciorovsky, E. C., Warmack, R. J. B., Polsky, Y. (2023). Medium-Voltage Testbed for Comparing Advanced Power Line Sensors vs. Measurement Transformers with Electrical Grid Events. *Energies*, 16 (13), 4944. <https://doi.org/10.3390/en16134944>
6. Chen, J., Xu, Q., Wang, K. (2020). Research and Application of Generator Protection Based on Fiber Optical Current Transformer. *IEEE Access*, 8, 172405–172411. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3018734>
7. Parkhomenko, R., Aniskov, O., Tsibulevsky, Y., Melnik, O., Shchokina, O., Kharitonov, A. et al. (2018). Designing a combined device for determining the place of arc discharge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (93)), 12–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.134016>
8. Kletsel, M. Ya., Mashrapov, B. E., Mashrapova, R. M. (2023). Reed switch protection of double-circuit lines without current and voltage transformers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 154, 109457. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109457>
9. Kletsel, M., Mashrapov, B., Mashrapova, R. (2024). Resource-saving microprocessor-based reed switch current protection. *Electric Power Systems Research*, 230, 110276. <https://doi.org/10.1016/j.eprsr.2024.110276>
10. Goryunov, V., Kletsel, M., Mashrapov, B., Mussayev, Z., Talipov, O. (2022). Resource-saving current protections for electrical installations with isolated phase busducts. *Alexandria Engineering Journal*, 61 (8), 6061–6069. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.11.031>
11. Issabekov, D. D., Mussayev, Z. B., Markovskiy, V. P., Kislov, A. P., Urazalimova, D. S. (2024). Reed Switch Overcurrent Protection: New Approach to Design. *Energies*, 17 (11), 2481. <https://doi.org/10.3390/en17112481>
12. Blagojević, M., Jovanović, U., Jovanović, I., Mančić, D. (2017). Folded bus bar current transducer based on Hall effect sensor. *Electrical Engineering*, 100 (2), 1243–1251. <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0579-2>
13. Weiss, R., Itzke, A., ReitenspieB, J., Hoffmann, I., Weigel, R. (2019). A Novel Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 19 (7), 2517–2524. <https://doi.org/10.1109/jсен.2018.2887302>
14. Xu, Y., Lalwani, A. V., Arora, K., Zheng, Z., Renteria, A., Senesky, D. G., Wang, P. (2022). Hall-Effect Sensor Design With Physics-Informed Gaussian Process Modeling. *IEEE Sensors Journal*, 22 (23), 22519–22528. <https://doi.org/10.1109/jсен.2022.3216499>
15. Neftissov, A., Sarinova, A., Kazambayev, I., Kirichenko, L., Kuchanskyi, O., Faizullin, A. (2023). Determination of the speed of a microprocessor relay protection device of open architecture with a reed switch and the industrial internet of things. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (122)), 20–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276588>
16. Neftissov, A., Sarinova, A., Kazambayev, I., Kirichenko, L., Biloshchytskyi, A., Kislov, A., Andreyeva, O. (2023). Development of the error reducing method for the determination of the alternating current amplitude without the use of current transformers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (125)), 32–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288339>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313747

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF HEAT CONDUCTIVITY FOR MODERN ELECTRONIC DEVICES WITH ELEMENTS CONTAINING FOREIGN INCLUSIONS (p. 70–79)

Vasyl Havrysh

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3092-2279>

Elvira Dzhumelia

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3146-8725>

Oksana Hrytsai

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0710-1675>

Stepan Kachan

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0306-9110>

Viktoria Maikher

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0786-6950>

This paper considers the heat conduction process for an isotropic medium containing a foreign half-through inclusion and heated by a locally concentrated heat flow. Linear and non-linear mathematical models for determining the temperature field have been built to establish the temperature regimes for the effective operation of electronic devices. The coefficient of thermal conductivity of a non-uniform structure is represented as a whole, using asymmetric unit functions, which automatically provides the conditions of ideal thermal contact on the surfaces of materials. This results in solving one heat conduction equation with discontinuous and singular coefficients. A linearizing function was introduced to linearize the nonlinear boundary value problem. Analytical-numerical solutions

of linear and nonlinear boundary-value problems have been obtained in a closed form. A linear temperature dependence of the coefficient of thermal conductivity of structural materials was chosen for a heat-sensitive medium. As a result, an analytical-numerical solution was derived, which determines the temperature distribution in this medium. On this basis, a numerical experiment was performed, the results of which are graphically displayed and confirm the adequacy of the constructed mathematical models to a real physical process.

The materials of the plate and inclusion are silicon and silver. The results for these materials based on the linear and non-linear model differ by 7%. Their slight difference is explained by the fact that the values of the temperature coefficient of thermal conductivity are small. The models built make it possible to analyze the given environments in terms of their thermal resistance. As a result, it becomes possible to improve it, and protect structures from overheating, which could lead to the failure of individual nodes and their elements and the entire electronic device.

Keywords: thermal resistance of the structure, foreign half-through inclusion, ideal thermal contact, convective heat exchange.

References

1. Sheikh, Z. (1994). Where do you the cooling vents. *Electronics cooling*.
2. Zhang, Z., Sun, Y., Cao, X., Xu, J., Yao, L. (2024). A slice model for thermoelastic analysis of porous functionally graded material sandwich beams with temperature-dependent material properties. *Thin-Walled Structures*, 198, 111700. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.111700>
3. Zhang, Z., Zhou, D., Fang, H., Zhang, J., Li, X. (2021). Analysis of layered rectangular plates under thermo-mechanical loads considering temperature-dependent material properties. *Applied Mathematical Modelling*, 92, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.10.036>
4. Peng, X., Li, X., Gong, Z., Zhao, X., Yao, W. (2022). A deep learning method based on partition modeling for reconstructing temperature field. *International Journal of Thermal Sciences*, 182, 107802. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107802>
5. Ren, Y., Huo, R., Zhou, D., Zhang, Z. (2022). Thermo-Mechanical Buckling Analysis of Restrained Columns Under Longitudinal Steady-State Heat Conduction. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47 (3), 1411–1423. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-01020-7>
6. Breukelman, H. J., Santofimia, M. J., Hidalgo, J. (2023). Dataset of a thermal model for the prediction of temperature fields during the creation of austenite/martensite mesostructured materials by localized laser treatments in a Fe-Ni-C alloy. *Data in Brief*, 48, 109110. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109110>
7. Zhang, W., Wu, M., Du, S., Chen, L., Hu, J., Lai, X. (2023). Modeling of Steel Plate Temperature Field for Plate Shape Control in Roller Quenching Process. *IFAC-PapersOnLine*, 56 (2), 6894–6899. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.493>
8. Khan, Z. H., Khan, W. A., Ibrahim, S. M., Mabood, F., Huang, Z. (2024). Effects of thermal boundary conditions on Stokes' second problem. *Results in Physics*, 60, 107662. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2024.107662>
9. Evstatieva, N., Evstatiev, B. (2023). Modelling the Temperature Field of Electronic Devices with the Use of Infrared Thermography. *2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/atee58038.2023.10108375>
10. Liu, H., Yu, J., Wang, R. (2023). Dynamic compact thermal models for skin temperature prediction of portable electronic devices based on convolution and fitting methods. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 210, 124170. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124170>
11. Ghannad, M., Yaghoobi, M. P. (2015). A thermoelasticity solution for thick cylinders subjected to thermo-mechanical loads under various boundary conditions. *International Journal of Advanced Design & Manufacturing Technology*, 8 (4).
12. Song, H., Song, K., Gao, C. (2019). Temperature and thermal stress around an elliptic functional defect in a thermoelectric material. *Mechanics of Materials*, 130, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.01.008>
13. Parhizkar Yaghoobi, M., Ghannad, M. (2020). An analytical solution for heat conduction of FGM cylinders with varying thickness subjected to non-uniform heat flux using a first-order temperature theory and perturbation technique. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 116, 104684. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104684>
14. Eker, M., Yarımpabuç, D., Çelebi, K. (2020). Thermal stress analysis of functionally graded solid and hollow thick-walled structures with heat generation. *Engineering Computations*, 38 (1), 371–391. <https://doi.org/10.1108/ec-02-2020-0120>
15. Wang, H., Qin, Q. (2019). Thermal Analysis of a Functionally Graded Coating/Substrate System Using the Approximated Transfer Approach. *Coatings*, 9 (1), 51. <https://doi.org/10.3390/coatings9010051>
16. Zhang, Q., Song, H., Gao, C. (2023). The 3-D problem of temperature and thermal flux distribution around defects with temperature-dependent material properties. *Thermal Science*, 27 (5 Part B), 3903–3920. <https://doi.org/10.2298/tsci221003028z>
17. Havrysh, V. I., Kolyasa, L. I., Ukhanska, O. M., Loik, V. B. (2019). Determination of temperature field in thermally sensitive layered medium with inclusions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 76–82. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/5>
18. Havrysh, V. I. (2017). Investigation of Temperature Fields in a Heat-Sensitive Layer with Through Inclusion. *Materials Science*, 52 (4), 514–521. <https://doi.org/10.1007/s11003-017-9984-y>
19. Havrysh, V. I., Kosach, A. I. (2012). Boundary-value problem of heat conduction for a piecewise homogeneous layer with foreign inclusion. *Materials Science*, 47 (6), 773–782. <https://doi.org/10.1007/s11003-012-9455-4>
20. Gavrysh, V., Tushnytskyy, R., Pelekh, Y., Pukach, P., Baranetskyi, Y. (2017). Mathematical model of thermal conductivity for piecewise homogeneous elements of electronic systems. *2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, 50, 333–336. <https://doi.org/10.1109/cadsm.2017.7916146>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314117

DEVISING A METHOD FOR DETERMINING THE MOISTURE CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF SUBGRADE SOILS TAKING INTO ACCOUNT EUROPEAN APPROACHES AND STANDARDS (p. 80–89)

Andrii Bubela

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

Liudmyla Bondarenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8239-065X>

Yevheniia Kvatadze

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2798-8955>

Andrii Ivko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3388-8355>

Vitalii Stozhka

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>

The object of this study is the theoretical and methodological approaches to determining the coefficient of moisture conductivity of subgrade soils. The work focuses on considering the European approaches and standards when devising a method for determining the coefficient of moisture conductivity of soils.

In the course of the research, a method was developed for determining the coefficient of moisture conductivity of soils K_1 , which characterizes the diffusion movement of water, through the filtration coefficient K_0 , calculated in accordance with European requirements based on laboratory test data.

The proposed method is based on a mathematical model built on the basis of the differential equation of changes in soil moisture. The model is special in that, unlike existing ones, the movement of water was modeled from the bottom up, which reflects the process of moisture accumulation in the lower layers of the subgrade from groundwater or topwater.

A good agreement of the mathematical model with the data by other authors was obtained (the relative error did not exceed 12.98 %).

A direct relationship between the moisture conductivity coefficient of soils K_1 and their initial moisture content W_0 and an inverse relationship between K_1 and the total moisture capacity of soils W_{FH} were established in the paper. Dependences were derived in the range of changes in initial soil moisture W_0 from 0.08 to 0.15 and W_{FH} from 0.15 to 0.5. It was found that the values of the moisture conductivity coefficient of soils K_1 increase from $4.64 \cdot 10^{-6}$ to $3.81 \cdot 10^{-5}$ m²/h with an increase in their initial moisture content and with a decrease in total moisture capacity.

From the point of view of engineering practice of road construction, the proposed method makes it possible to predict seasonal changes in soil moisture in the subgrade, to determine the strength of the road structure. This makes it possible to make sound design decisions on the installation of drainage systems on roads in order to extend their service life.

Keywords: soil moisture, coefficient of soil moisture conductivity, subgrade, road structure.

References

1. Sawangsuriya, A., Wachiraporn, S., Sramoon, W. (2015). Soil moisture and strength index for earthwork construction quality control. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 26, 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/26/1/012033>
2. Getachew, D. (2022) Determination of Effect of Moisture Content and Density on Shear Strength Parameters and Slope Stability of Highly Plastic Silt Embankment Soil (the Case of Wozek-Gidole Road). International research journal of engineering and technology, 7, 2333–2346. Available at: https://www.researchgate.net/publication/359218718_INTERNATIONAL_RESEARCH_JOURNAL_OF_ENGINEERING_AND_TECHNOLOGY_IRJET_Determination_of_Effect_of_Moisture_Content_and_Density_on_Shear_Strength_Parameters_and_Slope_Stability_of_Highly_Plastic_Silt_Emban
3. Nguyen, T. M., Walker, J. P., Ye, N., Kodikara, J. (2023). Use of an L-band radiometer for proximal moisture measurement in road construction. Transportation Geotechnics, 38, 100876. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100876>
4. Venmans, A. A. M., van de Ven, R., Kollen, J. (2016). Rapid and Non-intrusive Measurements of Moisture in Road Constructions Using Passive Microwave Radiometry and GPR – Full Scale Test. Procedia Engineering, 143, 1244–1251. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.111>
5. Shan, W., Guo, Y. (2009). The effect of plant root system on temperature and moisture of road cutting slope in seasonal frozen regions. Geophysical Research Abstracts, 11. Available at: https://www.researchgate.net/publication/234452799_The_effect_of_plant_root_system_on_temperature_and_moisture_of_road_cutting_slope_in_seasonal_frozen_regions
6. Uduebor, M., (2023) Engineered water repellency for moisture control in pavement soils. Graduate Research Symposium. Charlotte. Available at: https://www.researchgate.net/publication/372162478_ENGINEERED_WATER_REPELLENCY_FOR_MOISTURE_CONTROL_IN_PAVEMENT_SOILS
7. Bondarenko, L., Kvatadze, Y. (2022). Methods of determining the coefficient of moisture conductivity of soils subgrade. Dorogi i Mosti, 2022 (26), 138–146. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.138>
8. ISO 17892-11:2019 (E) Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 11: Permeability tests. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/72016.html>
9. M 42.1-37641918-785:2023 Metodyka vyznachennia koefitsiienta volohoprovodnosti gruntiv zemlianoho polotna na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (2023). Kyiv, 33. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106753
10. Puzakov, N. A., Zolotar, Y. A., Sydenko, V. M., Tulaev, A. Ya. et al. (1971). Vodno-teplovoi rezhym zemlianoho polotna y dorozhnikh odezhd. Moscow: Transport, 413.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313114

DETERMINING WORKING CHARACTERISTICS OF THE EXCESS AIR PRESSURE SYSTEM IN AN EMERGENCY HATCH BASED ON JET WATER-GAS EJECTORS (p. 90–99)

Serhii Hrynchak

Naval Institute of the National University
“Odesa Maritime Academy”, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6627-7780>

The object of this study is jet water and gas ejectors in the fire safety system of ships. The problem solved relates to the fact that in the event of a fire in the area of the exit from the ship's emergency room, the heat energy increases dangerously and a large amount of smoke spreads throughout the ship's rooms. These factors require immediate sealing of the emergency room, which limits the immediate access of emergency teams to the room. Installation of a local excess air pressure system in the emergency hatch on the basis of jet water and gas ejectors could make it possible to shield thermal energy and localize smoke gases in the emergency room without sealing it to ensure prompt access of emergency teams to it. The following results were achieved – the adequacy of theoretical studies of the processes of localization of flue gases in the emergency room without its sealing was confirmed by the experimental method. The investigated problem was solved by optimizing processes: the rate of change in the natural indicator of the weakening of environment during the start-up of the local excess air pressure system in the emergency hatch based on jet water and gas ejectors; the effectiveness of reducing the temperature of heated gases in the superstructure during the operation of the excess air pressure system in the

emergency hatch based on jet water-gas ejectors. Special feature of the results was the formation of an air curtain obtained by the selection of a part of high-temperature flue gases in the housings of jet water-gas ejectors, their heat-mass exchange processing and output back into the flow. This created conditions under which thermal energy is shielded with an efficiency of 85–88 %. The scope and conditions of practical use of the results are shipbuilding and ship fire safety design.

Keywords: water-gas jet ejector, emergency hatch, natural attenuation index, thermal energy.

References

1. Hrynychak, S. (2024). Determining performance characteristics of jet water-gas ejectors for an opening in a vertical fencing structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (129)), 21–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.305828>
2. Miroshnichenko, V. N., Sokolov, V. V., Sheverev, E. Iu. et al. (2002). Issledovanie dymosazhdaiushchei i okhlazhdaiushchei effektivnosti ustroystv UDP GIBK. 065289.001. *Naukovii visnik UkrNDIPB*, 1 (5), 76–82.
3. Zatarinnaia, T. G. (2004). Lokalizatsiia gazovozdushnogo potoka (dyma) vodianoj zavesoi reguliruemoi tolshchiny orosheniia. *Zbirnik naukovikh prac*, 1 (4), 238–243.
4. Kuripko, O. V., Nikitin, E. V., Anokhin, G. A. (2002). Povyshenie ognestoikosti korabelnykh ograzhdaiushchikh konstruktsii: puti i metody issledovaniia. *Zbirnik naukovikh prac*, 1, 164–169.
5. Blintsov, V., Hrynychak, S. (2017). Development of the improved methods of fight against distribution of smoke on ship with systems of jet water–gas ejectors. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 35–41. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00498>
6. Blintsov, V. S., Hrynychak, S. O. (2017). Theoretical substantiation of the method for designing ship apertures with the use of the air suppression system based on the jet water-gas apparatus. *Collection of Scientific Publications NUS*, 470 (3), 11–20. <https://doi.org/10.15589/jnn20170302>
7. Hrynychak, S. O. (2016). Pat. No. 110777 UA. Sposib pidporu povitria v avariinomu liuku i prystrii dlia yoho realizatsii. MPK A62C 3/00. No. a201206290; declared: 24.05.2012; published: 25.02.2016, *Bul. No. 4*, 4.
8. Mayerhöfer, T. G., Pahlow, S., Popp, J. (2020). The Bouguer-Beer-Lambert Law: Shining Light on the Obscure. *ChemPhysChem*, 21 (18), 2029–2046. <https://doi.org/10.1002/cphc.202000464>
9. Oehlert, G. W. (2010). *A first course in design and analysis of experiments*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 679.
10. Jiju, A. (2014). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier Ltd, 276. <https://doi.org/10.1016/c2012-0-03558-2>
11. *Design of Engineering Experiments*. Available at: <https://www.studysmarter.co.uk/explanations/engineering/professional-engineering/design-of-engineering-experiments/> Last accessed: 08.04.2024
12. Roy, R. K. (2001). *Design of experiments using the taguchi approach: 16 Steps to product and process improvement*. John Wiley & Sons, Inc., 544.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314234

ОПТИМІЗАЦІЯ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА НА ОСНОВІ ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ ШЛЯХОМ ВНЕСЕННЯ ПОГЛИНАЮЧОГО ШАРУ CdSeTe (МОДЕЛЮВАННЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ) (с. 6–12)

Г. А. Льчук, І. В. Семків, М. С. Каркульовська, В. М. Ващинський, М. В. Соловійов

Сонячні елементи на основі телуриду кадмію є одними із найпоширеніших пристроїв для фотоелектричних застосувань. Однак ефективність перетворення енергії цих елементів залишається недостатньо високою. Використовуючи програмне середовище SCAPS проведено дослідження та оптимізацію класичного тонкоплівкового сонячного елемента на основі CdTe. Структура цього елемента складалася з ГТО в якості прозорого провідного контакту, шару сульфїду кадмію (CdS) і шару поглинача телуриду кадмію (CdTe) з металевим контактом. Для оптимізації такої конструкції з точки зору ефективності перетворення потужності, розглянуто вплив товщини та концентрації домішок акцепторів в поглинаючому шарі CdTe, а також вплив товщини та концентрації домішок донорів в буферному CdS шарі. Встановлено, що оптимальні товщини для буферного шару CdS та поглинаючого CdTe шарів відповідно становлять 50 нм та 3000 нм. Як один із варіантів оптимізації для покращення ефективності пристрою запропоновано ввести додатковий шар CdSeTe між шарами CdS та CdTe. Проаналізовано основні фотовольтаїчні параметри такого сонячного елемента в залежності від товщини шару CdSeTe та вмісту в ньому селену. Продемонстровано, що додавання твердого розчину CdSeTe в шар поглинача CdTe товщиною 1500 нм підвищує ефективність сонячного елемента на 6,84 %. Проведено порівняння основних фотовольтаїчних характеристик сонячних елементів CdS/CdTe та CdS/CdSeTe/CdTe. Отримані результати показали, що змодельована структура CdS/CdSeTe/CdTe забезпечує кращу ефективність фотоперетворення у світловому спектрі AM1.5G в порівнянні з класичною CdS/CdTe структурою. Такі елементи можуть використовуватися для формування високоефективних сонячних панелей.

Ключові слова: сонячний елемент, SCAPS, тонкі плівки, гетероструктури, телурид кадмію, халькогенід кадмію.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313878

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОЇ ТОЧНОСТІ МАЛОГАБАРИТНОГО ГОНІОМЕТРА ІЗ РОЗШИРЕНИМ ДИНАМІЧНИМ ДІАПАЗОНОМ НА ОСНОВІ ЯДЕРНОГО МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ (с. 13–25)

С. В. Іванов

Дослідження присвячено оцінці потенційних точнісних характеристик малогабаритного гоніометра на основі ядерного магнітного резонансу з розширеним динамічним діапазоном. Це потребувало отримання моделі похибок гоніометра, оцінки його точності на основі цієї моделі та формулювання практичних рекомендацій з розробки такого приладу на основі виконаної оцінки точності.

Для проведення оцінки точності ядерного гоніометра розроблено теоретичну модель, яка дозволяє визначити оптимальні робочі параметри газової суміші комірки, діапазони їх допустимих змін, чутливість гоніометра, залежність його характеристик від зовнішніх і внутрішніх факторів. Зокрема, визначено залежність вихідного сигналу приладу від параметрів газової суміші, оптичної накачки. Для гоніометра з коміркою об'ємом 8 см³ оптимальна температура складає 130 °С, оптимальна інтенсивність випромінювання накачки 5 мВт.

Також визначено залежність вихідного сигналу від вимірюваного кута повороту, проаналізовано шуми та залежність похибки приладу за допустимими значеннями його параметрів. На основі розробленої моделі визначено параметри гоніометра з коміркою об'ємом 8 см³; гранична кутова чутливість такого гоніометра при повному придушенні технічних шумів складає $\delta\varphi_{sen}=1.0$ кут.сек. Найбільший вклад в похибку вимірювання кута вносить нестабільність потужності накачки I_p ($\Delta I_p/I_p=0,05$) – 85 %; магнітного поля B_0 ($\Delta B_0/B_0=10^{-8}$) – 13 %, температури T ($\Delta T/T=0,1$) – 2 %.

Розглянутий гоніометр відповідає середньому класу точності, $\delta\varphi_{tot}\geq 10$ кут.сек. Він може знайти застосування в оптичному виробництві для оперативного контролю, атестації та паспортизації оптичних виробів. Для поліпшення кутової точності гоніометра потрібно підвищувати стабільність інтенсивності лазерного накачування.

Ключові слова: гоніометр, ядерний магнітний резонанс, газова комірка, оптичне накачування, котушка Гельмгольца, Ларморова частота.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310360

РОЗРОБКА МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ТА УЛЬТРАШИРОКОСМУГОВИХ АНТЕН (с. 26–36)

Kabi Yelikbay, Pramod Kumar, Ruslan Kassym, Tansaule Serikov, Maxsat Orunbekov, Ainur Turdy, Marzhan Temirbekova, Arai Tolegenova, Akmaral Tlenshieva, Makbal Kassymova

Це дослідження зосереджено на оптимізації ультраширококутєвих (УШС) антен, які є критично важливими в сучасних системах зв'язку завдяки їх широкому діапазону частот (3,1–10,6 ГГц) і високим можливостям передачі даних. У дослідженні розглядається

ся проблема оптимізації ключових параметрів антени, таких як зворотні втрати, пікове посилення та ефективність випромінювання, а також забезпечення енергоефективності та довговічності мережі. Традиційні методи оптимізації, такі як LEACH-C, часто не в змозі збалансувати ці фактори, що призводить до неоптимальної продуктивності.

Щоб вирішити цю проблему, було розроблено нейромережу Generalized Position-based Optimization Neural Network (GPON) для оптимізації УШС антени. Здійснено оцінку методу гібридної нейронної мережі на основі позиції (ПНМ), порівнявши його продуктивність з існуючими алгоритмами, включаючи LEACH-C, алгоритм Firefly, HFAPSO, FA-ANN і HWOABCA. Модель GPON зменшила зворотні втрати до 25,5 дБ на 3,5 ГГц і покращила пікове посилення до 4,2 дБ і, зберігаючи ефективність випромінювання на 92 %. Навпаки, PAN продемонстрував покращення залишкової енергії на 15–25 % і подовжив термін служби мережі на 20 % порівняно з LEACH-C.

Ці вдосконалення відбулися завдяки інтеграції передових методів нейронної мережі в GPON і ефективному використанню позиційних даних у ПНМ, що забезпечує більш точну та адаптивну оптимізацію. Здатність збалансувати декілька показників продуктивності одночасно – це проблема, з якою боролися попередні моделі – є ключовою особливістю. Цей баланс має вирішальне значення для УШС антен у системах зв'язку, де продуктивність та енергоефективність є життєво важливими. Висновки особливо актуальні для практичних застосувань у бездротових сенсорних мережах, мобільному зв'язку та радарних системах, що вимагають довгострокової надійності мережі та оптимальної продуктивності антени.

Ключові слова: ультраширокий діапазон, оптимізація антени, GPON, енергоефективність, довговічність мережі, нейронні мережі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309907

МОДЕЛЬ РОЗРОБКИ ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ МІКРОСМУЖКОВОЇ АНТЕНИ МІМО НА ОСНОВІ ПЛОСКОЇ ПОСЛІДОВНОЇ РЕШІТКИ З 8Ч2 ЕЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ 5G (с. 37–49)

Syah Alam, Indra Surjati, Lydia Sari, Yuli Kurnia Ningsih, Suryadi, Teguh Firmansyah, Zahriladha Zakaria

Технологія МІМО (Multiple Input Multiple Output) здійснює значний внесок у розвиток систем зв'язку 5G зі збільшенням пропускної здатності мережі та ефективності використання спектру. У системах 5G технологія МІМО дозволяє використовувати кілька антен на базових станціях і пристроях користувачів, забезпечуючи одночасну відправку та прийом даних по декількох каналах. Це дозволяє значно підвищити пропускну здатність і надійність з'єднання, особливо у середовищах з високою щільністю користувачів. Крім того, технологія МІМО підтримує реалізацію технології формування діаграми спрямованості, яка фокусує сигнали в певному напрямку, знижує перешкоди й покращує покриття та якість сигналу, що робить її одним з ключових факторів для підвищення швидкодії та відгуку систем 5G. Таким чином, антени з широкою смугою пропускання, високим коефіцієнтом посилення та ефективністю МІМО мають вирішальне значення для підтримки систем зв'язку 5G. У даній роботі пропонується високоефективна мікросмужкова антена МІМО на основі послідовної плоскої решітки з 8×2 елементами, що працює на резонансній частоті 3,5 ГГц для систем зв'язку 5G. Для регулювання коефіцієнта відбиття та смуги пропускання антени пропонується використовувати спіральний шлейф і фідерну вставку, а для збільшення коефіцієнта посилення – послідовну плоску решітку. Для підтримки системи зв'язку МІМО запропонована антена розділена на два різних порти на певній відстані. Виходячи з результатів вимірювань, запропонована антена має високу ефективність, про що свідчить широка смуга пропускання 680 МГц (3–3,68 ГГц) та високий коефіцієнт посилення 17,8 дБ за резонансної частоти 3,5 ГГц. Крім того, запропонована антена має високий взаємний зв'язок і рознесення, про що свідчать значення ECC і DG, які становлять 0,001 і 9,99 дБ відповідно. Дана робота представляє рішення для проектування високоефективної мікросмужкової антени, що може бути реалізована в якості приймальної антени для систем зв'язку 5G.

Ключові слова: мікросмужкова антена, високий коефіцієнт посилення, система МІМО, плоска антенна решітка, система 5G.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313455

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ АКУСТИЧНИХ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (с. 50–59)

Askar Abdykadyrov, Nurzhigit Smailov, Akezhan Sabibolda, Gulzhaina Tolen*, Zhandos Dosbayev, Zhomart Ualiyev, Rashida Kadyrova

Це дослідження досліджує розподілені акустичні датчики (РАД), засновані на волоконно-оптичних технологіях, зосереджуючись на впливі тиску на відношення сигнал/шум (ВСШ), рівні шуму та домінуючі зрушення частоти. Системи РАД широко використовуються для моніторингу інфраструктури завдяки своїй здатності фіксувати акустичні сигнали на великих відстанях, що робить їх ідеальними для сейсмічного моніторингу та моніторингу трубопроводів.

Дослідження вивчає, як коливання тиску впливає на продуктивність РАД, зокрема на якість сигналу та зменшення шуму. У таких програмах, як виявлення витоків у трубопроводі та сейсмічний моніторинг, зміни тиску можуть погіршити чіткість сигналу та ускладнити виявлення аномалій. Розуміння цього зв'язку є ключовим для оптимізації продуктивності РАД і підвищення ефективності системи.

Експеримент змінював тиск від 0,1 атм до 5 атм, показуючи, що підвищення тиску підвищило ВСШ з 10 дБ до 48 дБ, зменшило шум з 10 дБ до 7 дБ і зрушило домінуючу частоту з 0,5 Гц до 3 Гц. Аналіз Фур'є дав зрозуміти ці зміни частотного спектру. Більш високий тиск стискає середовище, покращуючи ізоляцію сигналу та покращуючи ВСШ, одночасно зменшуючи шум. Зсув частоти є результатом зміни швидкості поширення акустичної хвилі під високим тиском, підкреслюючи його роль в обробці сигналу.

Ключовий висновок полягає в тому, що вищий тиск значно покращує якість сигналу та зменшує шум, покращуючи продуктивність РАД. Зсув частоти покращує можливості виявлення навколишнього середовища. Ці результати є цінними для додатків РАД у

середовищах із коливаннями тиску, як-от моніторинг трубопроводів, де висока якість сигналу має вирішальне значення. Покращена точність сигналу та зрушення частоти роблять системи РАД більш надійними для тривалого моніторингу та сприяють точному виявленню аномалій.

Ключові слова: волоконно-оптичні технології, розподілені акустичні датчики, сейсмічний моніторинг, моніторинг інфраструктури.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312489

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПУ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ (с. 60–69)

Alexandr Neftissov, Ilyas Kazambayev, Lalita Kirichenko, Dnislam Urabayev, Andrii Biloshchytskyi, Omirzak Abdirashev

Об'єктом дослідження є концептуальний прототип мікропроцесорної ресурсозберігаючої системи релейного захисту. В даний час релейний захист забезпечує надійну й ефективну роботу електромереж, проте традиційна архітектура є запатентованою, що не дозволяє проводити ремонт та заміну пошкоджених деталей без участі фахівця компанії. Тому релейний захист із відкритою архітектурою є досить актуальним питанням, проте проблема полягає в дотриманні вимог до релейного захисту. Проведено оцінку протоколів передачі даних nRF та ESP-NOW, датчиків Холла для вимірювання величини змінного струму й підвищення точності датчиків. Експериментальна перевірка показала, що протоколи nRF та ESP-NOW відповідають вимогам щодо затримки та надійності, проте протокол nRF є більш підходящим завдяки своїй гнучкості та здатності подолати перешкод. Отримані дані показали, що найбільш ефективними умовами є відсутність перешкод на відстані 15 метрів від модему та наявність перешкод на відстані 5 метрів від модему. Експеримент з визначення характеристик датчиків Холла показав точність вимірювання струму при заданих значеннях струмів розмикання й замикання. Однак він не є точним (12,45 %) для застосування в релейному захисті. Тож застосування змінних значень струмів розмикання й замикання є більш ефективним, а точність досягає 6,92 %. В результаті було визначено термін служби датчика Холла, і навіть після 10 мільйонів розмикань час перебування в розімкнутому стані залишався незмінним. Таким чином, була знайдена апроксимуюча функція для визначення амплітуди струму в залежності від часу перебування в розімкнутому стані. З іншого боку, датчики Холла можуть страждати від температурного дрейфу й вимагають подальшої оптимізації для забезпечення повної надійності. Обмеженням дослідження є діапазон струму від 0 до 800 А.

Ключові слова: релейний захист, геркон, датчик Холла, магнітне поле, відкрита архітектура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313747

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИСТРОЇВ З ВКЛЮЧЕННЯМИ (с. 70–79)

В. І. Гавриш, Е. А. Джумеля, О. Д. Грицай, С. І. Качан, В. Ю. Майхер

Розглянуто процес теплопровідності для ізотропного середовища, що містить чужорідне напівнаскрізне включення, та нагрівається локально зосередженим тепловим потоком. Для встановлення температурних режимів ефективної роботи електронних пристроїв розроблено лінійну і нелінійну математичні моделі визначення температурного поля. Коефіцієнт теплопровідності неоднорідної конструкції подано як ціле, з використанням асиметричних одиничних функцій, що автоматично забезпечує умови ідеального теплового контакту на поверхнях стику матеріалів. Це приводить до розв'язування одного рівняння теплопровідності з розривними та сингулярними коефіцієнтами. Для лінеаризації нелінійної крайової задачі запроваджено лінеаризуючу функції. У замкнутому вигляді отримано аналітично-числові розв'язки лінійної і нелінійної крайових задач. Для термочутливого середовища вибрано лінійну температурну залежність коефіцієнта теплопровідності конструкційних матеріалів. У результаті отримано аналітично-числовий розв'язок, який визначає розподіл температури у цьому середовищі. На цій основі виконано числовий експеримент, результати якого графічно відображені та підтверджують адекватність розроблених математичних моделей реальному фізичному процесу.

Матеріалом пластини та включення виступають кремній та срібло. Отримані результати для цих матеріалів за лінійною і нелінійною моделлю відрізняються на 7 %. Незначна їх відмінність пояснюється тим, що значення температурного коефіцієнта теплопровідності є невеликими. Розроблені моделі дають змогу аналізувати наведені середовища щодо їх термостійкості. Унаслідок, стає можливим її підвищити, а конструкції захистити від перегрівання, яке може привести до виходу з ладу окремих вузлів та їх елементів і цілого електронного пристрою.

Ключові слова: термостійкість конструкції, чужорідне напівнаскрізне включення, ідеальний тепловий контакт, конвективний теплообмін.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314117

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА З УРАХУВАННЯМ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ І СТАНДАРТІВ (с. 80–89)

А. В. Бубела, Л. П. Бондаренко, Є. І. Кватадзе, В. В. Стьожка, А. В. Івко

Об'єктом досліджень є теоретико-методичні підходи до визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів земляного полотна. Основний фокус роботи спрямований на врахування європейських підходів і стандартів при розробленні методу визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів.

У ході досліджень розроблено метод визначення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_1 , що характеризує дифузійний рух води, через фільтраційний коефіцієнт K_0 , розрахований відповідно до європейських вимог за даними лабораторних випробувань.

Запропонований метод базується на математичній моделі, отриманій на основі диференціального рівняння зміни вологості в ґрунті. Модель особлива тим, що на відміну від існуючих, рух води моделювався знизу вгору, що відображає процес вологонакопичення в нижніх шарах земляного полотна від ґрунтових вод або верховодки.

Отримано гарне узгодження математичної моделі з даними інших авторів (відносна похибка не перевищила 12.98 %).

В роботі отримано пряму залежність між коефіцієнтом вологопровідності ґрунтів K_1 і їх початковою вологістю W_0 та обернену залежність між K_1 і повною вологоємністю ґрунтів $W_{ПВ}$. Залежності отримано в діапазоні зміни початкової вологості ґрунту W_0 від 0.08 до 0.15 та $W_{ПВ}$ від 0.15 до 0.5. Встановлено, що значення коефіцієнта вологопровідності ґрунтів K_1 збільшуються від $4,64 \cdot 10^{-6}$ до $3,81 \cdot 10^{-5}$ м²/год при збільшенні їх початкової вологості та при зменшенні повної вологоємності.

З точки зору інженерної практики дорожнього будівництва, запропонований метод дає можливість прогнозувати сезонні зміни вологості ґрунтів земляного полотна, визначати міцність дорожньої конструкції. Це дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення щодо влаштування дренажних систем на автошляхах задля подовження строку їх експлуатації.

Ключові слова: вологість ґрунту, коефіцієнт вологопровідності ґрунту, земляне полотно, дорожня конструкція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313114

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ПІДПОРУ ПОВІТРЯ В АВАРІЙНОМУ ЛЮКУ НА БАЗІ СТРУМИННИХ ВОДОГАЗОВИХ ЕЖЕКТОРІВ (с. 90–99)

С. О. Гринчак

Об'єктом досліджень є струминні водогазові ежектори в системі забезпечення протипожежної безпеки кораблів. Проблема, що вирішувалася, – при пожежі в районі виходу з аварійного приміщення судна небезпечно підвищується теплова енергія і велика кількість диму поширюється по приміщеннях судна. Ці чинники вимагають негайної герметизації аварійного приміщення, що обмежує оперативний доступ аварійних команд в приміщення. Встановлення системи місцевого підпору повітря в аварійному люку на базі струминних водогазових ежекторів дозволить екранувати теплову енергію і локалізувати димові гази в аварійному приміщенні без його герметизації для забезпечення оперативного доступу аварійних команд до нього. Досягнуті наступні основні результати – підтверджено експериментальним методом адекватність теоретичних досліджень процесів локалізації димових газів в аварійному приміщенні без його герметизації. Досліджувана проблема була вирішена шляхом оптимізації процесів: швидкості зміни натурального показника послаблення середовища під час запуску місцевої системи підпору повітря в аварійному люку на базі струминних водогазових ежекторів; ефективності зниження температури нагрітих газів в надбудові при роботі системи підпору повітря в аварійному люку на базі струминних водогазових ежекторів. Особливістю отриманих результатів стало формування повітряної завіси, отриманої шляхом відбору частини високотемпературних димових газів у корпуси струминних водогазових ежекторів, їх тепломасообмінної обробки та виводу назад у потік. Це створило умови, при яких екранування теплової енергії відбувається з ефективністю 85–88 %. Сфера та умови практичного використання отримані результатів – суднобудування та проектування протипожежної суднової безпеки.

Ключові слова: водогазовий струминний ежектор, аварійний люк, натуральний показник послаблення середовища, теплова енергія.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) makes a major contribution to 5G communication systems by increasing network capacity and spectrum efficiency. In 5G, MIMO enables the use of multiple antennas at base stations and user devices, allowing simultaneous sending and receiving of data over multiple paths. This significantly increases data throughput and connection reliability, especially in environments with high user density. In addition, MIMO technology supports the implementation of beamforming, which focuses signals on a specific direction, reduces interference, and improves signal coverage and quality, making it one of the keys to achieving faster and more responsive 5G performance. Therefore, antennas with wide bandwidth, high gain and MIMO performance are crucial for supporting 5G communication systems. This paper proposes a high-performance MIMO microstrip antenna based on a series planar array with 8×2 elements operating at a resonant frequency of 3.5 GHz for 5G communication systems. A spiral stub and a feed inset are proposed to control the reflection coefficient and bandwidth of the antenna while the series planar array is proposed to increase the gain. To support the MIMO communication system, the proposed antenna is separated into two different ports with a certain distance. From the measurement results, the proposed antenna has high performance indicated by a wide bandwidth of 680 MHz (3–3.68 GHz) and a high gain of 17.8 dB at a resonant frequency of 3.5 GHz. In addition, the proposed antenna has high mutual coupling and diversity indicated by ECC and DG of 0.001 and 9.99 dB, respectively. This work provides a solution to design a high-performance microstrip antenna and can be implemented as a receiving antenna for 5G communication systems

Keywords: microstrip antenna, high gain, MIMO system, planar array, 5G system

DEVELOPMENT MODEL OF A HIGH-PERFORMANCE MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT MICROSTRIP ANTENNA BASED ON A PLANAR SERIES ARRAY WITH 8×2 ELEMENTS FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

Syah Alam

Corresponding author

Doctor of Electrical Engineering, Associate Professor, Lecture*

E-mail: syah.alam@trisakti.ac.id

Indra Surjati

Doctor of Electrical Engineering, Professor, Lecture*

Lydia Sari

Doctor of Electrical Engineering, Associate Professor, Lecture*

Yuli Kurnia Ningsih

Doctor of Electrical Engineering, Associate Professor, Lecture*

Suryadi Suryadi

Bachelor of Electrical Engineering, Assistant Professor, Lecture*

Teguh Firmansyah

Doctor of Electrical Engineering, Lecturer

Department of Electrical Engineering

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Ciwaru Raya str., 25, Serang, Banten, Indonesia, 42117

Zahriladha Zakaria

Doctor of Electrical Engineering, Professor

Faculty of Electronic Engineering and Computer Engineering (FKEKK)

Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM)

Hang Tuah Jaya str., Durian Tunggal, Melaka, Malaysia, 76100

*Department of Electrical Engineering

Universitas Trisakti

Kyai Tapa str., 1, DKI Jakarta, Indonesia, 11440

Received date 15.07.2024

Accepted date 25.09.2024

Published date 30.10.2024

How to Cite: Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Ningsih, Y. K., Suryadi, S., Firmansyah, T., Zakaria, Z. (2024). Development model of a high-performance multiple input multiple output microstrip antenna based on a planar series array with 8×2 elements for 5G communication systems.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (5 (131)), 37–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309907>

1. Introduction

5G communication systems require more sophisticated and diverse antennas than previous generations to support various technological advancements, such as MIMO and millimeter wave (mmWave) [1–3]. MIMO (Multiple Input Multiple Output) is a technology that plays a key role in 5G communication systems. The main advantage of MIMO in 5G is its ability to significantly increase capacity and data rates without requiring more frequency spectrum. By using

multiple antennas on the transmit and receive side, MIMO allows simultaneous data transmission over multiple paths, reducing interference and increasing spectral efficiency [4, 5]. In addition, MIMO can improve signal coverage and reliability by using techniques such as beamforming, which focuses the signal toward a specific user. This is especially important in delivering a faster and more stable experience for users in sub-urban areas [6]. According to [7], the resonant frequency for 5G communication systems is categorized into three bands: high, middle, and low. One of the recommended

frequencies for 5G communication systems is 3.5 GHz, which is included in the middle band category and dynamic environments, such as urban or high-mobility areas [8].

Furthermore, microstrip antennas offer several important advantages for 5G applications, particularly in terms of integration, size, and performance [9, 10]. Due to their thin and lightweight design, microstrip antennas can be easily integrated into portable devices such as smartphones and IoT devices, as well as into network infrastructure such as base stations [11, 12]. They can also be manufactured in arrays, enabling the implementation of MIMO and beamforming technologies, which are essential for increasing the capacity and transmission speed in 5G networks [13, 14]. In addition, microstrip antennas can be designed to operate at a wide range of frequencies, including high frequencies such as mmWave used in 5G, while maintaining good efficiency. Their relatively low production costs and ability to be printed on a variety of substrates also make them an economical and practical choice for widespread 5G deployment. However, microstrip antennas have certain drawbacks, such as narrow bandwidth, low gain, and limited directivity. The primary parameters that indicate an antenna's performance include the reflection coefficient, bandwidth, gain, and radiation pattern. Therefore, antennas with wide bandwidth and high gain are crucial for supporting wireless communication systems such as Wi-Fi, 4G, and 5G. Moreover, high-performance antennas with multiple input multiple output are essential to facilitate communication between the transmitter and receiver, especially for 5G communication systems.

2. Literature review and problem statement

Several previous studies have explored and proposed microstrip antennas for 5G communication systems using various techniques, including fractal designs, arrays, and parasitic elements. Furthermore, in a study presented by [10], microstrip antennas with wider bandwidths were achieved by incorporating parasitic elements placed above the radiating elements. However, the antenna's gain remained low, necessitating further improvement. Previous work [15] proposed a fractal antenna for 5G communication with MIMO configuration operating at a resonant frequency of 3.5 GHz. However, the gain of the proposed antenna is still low at about 3 dB. Another work [16] proposed a ten-element MIMO array antenna that operates at a resonant frequency of 3.5 GHz. However, the bandwidth of the proposed antenna is still low at about 200 MHz. Moreover, the previous work [17] presented a wideband microstrip antenna operating at a resonant frequency of 3.35–3.95 GHz with a 2×2 element MIMO array. However, the gain of the proposed antenna is only 12.6 dB. Another study by [18] proposed a microstrip antenna array with four elements operating at a resonant frequency of 3.5 GHz, achieving a bandwidth of 0.7 GHz and a gain of 9.24 dB. Nevertheless, the increase in bandwidth was accompanied by a decrease in gain, indicating an inverse relationship between bandwidth and gain. In addition, previous work by [19] proposed a microstrip antenna using an array with 4×2 elements with a bandwidth of 0.6 GHz and a gain of 12.2 dB. However, the proposed antenna does not support MIMO communication systems. Other findings describe MIMO microstrip antennas based on vertical and horizontal configurations with 2 ports operating at resonant frequencies of 3.5 GHz and 6 GHz [20].

However, the gain obtained is still low at around 7.8 dB. Based on the literature review [15–20], the limitation of previous works is that the proposed antenna still has low gain, narrow bandwidth and does not support MIMO. Therefore, an antenna with wide bandwidth, high gain and MIMO support is needed as a solution for receivers in 5G communication systems. In addition, MIMO technology supports the implementation of beamforming, which focuses signals on a specific direction, reduces interference, and improves signal coverage and quality, making it one of the keys to achieving faster and more responsive 5G performance.

3. The aim and objectives of the study

The aim of the study is to propose an antenna configured with two different ports separated by a certain distance in order to support MIMO capabilities.

To achieve this aim, the following objectives are accomplished:

- to produce a design and model of a microstrip antenna that operates at a resonance frequency of 3.5 GHz with a bandwidth of 200 MHz for a 5G communication system;
- to produce a design and model of a microstrip antenna with a high gain ≥ 12 dB that operates at a frequency of 3.5 GHz for a 5G communication system;
- to validate and measure microstrip antennas that can be used in MIMO communication systems with low mutual coupling $S_{21} \leq -20$ dB.

4. Materials and methods

The object of the study is 5G communication systems. The main hypothesis of the study is as follows. A high-performance MIMO microstrip antenna based on a series planar array with 8×2 elements operating at a resonant frequency of 3.5 GHz; will improve the capabilities of 5G communication systems.

The proposed antenna is designed using an FR-4 substrate with a dielectric constant of 4.3, tan delta of 0.0265 and thickness of 1.6 mm. The radiation element of the antenna is represented by a rectangular patch placed on the top layer of the substrate while the bottom layer functions as a ground plane. The antenna is connected directly with a brass connector using a microstrip line with an impedance of 50 ohms. The evolution and models of the proposed antenna are shown in Fig. 1. The antenna is designed and simulated using EM simulation based on HFSS 15.0.

Fig. 1 shows that the proposed antenna is developed in six models. Model 1 proposes an antenna with a single element that operates at a resonance frequency of 3.5 GHz, which is represented in Fig. 1, *a*. Furthermore, model 2 and model 3 propose two-element and four-element array antennas based on a series configuration with a spiral stub shown in Fig. 1, *b*, *c*.

Model 4 proposes an eight-element array antenna by adding an inset fed to the antenna patch while model 5 proposes an array antenna with 8×2 elements configured based on the horizontal planar shown in Fig. 1, *d*, *e*. The last model proposes an array antenna with 8×2 elements configured as MIMO using two ports separated by a certain distance represented by Fig. 1, *f*. The addition of the spiral stub and fed inset aims to reduce the reflection coefficient while adding the number of elements on the array antenna aims to increase the gain.

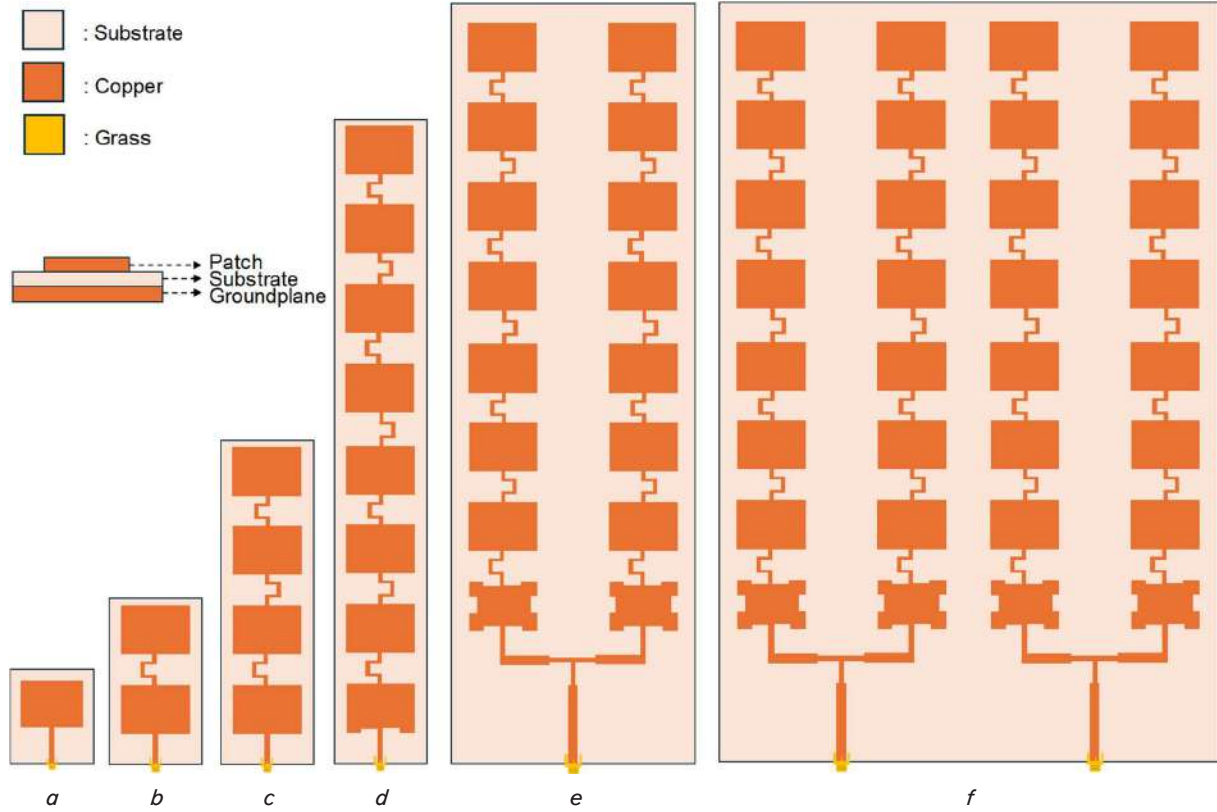


Fig. 1. Evolution of the proposed antenna: *a* – single-element; *b* – 2-element array; *c* – 4-element array; *d* – 8-element array; *e* – 8×2 element planar array; *f* – MIMO planar array

5. Results of the design and realization of the proposed antenna

5.1. Design of a series array antenna

At the first stage, the antenna is designed with a rectangular patch to operate at a resonant frequency of 3.5 GHz. The length and width of the antenna patch are represented respectively by W_p and L_p , which are determined based on the following equation [21]:

$$W_p = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_r}}, \tag{1}$$

$$L_p = L_{eff} - \Delta_L, \tag{2}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{eff}}}, \tag{3}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}, \tag{4}$$

$$\Delta_L = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}. \tag{5}$$

In this context, W_p and L_p denote the width and length of the patch, respectively; f_o signifies the resonance frequency, ϵ_r indicates the substrate's permittivity, ϵ_{eff} refers to the effective permittivity of the substrate at a specific resonance frequency, h stands for the substrate's thickness, and Δ_L

accounts for the fringing field's edge effect on the patch. In addition, microstrip lines are suggested for managing the impedance and reflection coefficient of the antenna. The size of the microstrip line is significantly affected by the input impedance and the chosen resonant frequency. In this study, the input impedance is set to 50 ohms. The dimensions of the microstrip line can be calculated using the following equation [22]:

$$W_z = \frac{2h}{\pi} \left\{ \frac{B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right]}{Z_o\sqrt{\epsilon_{eff}}} \right\}, \tag{6}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_o\sqrt{\epsilon_{eff}}}. \tag{7}$$

In this context, W_z represents the width of the microstrip line, π is constant, Z_o denotes the antenna's impedance, and B stands for the impedance constant. The antenna's impedance is 50 Ω , matching the impedance of the connector used. Additionally, the length of the microstrip line (L_z) is $\frac{1}{4}$ of the wavelength (λ_g), calculated using the following equation [21]:

$$L_z = \frac{1}{4}\lambda_g, \tag{8}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\epsilon_{eff}}. \tag{9}$$

The structure and simulation results of an antenna with a single element are shown in Fig. 2.

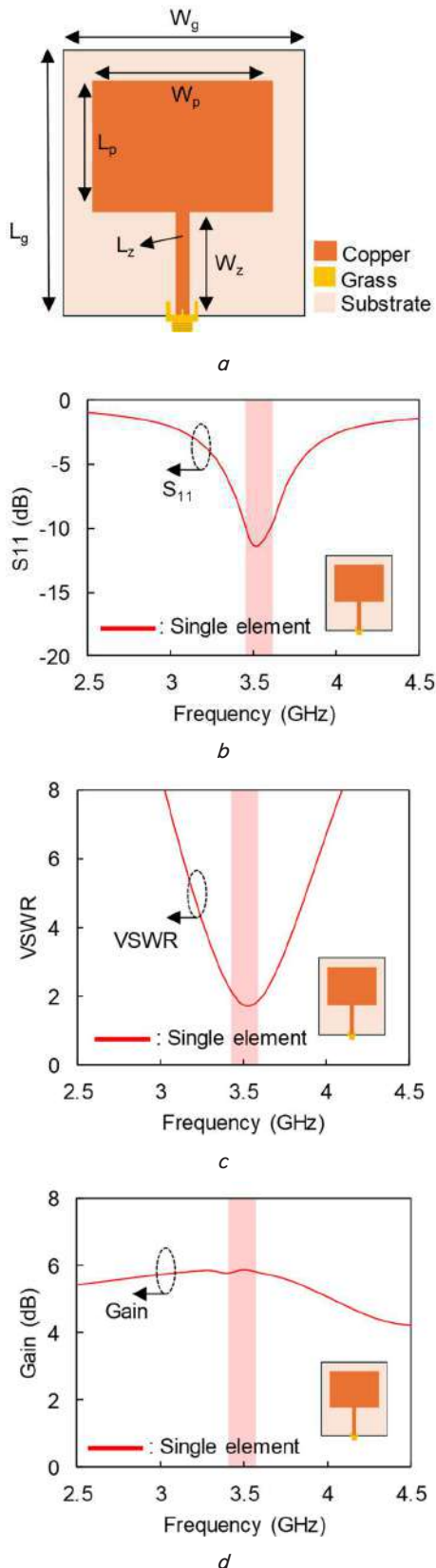


Fig. 2. Model of a single-element antenna: *a* – design of a single element; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

Fig. 2, *a* shows the dimensions of W_p and L_p being 26 mm and 22 mm, respectively. In addition, the length and width of the microstrip lines represented by L_z and W_z are

13 mm and 3 mm. The dimensions of the ground plane are shown by W_g and L_g where the width and length are 35 mm and 29 mm. Furthermore, the simulation results of S_{11} , VSWR in Fig. 2, *a, b* show that the antenna has been operating at a resonance frequency of 3.5 GHz with S_{11} -11.34 dB and VSWR 1.74. The gain of the single-element antenna is shown in Fig. 2, *c* where the peak gain at a resonance frequency of 3.5 GHz is 5.8 dB. However, the bandwidth obtained from the single-element antenna is still narrow at 40 MHz (3.48–3.52 GHz). Therefore, optimization is required to increase the bandwidth of the proposed antenna.

The second stage is to optimize the single-element antenna into a series array antenna with two elements. The purpose of adding elements is to increase the gain while the bandwidth of the antenna is optimized with a spiral-shaped stub. The structure and simulation results of an array antenna with two elements are shown in Fig. 3.

Fig. 3, *a* shows the structure of an array antenna with two elements, where the dimensions of W_g and L_g are 32 mm and 71 mm. Moreover, spiral stubs are proposed to connect between elements with lengths L_1 , L_2 and L_3 of 6 mm, 7 mm and 6 mm. Furthermore, the width of the spiral stub is represented by W_b and W_s where the width is 3 mm and 1 mm, respectively. The simulation results of S_{11} and VSWR for an array antenna with two elements are shown in Fig. 3, *b, c* where S_{11} is -16.79 dB and VSWR is 1.33 at a resonance frequency of 3.5 GHz. The bandwidth obtained from the antenna array with two elements is 400 MHz (3.2–3.6 GHz) with a peak gain of 7.82 dB. This finding shows that the spiral stub and the addition of elements succeed in increasing the bandwidth and gain of the proposed antenna. However, the gain obtained is still low so further optimization is required. Therefore, the gain of the proposed antenna is optimized by increasing the number of elements of the array.

The third stage is to increase the antenna gain by optimizing the antenna array into four elements. The structure and simulation results of an array antenna with four elements are shown in Fig. 4.

Fig. 4, *a* illustrates the design of a four-element array antenna, with W_g and L_g of 32 mm and 142 mm, respectively. The array elements are linked by spiral stubs that extend in opposite directions. Furthermore, the simulation of S_{11} and VSWR shows that the antenna has high performance with S_{11} and VSWR of -29.28 dB and 1.07 at a resonance frequency of 3.5 GHz as shown in Fig. 4, *b, c*. The bandwidth obtained from the antenna array with four elements is 300 MHz (3.3–3.6 GHz) with a peak gain of 9.9 dB at a resonance frequency of 3.5 GHz as illustrated in Fig. 4, *d*.

The fourth stage is to optimize the antenna array with eight elements to increase the gain. Furthermore, an inset feed is proposed to control the resonant frequency of the antenna represented by W_i and W_d with dimensions of 7 mm and 1 mm, respectively. The length and width of the ground plane represented by W_g and L_g are 32 mm and 310 mm as shown in Fig. 5, *a*.

The simulation of S_{11} and VSWR of the array antenna with eight elements illustrated in Fig. 5, *b, c* shows that the antenna has been operating at a resonance frequency of 3.5 GHz with S_{11} of -26.37 dB and VSWR of 1.10. The bandwidth obtained is 300 MHz (3.3–3.6 GHz) while the peak gain is 10.82 dB at a resonance frequency of 3.5 GHz as shown in Fig. 5, *d*. Furthermore, the simulation results of S_{11} and the gain of the entire antenna model shown in Fig. 6, *a, b* are proposed to evaluate the optimization of the proposed antenna, respectively.

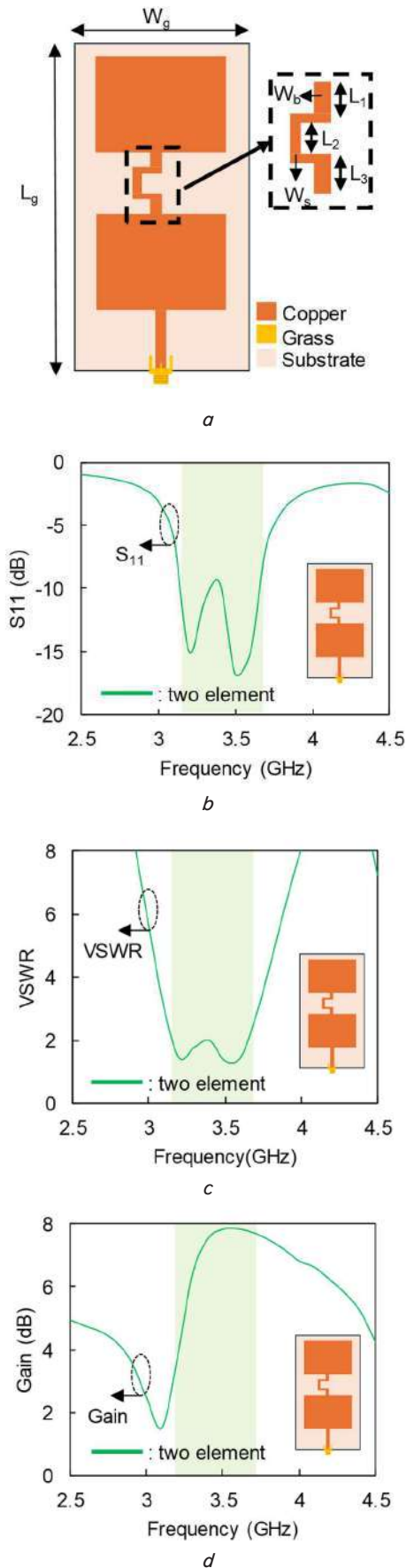


Fig. 3. Model of an array antenna with two elements: *a* – design of a two-element array with a spiral stub; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

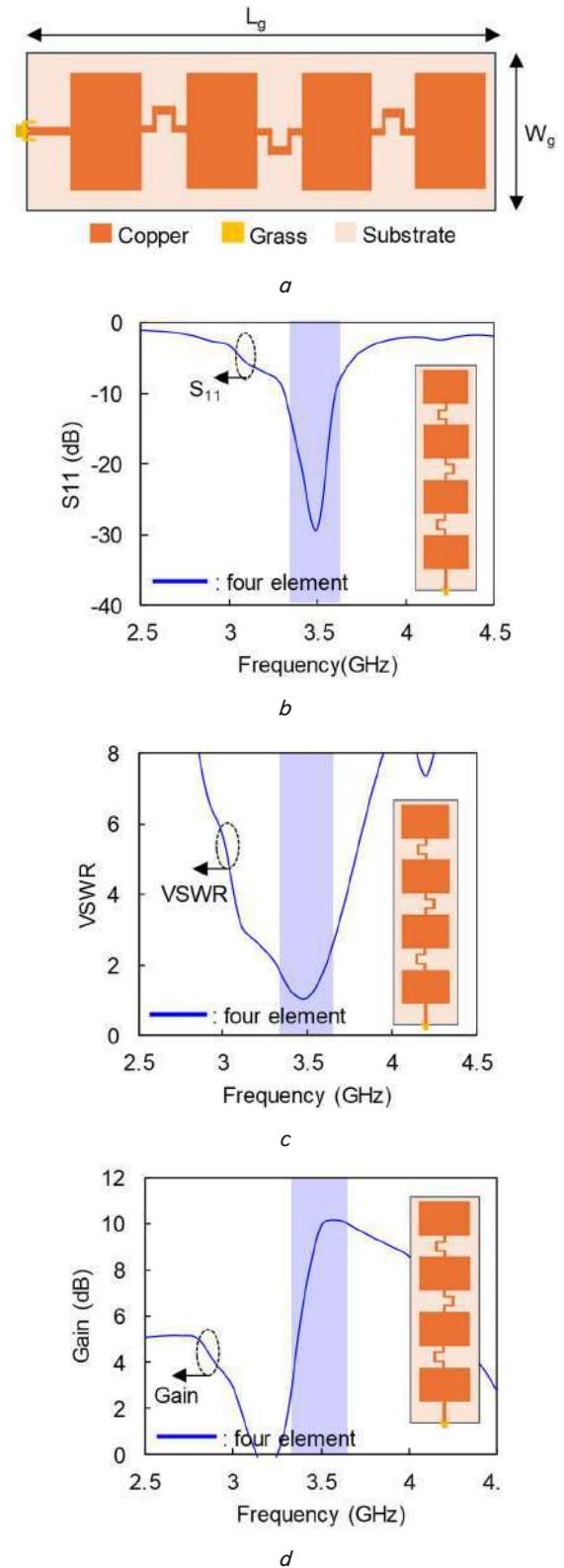


Fig. 4. Model of an array antenna with four elements: *a* – design of a four-element array with a spiral stub; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

Fig. 6, *a* illustrates that the reflection coefficient of the proposed antenna gradually improves from -11.23 dB to -26.27 dB at a resonance frequency of 3.5 GHz. This result indicates that the optimization using an eight-element array antenna, spiral stub, and inset feed effectively enhanced the

antenna's performance in terms of the reflection coefficient by up to 134 % compared to a single-element antenna.

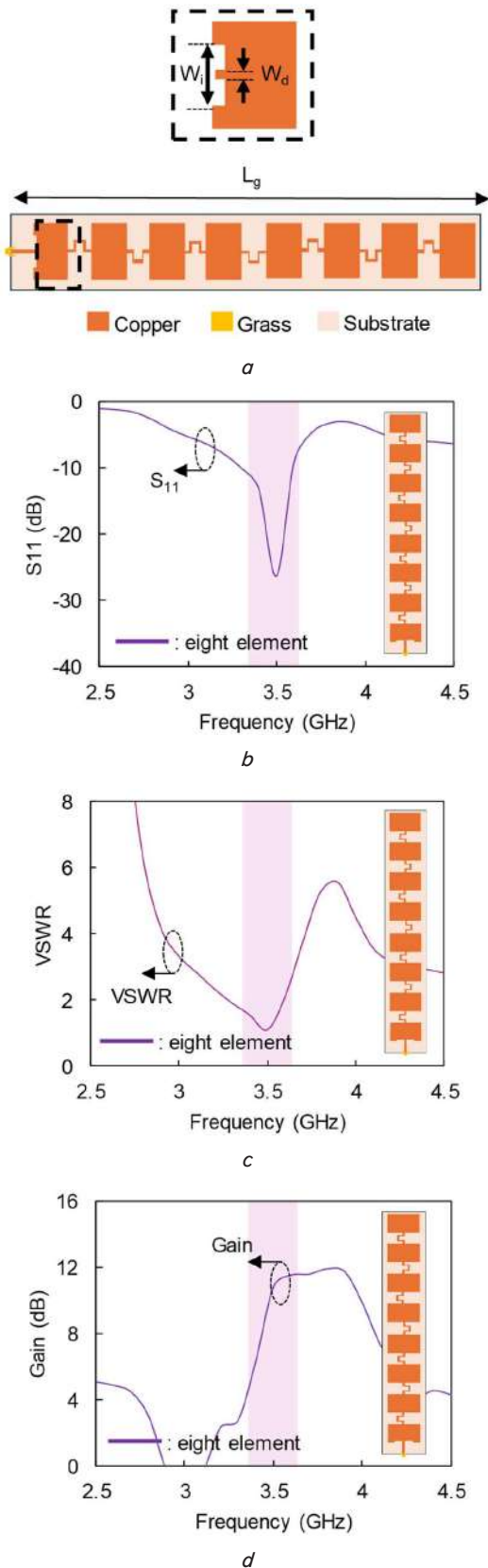


Fig. 5. Model of an array antenna with eight elements: *a* – design of an eight-element array with a spiral stub and inset fed; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

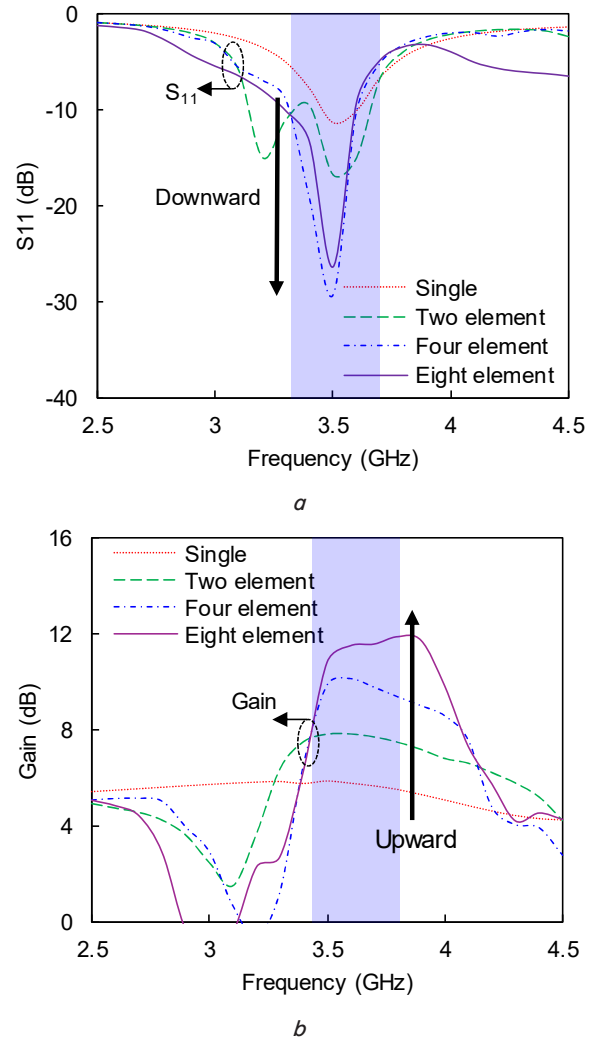


Fig. 6. Comparison of simulation results: *a* – simulation of S_{11} ; *b* – simulation of gain

Additionally, the bandwidth of the proposed antenna expanded by 650 %, from 40 MHz (3.48–3.52 GHz) to 300 MHz (3.3–3.6 GHz). This demonstrates that the proposed antenna meets the specifications for the 5G communication system operating within the 3.4–3.6 GHz frequency range. Moreover, Fig. 6, *b* shows that the antenna's gain increases as the number of elements in the antenna array is increased, with a gain improvement of 78 % from 5.8 dB to 10.82 dB at a resonance frequency of 3.5 GHz.

However, the gain of the proposed antenna remains below the desired target ≥ 12 dB. Thus, additional optimization is necessary to enhance the antenna's gain.

5. 2. Design of a MIMO series planar array antenna with 8x2 elements

In order to increase the gain, the antenna is configured as a series planar array with 8x2 elements. The elements of the antenna array are connected with impedance matching based on T-stubs while the antenna elements are optimized with slits on the right and left edges of the patch. The structure of the series planar array antenna and the simulation results are shown in Fig. 7.

Fig. 7, *a* shows the elements of the antenna separated by a certain distance represented by $d_a=21$ mm, which is determined based on the following equation [22]:

$$d_a = \frac{1}{8}\lambda, \tag{10}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}, \tag{11}$$

where d_a is the distance between elements, λ is the wavelength of the antenna and c is the speed of light (3×10^8 m/s). It should be noted that the distance between the ele-

ments of a planar array antenna greatly affects the gain. Furthermore, microstrip lines with stepped impedance are used as impedance matching between elements of the antenna array represented by $Z_1=50 \Omega$, $Z_2=70.7 \Omega$ and $Z_3=100 \Omega$. The width of the transmission line dictates its impedance, which can be calculated using the following equation [21]:

$$Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_3}. \tag{11}$$

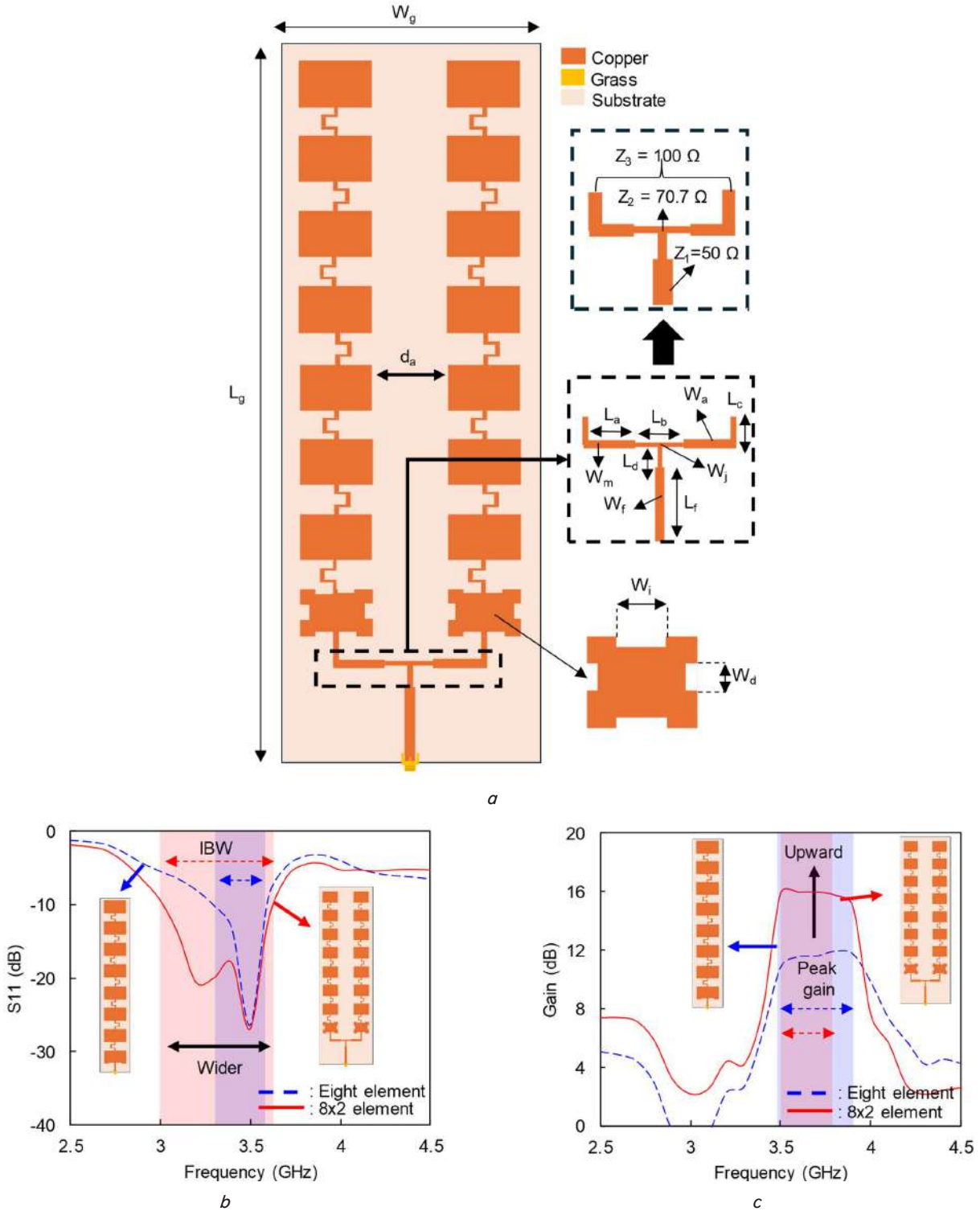


Fig. 7. Model of a series planar array antenna: *a* – design of an 8×2 element planar array with a spiral stub and inset feed; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

The width of the microstrip line with stepped impedance is represented by $W_f=3$ mm, $W_j=1$ mm and $W_m=2$ mm while the length is represented by $L_f=33$ mm, $L_d=8$ mm, $L_b=23$ mm, $L_a=12$ mm and $L_c=17$ mm. The dimensions of the ground plane indicated by W_g and L_g are 82 mm and 353 mm, respectively. Furthermore, Fig. 7, *b* shows that the bandwidth of the proposed antenna increases from

300 MHz (3.3–3.6 GHz) to 600 MHz (3–3.6 GHz). In addition, the peak gain of the antenna also increases from 10.82 to 16.09 dB at a resonant frequency of 3.5 GHz as shown in Fig. 7, *c*. These findings indicate that the proposed antenna has met the specifications for a 5G communication system with a bandwidth of ≤ 200 MHz and a gain of ≥ 12 dB at a resonant frequency of 3.5 GHz.

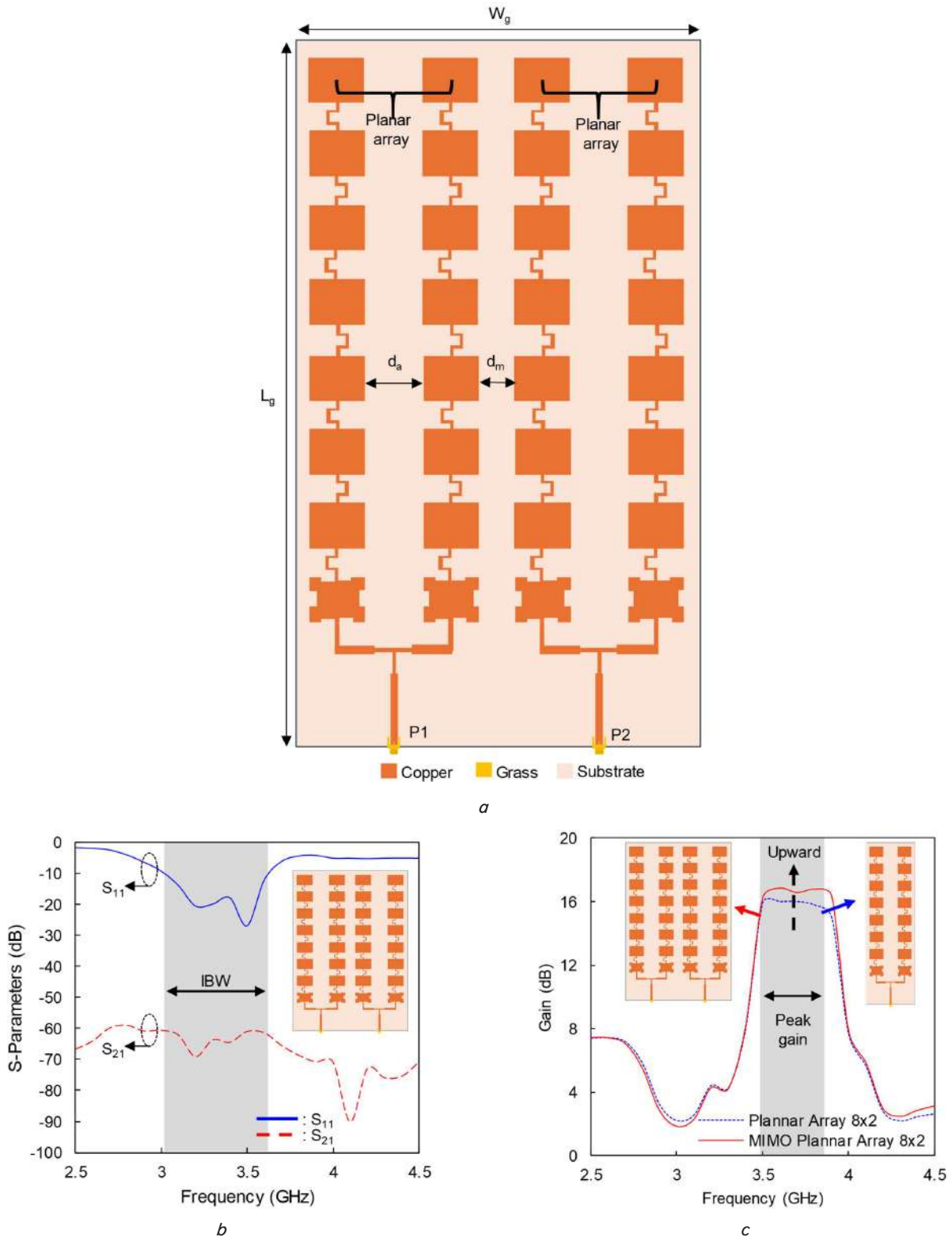


Fig. 8. Model of a MIMO series planar array antenna: *a* – design of an 8×2 element MIMO planar array; *b* – simulation of S_{11} ; *c* – simulation of VSWR; *d* – simulation of gain

The next step is to optimize the antenna with a MIMO configuration that is directly connected to port 1 and port 2, respectively. It should be noted that the distance between the antennas at each port greatly affects the mutual coupling of the MIMO configuration. Mutual coupling shows the independence of the antennas when both works simultaneously. The minimum standard for mutual coupling is $S_{21} \leq -20$ dB at the specified resonant frequency.

Furthermore, to support the 5G communication system, the antenna is configured in MIMO with 2 different ports represented by port 1 (P1) and port 2 (P2) as shown in Fig. 8, *a*. The structure of the series planar antenna array is connected to P1 and P2, respectively. In order to control the independence of the two antennas with high mutual coupling, the antennas are separated by a certain distance represented by $d_m = 21$ mm. The dimensions of the ground plane are represented by W_g and L_g , which are 164 mm and 353 mm, respectively.

The simulation results illustrated in Fig. 8, *b* show that the antenna has been operating at a resonant frequency of 3.5 GHz with S_{11} and S_{21} around -20 dB and -60 dB with a bandwidth of 650 MHz (3–3.65 GHz). This finding indicates that the antenna has a bandwidth that meets the criteria for the 5G communication system and has high mutual coupling with $S_{21} \leq -20$ dB. In addition, the gain of the antenna with MIMO configuration also increases from 15.98 dB to 16.78 dB as shown in Fig. 8, *c*. This shows that the proposed antenna has met the specifications for 5G communication systems where the gain is ≥ 12 dB. The next stage is to fabricate and validate the performance of the proposed antenna through a measurement process in the laboratory.

5.3. Validation and measurement of the proposed antenna

The antenna is fabricated using an FR-4 substrate where the radiating element is located on the top layer while the bottom layer functions as a ground plane as shown in Fig. 9, *c*. Validation of the near-field performance is carried out through a measurement process using a Vector Network Analyzer (VNA) with a frequency range of 2.5–4.5 GHz, a frequency step size of 0.01 GHz and a temperature of 25°, which is connected to the antenna (AUT) via port 1 and port 2 with a coaxial cable as shown in Fig. 9, *a*.

The measurement setup consists of an antenna under test (AUT), which functions as a transmitter (T_x) connected to an RF generator while a reference antenna is placed as a receiver (R_x) connected to a spectrum analyzer and separated based on the Fresnel zone where $d_f = 2D^2/\lambda$ [20]. The antenna is placed on a rotator that rotates clockwise from 0–360° with a step size of 1°. The far-field characteristics of the proposed antenna are observed based on the antenna’s radiation pattern when transmitting and receiving electromagnetic waves.

A comparison of the simulation and measurement results of S_{11} and S_{21} in Fig. 10, *a* show that the fabricated antenna has the same performance as the simulated antenna where S_{11} is around -20 dB while S_{21} is around -40 dB at a resonance frequency of 3.5 GHz. The bandwidth of the fabricated antenna is 680 MHz with a frequency range

of 3–3.68 GHz. This finding shows that the measurement results are in line with the simulation results.

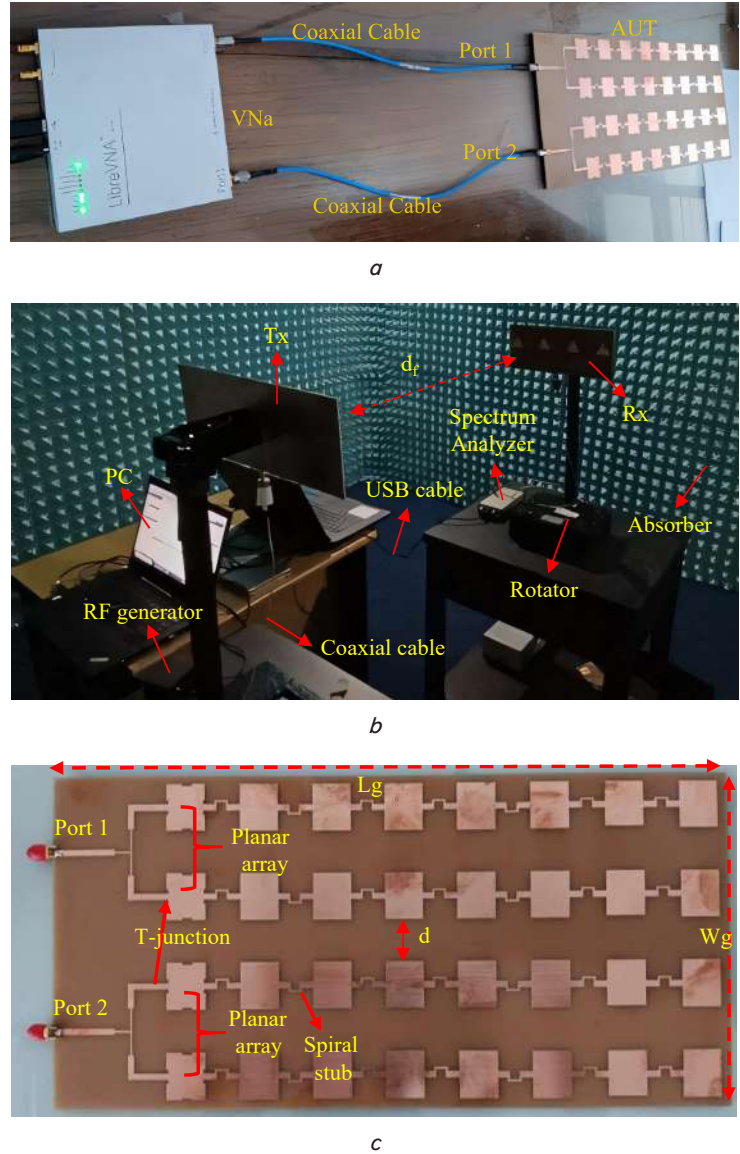


Fig. 9. Measurement process of the proposed antenna: *a* – measurement setup for near-field validation; *b* – measurement setup for far-field validation in an anechoic chamber; *c* – fabrication of the proposed antenna

The subsequent phase involves assessing the performance of the MIMO antenna by examining the Envelope Correlation Coefficient (ECC) and Diversity Gain (DG) parameters. The ECC quantifies the correlation between the two antennas operating in tandem within a MIMO configuration. Typically, the ECC value lies within the range of 0 to 1, with a threshold of ≤ 0.5 generally accepted for MIMO antenna designs. The ECC can be calculated using the following equation [20]:

$$ECC = \frac{|S_{11}^* S_{12} + S_{21}^* S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2)(1 - |S_{22}|^2 - |S_{12}|^2)} \quad (12)$$

Diversity Gain (DG) characterizes the capability of an antenna system to mitigate the effects of multipath fading.

The DG value reflects the system’s ability to enhance or sustain the signal quality relative to noise by combining signals from multiple antennas rather than relying on a single antenna. For MIMO antennas, the diversity is typically represented by a DG value of ≤ 10 dB [18]. The DG can be calculated using the following equation [20]:

$$DG = 10\sqrt{1 - (ECC)^2}. \tag{13}$$

Fig. 10, *b* shows that the fabricated antenna has ECC and DG of about 0–0.001 dB and 9.99–10 dB in the resonant frequency range of 2.5–4.5 GHz. This finding indicates that the proposed antenna has high independence and diversity. Additionally, high diversity gain contributes to better data throughput and coverage, making the antenna system more efficient in delivering consistent performance in challenging conditions, such as urban environments or areas with obstacles.

To validate the independence and mutual coupling of the proposed antenna, a comprehensive observation of the electric field concentration by EM simulation is proposed as shown in Fig. 11, *a*. The electric field of the proposed antenna is observed at a resonant frequency of 3.5 GHz and shows that the resulting mutual coupling is low as indicated by the highest electric field only at the antenna at port 1 (P1) and does not distribute the electric field to the antenna at port 2 (P2).

Furthermore, the beamforming of the proposed antenna is shown in Fig. 11, *b* where the main lobe radiates electromagnetic waves to the front of the antenna while the side lobes radiate to the top, bottom and back of the antenna. Furthermore, the radiation pattern of the simulation and measurement process illustrated in Fig. 11, *c* shows a straight and similar result where the maximum radiation is at an angle of 0 with a transmit power of about 17.8 dB. This finding indicates that the proposed antenna has operated optimally at a resonance frequency of 3.5 GHz and supports MIMO for 5G communication systems. Moreover, a comparison of bandwidth and gain for the development models of the proposed antenna is shown in Tables 1, 2.

The bandwidth and gain enhancement of the antenna can be determined using the following equation:

$$BW = \frac{(Optimized\ BW - Initial\ BW)}{Initial\ BW} \times 100\%, \tag{14}$$

$$Gain = \frac{(Optimized\ Gain - Initial\ Gain)}{Initial\ Gain} \times 100\%. \tag{15}$$

Table 1

Comparison of bandwidth for the proposed antenna models

Model	Frequency range (GHz)	Bandwidth (MHz)
1 st model	3.48–3.52	40
2 nd model	3.2–3.6	400
3 rd model	3.3–3.6	300
4 th model	3.3–3.6	300
5 th model	3–3.6	600
6 th model	3–3.65	650

Table 2

Comparison of gain for the proposed antenna models

Model	Frequency range (GHz)	Gain (dB)
1 st model	3.48–3.52	5.8
2 nd model	3.2–3.6	7.82
3 rd model	3.3–3.6	9.9
4 th model	3.3–3.6	10.8
5 th model	3–3.6	16.09
6 th model	3–3.65	17.8

Based on equation (14) and equation (15), the increase in gain and bandwidth is obtained by calculating the difference between the bandwidth and gain of the antenna with the initial condition and the optimized condition. In this study, the initial bandwidth and gain used are single-element antennas while the bandwidth and optimization gain are obtained from MIMO array antennas with 8×2 elements.

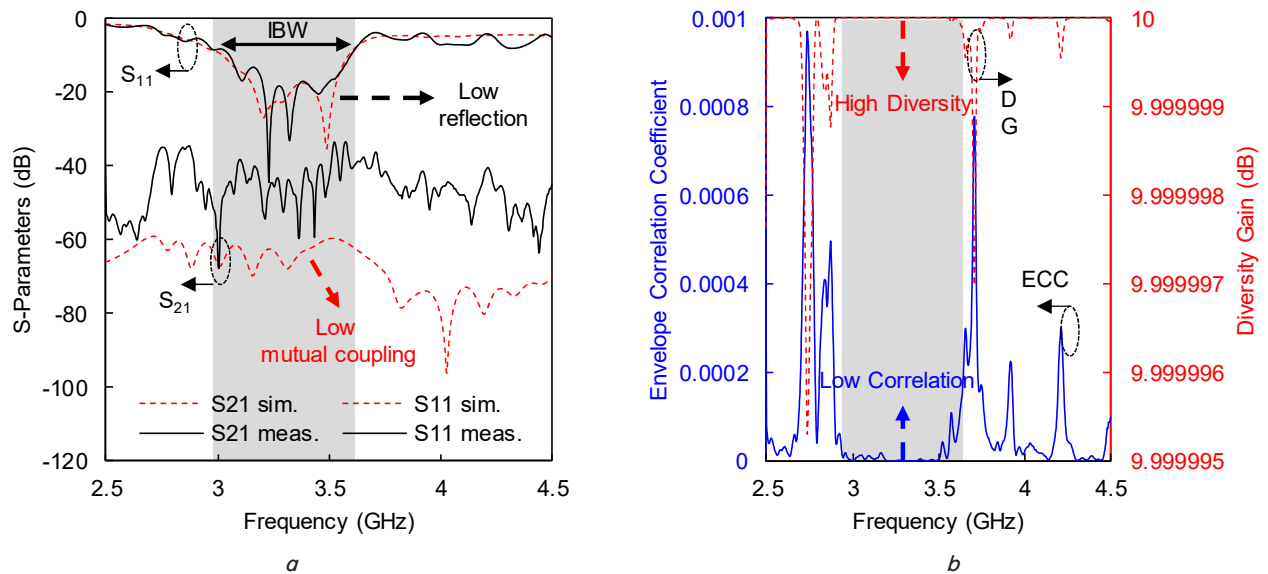


Fig. 10. Performance of the proposed antenna: *a* – comparison of the simulation and measurement results of S_{11} and S_{21} ; *b* – envelope correlation coefficient and diversity gain based on measurement results

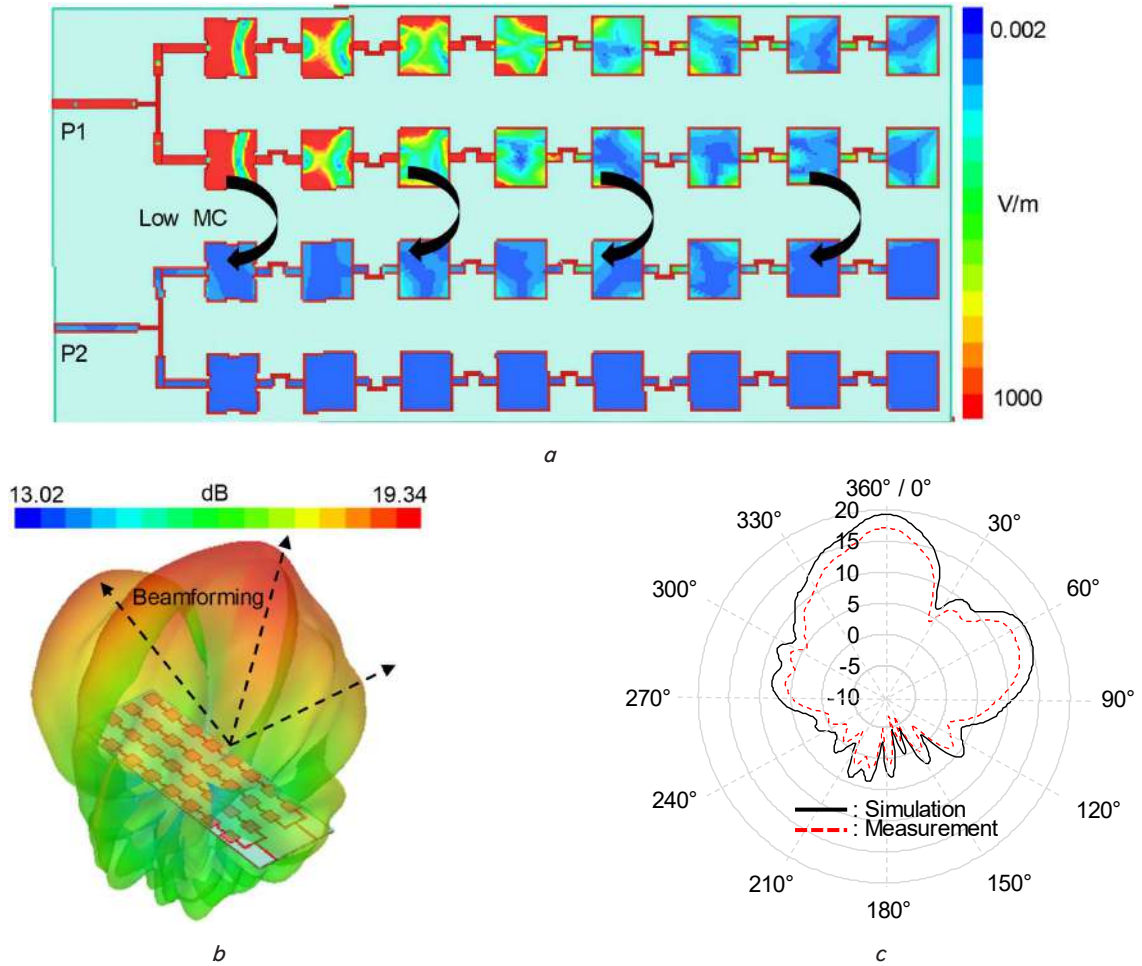


Fig. 11. MIMO performance of the proposed antenna: *a* – simulation of the E-field concentration of the proposed antenna at $f_r=3.5$ GHz; *b* – 3D simulation of the radiation of the proposed antenna at $f_r=3.5$ GHz; *c* – comparison of the simulation and measurement of the radiation pattern at $f_r=3.5$ GHz

6. Discussion of performance validation of the proposed MIMO antenna

Based on the measurement process, the comparison of the bandwidth of all the proposed antenna models is shown in Table 1. Based on Table 1, the bandwidth of the antenna with model 1 increases significantly from 40 MHz to 400 MHz in model 2 and 300 MHz in models 3 and 4. Furthermore, in models 5 and 6, the bandwidth increases to 600 MHz and 650 MHz. From the measurement results, it is found that the bandwidth of the antenna increases up to 1,525 % compared to the single-element antenna.

Furthermore, evaluation is also done by observing the gain of the proposed antenna. The gain comparison of the entire antenna model is shown in Table 2. Based on Table 2, the antenna gains increase in line with the addition of the number of elements of the antenna array. In model 1, the antenna gain is 5.8 dB while for model 2, model 3 and model 4, the antenna gains increase to 7.8 dB, 9.9 dB and 10.2 dB, respectively. Furthermore, in model 5 and model 6, the antenna gains increase to 16.09 and 17.8 dB.

Overall, the gain of the antenna increases up to 206.8 % compared to the single-element antenna. This finding shows that the evolution of the antenna has successfully improved the antenna performance by producing high gain. In addition, the MIMO performance of the antenna is shown with

high mutual coupling $S_{21} \leq -20$ dB. From the measurement results, a mutual coupling S_{21} of -40 dB was obtained in the frequency range of 2.5–4.5 GHz. MIMO performance is also indicated by high diversity with a diversity gain of 9.9 dB and a low correlation of 0.0001. This finding shows that the antennas have high independence and do not affect each other when working together.

From the results obtained, the proposed antenna has a performance with wide bandwidth and high gain compared to previous works [15–18]. In addition, the proposed antenna also has the capability for a high-performance MIMO system compared to the previous work [19], which proposed an antenna for a 5G communication system that does not support MIMO systems.

However, there are certain limitations, such as the relatively large antenna dimensions and its operation being restricted to a single resonant frequency. Consequently, future research efforts will focus on minimizing the antenna's dimensions and enhancing its performance across multiple resonant frequencies, enabling its application in other communication systems like 4G, Zigbee, and Wi-Fi.

7. Conclusions

1. From the measurement results, it was found that the proposed antenna has operated at a frequency of 3.5 GHz

with a wide bandwidth of 680 MHz. The bandwidth of the antenna has successfully met the standard requirements for a 5G communication system where the minimum bandwidth is ≤ 200 MHz.

2. The gain of the proposed antenna was successfully increased gradually using a series planar array with 8×2 elements. From the measurement results, a gain of 17.8 dB was obtained. This finding indicates that the proposed antenna has met the target with a gain of ≥ 12 dB for a 5G communication system.

3. The proposed antenna has been successfully developed with a two-port MIMO configuration operating at a resonant frequency of 3.5 GHz. From the measurement results, it was found that the proposed antenna has a high mutual coupling with S_{21} of -40 dB with ECC 0.001 and DG 9.99 dB. This finding indicates that the proposed antenna has met the criteria of high mutual coupling with $S_{21} \leq -20$ dB.

thorship or otherwise, that could affect the research, and its results presented in this paper.

Financing

This work is supported by the Research Institute of Universitas Trisakti and the Indonesian Ministry of Research, Technology and Higher Education 2024 through a competitive research grant under the Fundamental Research Scheme, contract number 832/LL3/AL.04/2024 and 181/A/LPPM-P/USAKTI/VI/2024.

Data availability

The manuscript has no associated data.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest in relation to this research, whether financial, personal, au-

Use of artificial intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies when creating the current work.

References

- Kamal, S., Bin Ain, M. F., Ullah, U., Mohammed, A. S. B., Najmi, F., Hussin, R. et al. (2021). Wheel-shaped miniature assembly of circularly polarized wideband microstrip antenna for 5G mmWave terminals. *Alexandria Engineering Journal*, 60 (2), 2457–2470. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.054>
- Fante, K. A., Gameda, M. T. (2021). Broadband microstrip patch antenna at 28 GHz for 5G wireless applications. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11 (3), 2238. <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i3.pp2238-2244>
- Tarpara, N., Rathwa, R. R., Kotak, D. N. A. (2018). Design of Slotted Microstrip patch Antenna for 5G Application. *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 5 (4), 2827–2832.
- Hussain, R., Alreshaid, A. T., Podilchak, S. K., Sharawi, M. S. (2017). Compact 4G MIMO antenna integrated with a 5G array for current and future mobile handsets. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 11 (2), 271–279. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2016.0738>
- Deng, J., Li, J., Zhao, L., Guo, L. (2017). A Dual-Band Inverted-F MIMO Antenna With Enhanced Isolation for WLAN Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 2270–2273. <https://doi.org/10.1109/lawp.2017.2713986>
- Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Al-Yasir, Y. I. A., Ullah, A., Abd-Alhameed, R. A., Noras, J. M. (2019). Multi-Band MIMO Antenna Design with User-Impact Investigation for 4G and 5G Mobile Terminals. *Sensors*, 19 (3), 456. <https://doi.org/10.3390/s19030456>
- Hikmaturokhman, A., Ramli, K., Suryanegara, M. (2018). Spectrum Considerations for 5G in Indonesia. 2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev). <https://doi.org/10.1109/icictr.2018.8706874>
- Hobbs, S. (2018). Valuing 5G Spectrum: Valuing the 3.5 GHz and C-Band Frequency Range. Coleago Consulting.
- An, W., Li, Y., Fu, H., Ma, J., Chen, W., Feng, B. (2018). Low-Profile and Wideband Microstrip Antenna With Stable Gain for 5G Wireless Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (4), 621–624. <https://doi.org/10.1109/lawp.2018.2806369>
- Pratiwi, A. R., Setijadi, E., Hendratoro, G. (2020). Design of Two-Elements Subarray with Parasitic Patch for 5G Application. 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 7, 311–316. <https://doi.org/10.1109/isitia49792.2020.9163785>
- Tang, X., Jiao, Y., Li, H., Zong, W., Yao, Z., Shan, F. et al. (2019). Ultra-Wideband Patch Antenna for Sub-6 GHz 5G Communications. 2019 International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM). <https://doi.org/10.1109/iwem.2019.8887933>
- Murugan, S. (2021). Compact MIMO Shorted Microstrip Antenna for 5G Applications. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, 11 (1), 22–27. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2021.01.03>
- Naik, P. S., Virani, H. G. (2020). 1×4 Microstrip Patch Slotted Array Antenna for 5G C-Band Access Point Application. 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 1, 641–644. <https://doi.org/10.1109/icesc48915.2020.9156015>

14. Aghoutane, B., Das, S., EL Ghzaoui, M., Madhav, B. T. P., El Faylali, H. (2022). A novel dual band high gain 4-port millimeter wave MIMO antenna array for 28/37 GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 145, 154071. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.154071>
15. Naga Jyothi Sree, G., Nelaturi, S. (2021). Design and experimental verification of fractal based MIMO antenna for lower sub 6-GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 137, 153797. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.153797>
16. Hu, W., Liu, X., Gao, S., Wen, L.-H., Qian, L., Feng, T. et al. (2019). Dual-Band Ten-Element MIMO Array Based on Dual-Mode IFAs for 5G Terminal Applications. *IEEE Access*, 7, 178476–178485. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2958745>
17. Xu, K. D., Zhu, J., Liao, S., Xue, Q. (2018). Wideband Patch Antenna Using Multiple Parasitic Patches and Its Array Application With Mutual Coupling Reduction. *IEEE Access*, 6, 42497–42506. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2860594>
18. Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Anindito, A., Putranto, A. Y., Firmansyah, T. (2021). Bandwidth Enhancement of Array Microstrip Antenna Using Spiral Stub For 5G Communication System. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (11), 42–46. <https://doi.org/10.15199/48.2021.11.07>
19. Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Ningsih, Y. K., Suryadi, S., Trihantoro, G. et al. (2023). Wide band and high gain microstrip antenna using planar series array 4×2 element for 5G communication system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (124)), 16–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285395>
20. Putri, S., Surjati, I., Alam, S., Ningsih, Y. K., Sari, L., Firmansyah, T., Zakaria, Z. (2024). High Isolation of Dual-Band MIMO Microstrip Antenna with Vertical – Horizontal Configuration for 5G Communication System. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (4), 89–95. <https://doi.org/10.15199/48.2024.04.17>
21. Fang, D. G. (2017). *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10302>
22. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. ARTECH HOUSE. Available at: <https://uodiyala.edu.iq/uploads/PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL37/Microstrip%20Antenna%20Design%20Handbook.pdf>

SJR Scimago Journal & Country Rank

Enter Journal Title, ISSN or Publisher Name

Home Journal Rankings Country Rankings Viz Tools Help About Us



Increasing equity in OA

ACS Publications

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies

COUNTRY

Ukraine

-  Universities and research institutions in Ukraine
-  Media Ranking in Ukraine

SUBJECT AREA AND CATEGORY

- Agricultural and Biological Sciences
 - Food Science
- Business, Management and Accounting
 - Management of Technology and Innovation
- Computer Science
 - Computer Science Applications
- Energy
 - Energy Engineering and Power Technology
- Engineering
 - Control and Systems Engineering
 - Electrical and Electronic Engineering
 - Industrial and Manufacturing Engineering
 - Mechanical Engineering
- Environmental Science
 - Environmental Chemistry
- Mathematics
 - Applied Mathematics

PUBLISHER

Technology Center

H-INDEX

36



SCOPE

Information not localized

Join the conversation about this journal

Quartiles

FIND SIMILAR JOURNALS ?

1 EUREKA, Physics and Engineering EST

30% similarity

2 Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho UKR

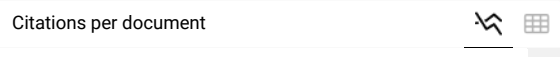
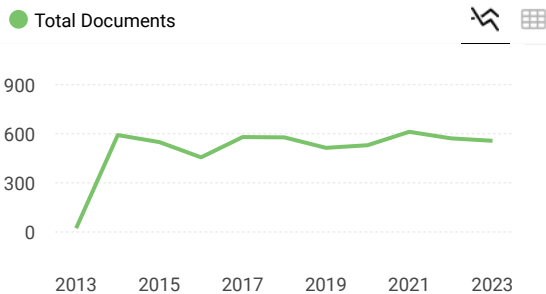
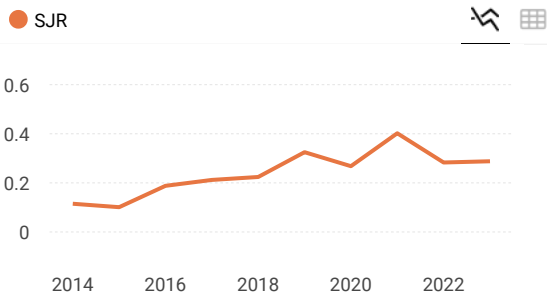
21% similarity

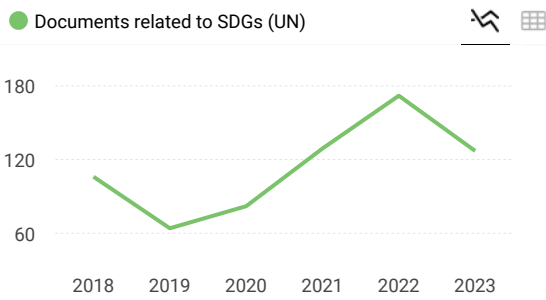
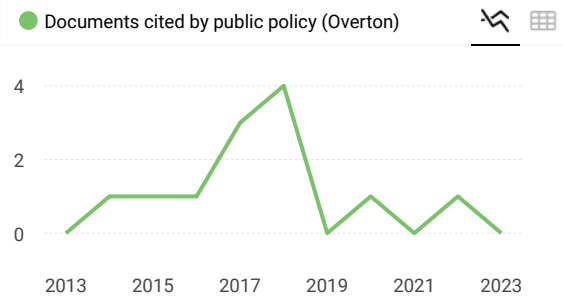
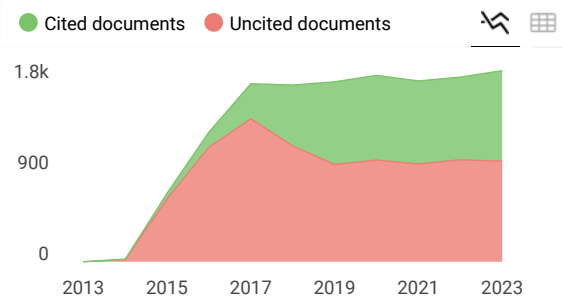
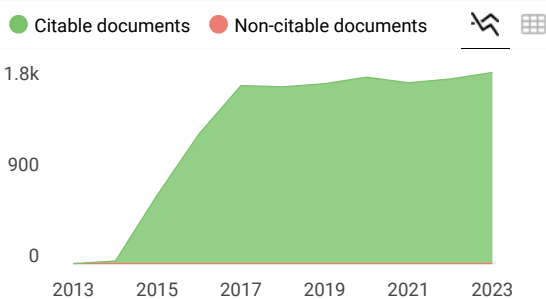
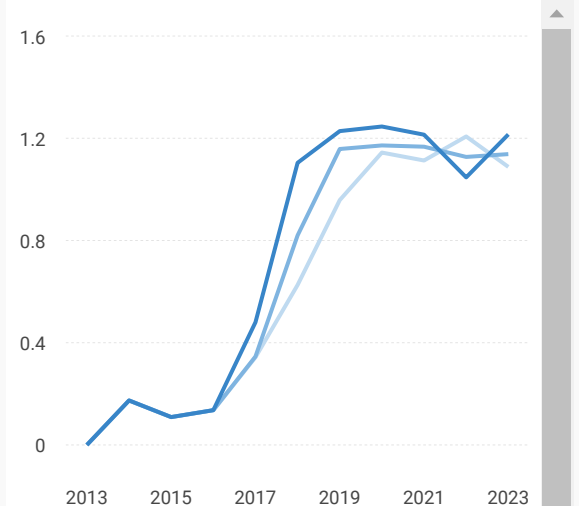
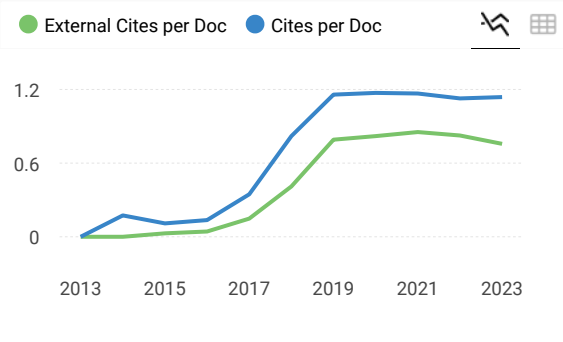
3 Journal of the Balkan Tribological Association BGR

19% similarity

4 Journal of C Technologe UKR

1 si





Eastern-European Journal of Enterprise Technologies

Q3 Applied Mathematics
best quartile

SJR 2023
0.29

powered by scimagojr.com

Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

<a href="https://www.scimaç

SCImago Graphica

Explore, visually communicate and make sense of data with our **new data visualization tool.**



Metrics based on Scopus® data as of March 2024



Loading comments...

Developed by:



Powered by:



Follow us on @ScimagoJR

Scimago Lab, Copyright 2007-2024. Data Source: Scopus®

EST MODUS IN REBUS

Horatio (Satire 1.1,106)

[Legal Notice](#)

[Privacy Policy](#)

This site uses Google AdSense ad intent links. AdSense automatically generates these links and they may help creators earn money.





This author profile is generated by Scopus. [Learn more](#)

Alam, Syah

[Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia](#) [57191903622](#)

<https://orcid.org/0000-0002-0162-8364> [View more](#)

223

Citations by **166 documents**

61

Documents

9

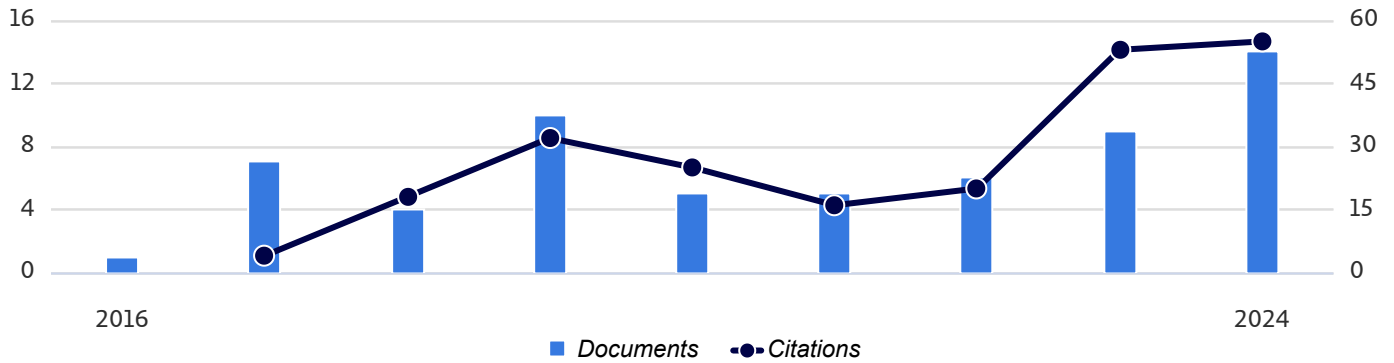
h-index [View *h*-graph](#)

[View more metrics >](#)

Document & citation trends

Documents

Citation



[Analyze author output](#) [Citation overview](#)

Most contributed Topics 2019–2023

Antenna Arrays; Resonator; Dielectrics

17 documents

Resonator; Microwave Sensor; Permittivity

7 documents

Antenna Arrays; Output System; Multiple-Input Multiple-Output

2 documents

[View all Topics](#)

New

61 Documents

Impact


Cited by 166 documents
Beta


1 Preprint

89 Co-Authors

12 Topics

0 Awarded Grants

Export all  Save all to list

Sort by Date (newest) 

Article

PERFORMANCE ANALYSIS OF LT-BCH CODE FOR WIRELESS BODY AREA NETWORK

0

Citations

Sari, L., Alam, S., Surjati, I.

Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2024, 102(20), pp. 7440–7448

Show abstract  Related documents

Article • *Open access*




Effects of Number of Filters and Frequency Cutoff in Continuous Interleaved Sampling and Frequency Amplitude Modulation Encoding Schemes in Cochlear Implant

0

Citations

Sari, L., Naud, M., Alam, S., Surjati, I.

International Journal of Electrical and Electronics Research, 2024, 12(3), pp. 1010–1017

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article

Collaboratively Far-Field and Near-Field Regions for Dual-Modalities Microwave Permittivity Sensor Using T-Shaped Resonator Embedded With IDC

0

Citations

Alam, S., Zakaria, Z., Surjati, I., ... Ningsih, Y.K., Sari, L.

IEEE Sensors Letters, 2024, 8(7), 3501304

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article

Integrated and Independent Solid Microwave Sensor with Dual-Band Bandpass Filter Through Unified Mux-Demux Structure

1

Citations

Firmansyah, T., Praptodiyono, S., Muttakin, I., ... Alaydrus, M., Kondoh, J.

IEEE Sensors Journal, 2024, 24(12), pp. 19253–19261

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article

Multifunctional Glass Microfluidic Microwave Sensor Attenuator for Detection of Permittivity and Conductivity With Device Protection

1

Citations

Firmansyah, T., Praptodiyono, S., Muttakin, I., ... Wibisono, G., Kondoh, J.

IEEE Sensors Journal, 2024, 24(4), pp. 4574–4585

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article

Eliminating Dispersion Power Fading in Radio over Fiber Communication through Unbalanced Sideband Modulation



Alam, Syah

0

Citations

Ujang, F., Anhar, Butar, E.E.B., ... Alfan, R., Firmansyah, T.

International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications, 2024, 13(6), pp. 456–466

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article • *Open access*


DEVELOPMENT MODEL OF A HIGH-PERFORMANCE MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT MICROSTRIP ANTENNA BASED ON A PLANAR SERIES ARRAY WITH 8×2 ELEMENTS FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

0

Citations

Alam, S., Surjati, I., Sari, L., ... Firmansyah, T., Zakaria, Z.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, 5(5(131)), pp. 37–49

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article • *Open access*

Bandwidth enhancement of circular structure microstrip antenna based on inverted C-shaped ground configuration

0

Citations

Wardoyo, S., Permana, J., Supriyanto, T., ... Alam, S., Firmansyah, T.

International Journal of Electronics and Telecommunications, 2024, 70(3), pp. 655–660

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article

Analysis of Leaf Moisture of Chinese Mustard Green and Water Spinach using Single-Port Circular SRR Microwave Sensor for Post-Harvest in the Agriculture Industry | Analiza wilgotności liści gorczycy chińskiej i szpinaku wodnego przy użyciu jednoportowego okrągłego czujnika mikrofalowego SRR do stosowania po zbiorach w przemyśle rolniczym

0

Citations

Al Subramaniam, S.A., Shairi, N.A., Zakaria, Z., ... Zahari, M.K., Alam, S.

Przegląd Elektrotechniczny, 2024, (8), pp. 251–254

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Article • *Open access*

Dual Functional Liquid Displacement and Angular Detection Based on Band Stop Response Microwave Sensor

0

Citations

Alam, S., Surjati, I., Sari, L., ... Alaydrus, M., Rahayu, Y.


IEEE Access, 2024, 12, pp. 94861–94869

Show abstract  View at Publisher  Related documents 

Author Position

Alam, Syah

Based on 46 selected documents for 2014 - 2023

First author 54% 



25


Documents

4


Average citations

0.736


FWCI

Last author 20% 



Co-author 26% 



Single author 0% 




[View author position details >](#)

[View more metrics >](#)

[> View list in search results format](#)

[> View references](#)

 [Set document alert](#)

About Scopus

[What is Scopus](#)

[Content coverage](#)

[Scopus blog](#)

[Scopus API](#)

[Privacy matters](#)

Language

[日本語版を表示する](#)

[查看简体中文版本](#)

[查看繁體中文版本](#)

[Просмотр версии на русском языке](#)

Customer Service

[Help](#)

[Tutorials](#)

[Contact us](#)

ELSEVIER

[Terms and conditions ↗](#) [Privacy policy ↗](#) [Cookies settings](#)

All content on this site: Copyright © 2024 Elsevier B.V. ↗, its licensors, and contributors. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies. For all open access content, the relevant licensing terms apply.

We use cookies to help provide and enhance our service and tailor content. By continuing, you agree to the use of cookies ↗.

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SYAH ALAM S.Pd, M. I

Alamat : Jl Rambutan Barat IV No.23

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 0459/F5/PG 02.00/2024 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 832/LL3/AL.04/2024 mendapatkan Anggaran Penelitian Perancangan Antena Mikrostrip Tersusun Multi Masukan Multi Keluaran Untuk Peningkatan Level Penerimaan Sinyal pada Sistem Komunikasi Generasi Kelima (5G) Sebesar Rp.128.870.000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	RAB 100%	Realisasi
1	Bahan Substrat PCB RO5880, Konektor RP SMA Hubher Schuner, Lotfet Pasta Timah, Timah 60/40 Sanfix, Kabel Pigtail 50 ohm, Spacer Nylon 3.5 mm, Adapter SMA Female ke N Male	Rp.81.570.000	Rp.81.570.000
2	Pengumpulan Data Simulasi perancangan antena, FGD Progress Report Penelitian	Rp.3.400.000	Rp.3.400.000
3	Analisis Data Pengukuran medan dekat dan medan jauh dari antena di chamber	Rp.4.000.000	Rp.4.000.000
4	Sewa Peralatan Sewa peralatan pengukuran medan dekat antena, Sewa peralatan pengukuran medan jauh antena	Rp.15.000.000	Rp.15.000.000
5	Pelaporan Luaran Wajib Biaya publikasi di Jurnal Internasional Bereputasi, Biaya Pabrikasi Antena, Biaya Luaran Hak Cipta, Rapat Penyusunan Luaran dan Laporan Penelitian	Rp.24.900.000	Rp.24.900.000
6	Lain-lain -	Rp.0	Rp.0
Realisasi (100 %)			Rp.128.870.000

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

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

arta, 09/12/2024, Ketua



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