

**PERLINDUNGAN CFRP MENURUNKAN DAMPAK RADIASI ELEKTROMAGNETIK
1800 MHZ TERHADAP SISTEM REPRODUKSI TIKUS WISTAR****Irsandi Rizki Farmananda^{1*}, I Gusti Ayu Widiyanti², I Wayan Sugiritama³,
Irmawan Farindra⁴, Warda Elmaida Rusdi⁵**¹Fakultas Kedokteran, Universitas Islam Al-Azhar²⁻³Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana⁴⁻⁵Fakultas Kedokteran, Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya

Email Korespondensi: irsandi@unizar.ac.id

Disubmit: 07 Februari 2026 Diterima: 15 September 2026 Diterbitkan: 01 Oktober 2026
Doi: <https://doi.org/10.33024/mahesa.v6i10.25024>**ABSTRACT**

Exposure to 1800 MHz cellular phone electromagnetic radiation can induce oxidative stress causing decreased Leydig cell count and testosterone levels. This study aimed to evaluate the protective effect of Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) shielding with variations of 1, 2, and 4 layers on Leydig cell count and testosterone levels in male Wistar rats exposed to 1800 MHz electromagnetic radiation. This experimental study used 30 male Wistar rats divided into 5 groups: normal, control, and CFRP treatment with 1, 2, 4 layers. Radiation exposure was conducted 2 hours per day for 30 days. Analysis used hematoxylin-eosin staining and ELISA. The control group showed significant decrease in Leydig cell count (16.33 cells) and testosterone levels (8546.5 ng/ml) compared to normal group. CFRP shielding with 2 and 4 layers significantly increased Leydig cell count ($p < 0.05$), while only 4 layers significantly increased testosterone levels ($p < 0.05$). CFRP proved effective as electromagnetic radiation protection through reflection loss, absorption loss, and multiple reflections mechanisms, with optimal effectiveness at 4-layer configuration.

Keywords: Carbon Fibre Reinforced Polymer, Cellular Phone, Electromagnetic Radiation, Leydig Cells, Testosterone Levels.

ABSTRAK

Paparan radiasi elektromagnetik telepon selular 1800 MHz dapat menginduksi stres oksidatif yang menyebabkan penurunan jumlah sel Leydig dan kadar testosteron. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efek protektif shielding Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) dengan variasi 1, 2, dan 4 lapisan terhadap jumlah sel Leydig dan kadar testosteron pada tikus Wistar jantan yang terpapar radiasi elektromagnetik 1800 MHz. Penelitian eksperimental menggunakan 30 tikus Wistar jantan yang dibagi menjadi 5 kelompok: normal, kontrol, dan perlakuan CFRP 1, 2, 4 lapisan. Paparan radiasi dilakukan 2 jam per hari selama 30 hari. Analisis menggunakan pewarnaan hematoksin-eosin dan ELISA. Kelompok kontrol menunjukkan penurunan signifikan jumlah sel Leydig (16,33 sel) dan kadar testosteron (8546,5 ng/ml) dibandingkan kelompok normal. Shielding CFRP 2 dan 4 lapisan meningkatkan jumlah sel Leydig secara signifikan.

($p < 0,05$), sedangkan hanya 4 lapisan yang meningkatkan kadar testosteron secara signifikan ($p < 0,05$). CFRP terbukti efektif sebagai proteksi radiasi elektromagnetik melalui mekanisme reflection loss, absorption loss, dan multiple reflections, dengan efektivitas optimal pada konfigurasi 4 lapisan.

Kata Kunci: Carbon Fibre Reinforced Polymer, Kadar Testosteron, Radiasi Elektromagnetik, Sel Leydig, Telepon Selular.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi global telah mendorong peningkatan penggunaan perangkat telepon seluler secara masif, dengan jumlah pengguna mencapai 4,8 miliar di seluruh dunia. Data statistik nasional menunjukkan tren peningkatan yang mengkhawatirkan, dimana jumlah pengguna telepon seluler di Indonesia mengalami eskalasi signifikan dari 211.200.297 pengguna pada tahun 2010 menjadi 338.948.340 pengguna pada tahun 2015, menandai pertumbuhan rata-rata sebesar 20% setiap tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2016). Fenomena ini menimbulkan keprihatinan serius terkait implikasi kesehatan, mengingat dampak negatif yang ditimbulkan dapat mempengaruhi sistem imunitas tubuh manusia, mulai dari manifestasi ringan seperti gejala vertigo hingga kondisi serius yang berpotensi menyebabkan infertilitas (Aladamat & P, 2022).

Perangkat telepon seluler beroperasi dengan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi 900-2000 MHz. Khususnya, frekuensi 1800 MHz diaplikasikan dalam jaringan *digital communication system* (DCS) atau *global system for mobile communication* (GSM), yang dimanfaatkan oleh berbagai operator telekomunikasi di Indonesia (Septania, Nugroho, & Yulius, 2013). Frekuensi ini telah menjadi standar populer untuk implementasi teknologi 4G LTE,

dengan alokasi sumber daya frekuensi yang substansial oleh operator seluler domestik (Kominfo, 2015).

Konsentrasi radikal bebas dalam tubuh diketahui meningkat dengan paparan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh telepon seluler dalam jangka waktu lama. *Reactive oxygen species* (ROS), yang rentan mengganggu keseimbangan sel, merupakan produk sampingan penting dari radikal oksigen. Penurunan indeks kualitas sperma, seperti viabilitas dan motilitas, dapat terjadi ketika ada ketidakseimbangan antara pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) dan kapasitas antioksidan, yang menyebabkan stres oksidatif dan berpotensi membahayakan integritas membran sel sperma (Rahmadiani, 2021). Sel Leydig menunjukkan vulnerabilitas tinggi terhadap paparan gelombang elektromagnetik, dimana deplesi populasi sel ini dapat dipicu oleh eksposur radikal bebas yang berkepanjangan. Bukti empiris mengindikasikan bahwa penempatan telepon seluler pada area pinggang menunjukkan efek deletrius yang lebih signifikan terhadap fungsi reproduksi dibandingkan lokasi lainnya (Sesva, Wahyuni, & Armansyah, 2017).

Testosteron, sebagai hormon androgen primer yang disintesis oleh sel interstisial Leydig, memainkan peran krusial dalam regulasi spermatogenesis dan pemeliharaan struktur organ reproduksi (Fitria, Mulyati, Tiraya, & Budi, 2015).

Radiasi elektromagnetik mengurangi pelepasan hormon luteinizing (LH) dan *follicle stimulating hormone* (FSH) melalui induksi stres oksidatif. Penurunan sekresi LH menyebabkan sel Leydig mengalami gangguan dalam produksi testosteron (Riris, Reny, & Siti, 2020). Gangguan ini menghambat steroidogenesis dan spermatogenesis dengan mengurangi populasi sel melalui induksi kematian sel Leydig.

Prinsip proteksi terhadap radiasi elektromagnetik melibatkan penghalangan medan radiasi menggunakan material konduktor melalui mekanisme *reflection loss* dan *absorption loss* (United Nations, 2024). Penelitian (Farindra, Kalanjati, & Tirthaningsih, 2017) mendemonstrasikan bahwa aluminium foil dapat berfungsi sebagai pelindung terhadap radiasi elektromagnetik frekuensi 2100 MHz, namun memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas bentuk dan resistensi terhadap korosi. Kandungan nanotube karbon pada polimer yang diperkuat serat karbon (*Carbon fibre reinforced polymers* /CFRP) telah mendorong penelitian terhadapnya sebagai material pengganti potensial. Material ini memiliki kemampuan refleksi dan penyerapan yang sangat baik, kepadatan rendah, tahan korosi, dan dapat dibengkokkan serta dibentuk dengan berbagai cara (Chang, 2020). (Munalli, Dimitrakis, Chronopoulos, Greedy, & Long, 2019) memvalidasi bahwa dua lapisan CFRP dengan ketebalan 1 mm menunjukkan *shielding effectiveness* lebih dari 99% pada rentang frekuensi 30-1500 MHz. Meskipun demikian, belum terdapat laporan mengenai potensi protektif CFRP terhadap radiasi elektromagnetik frekuensi 1800

MHz, khususnya terhadap kuantitas sel Leydig dan konsentrasi testosteron, serta belum ada evaluasi komparatif mengenai efektivitas variasi jumlah lapisan CFRP.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan permasalahan penelitian: Apa efek perlindungan CFRP dengan 1, 2, dan 4 lapisan terhadap kadar testosteron dan jumlah sel Leydig pada tikus Wistar jantan yang terpapar radiasi elektromagnetik 1800 MHz selama 30 hari dengan dosis 2 jam per hari dibandingkan dengan kelompok kontrol? Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi konfigurasi lapisan CFRP yang optimal dengan membandingkan efek perlindungan CFRP dengan konfigurasi 1, 2, dan 4 lapisan terhadap kadar testosteron dan jumlah sel Leydig pada tikus Wistar jantan yang terpapar radiasi elektromagnetik 1800 MHz selama 30 hari dengan paparan 2 jam/hari.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan bukti lebih lanjut bahwa pelindung CFRP dapat mengurangi stres oksidatif yang disebabkan oleh radiasi elektromagnetik pada frekuensi 1800 MHz dan membuka jalan bagi penelitian selanjutnya di bidang ini. Secara praktis, hasil penelitian dapat menjadi dasar pengembangan aplikasi CFRP sebagai material pelindung pada perangkat telepon seluler untuk mencegah kerusakan jaringan testis dan gangguan fungsi reproduksi, yang pada akhirnya dapat diimplementasikan sebagai solusi protektif bagi pengguna telepon seluler dalam kehidupan sehari-hari.

KAJIAN PUSTAKA

Gelombang elektromagnetik adalah jenis radiasi elektromagnetik non-konduktif yang terdiri dari campuran medan listrik dan medan magnet. Berdasarkan frekuensinya,

WHO mengelompokkan gelombang elektromagnetik menjadi beberapa jenis, termasuk radio frequency dan microwave yang berasal dari perangkat elektronik seperti telepon seluler (Roseane, 2015). Radiasi elektromagnetik telepon seluler merupakan radiasi non-pengion, yang meskipun tidak menyebabkan ionisasi langsung, dapat memicu perubahan biologis melalui mekanisme non-termal dan stres oksidatif (Anies, 2007; Sivani & Sudarsanam, 2012).

Intensitas radiasi elektromagnetik yang diterima pengguna dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jarak telepon seluler dengan tubuh, jarak ke *Base Transceiver Station* (BTS), serta mode penggunaan perangkat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin dekat jarak telepon seluler dengan tubuh, maka intensitas medan listrik dan medan magnet yang diterima semakin besar (Tarigan et al., 2013; Alfarizi et al., 2021). Selain itu, penggunaan telepon seluler berbasis internet seperti aplikasi WhatsApp menghasilkan intensitas radiasi yang lebih tinggi dibandingkan panggilan konvensional (Alfarizi et al., 2021). Paparan radiasi juga lebih tinggi saat perangkat dalam kondisi aktif dibandingkan mode siaga (Pratama et al., 2021).

Besarnya energi radiasi yang diserap oleh tubuh diukur menggunakan Specific Absorption Rate (SAR). Nilai SAR menggambarkan jumlah energi frekuensi radio yang diserap jaringan tubuh per satuan massa. ICNIRP menetapkan batas aman SAR sebesar 2,0 W/kg, sedangkan IEEE menetapkan batas 1,6 W/kg yang juga digunakan di Indonesia. Semakin rendah nilai SAR suatu perangkat, maka semakin kecil potensi risiko paparan radiasi

terhadap tubuh (Swamardika, 2009; Haq et al., 2021).

Paparan radiasi elektromagnetik diketahui dapat memicu stres oksidatif melalui peningkatan pembentukan radikal bebas atau reactive oxygen species (ROS). Ketidakseimbangan antara ROS dan sistem antioksidan tubuh menyebabkan kerusakan lipid, protein, dan DNA sel, yang dikenal sebagai stres oksidatif (Winarsi, 2007; Agarwal et al., 2008). Salah satu proses penting akibat stres oksidatif adalah peroksidasi lipid, yang merusak membran sel dan dapat berujung pada kematian sel (Suryohudoyo, 2000).

Sistem reproduksi pria, khususnya sel Leydig, merupakan salah satu jaringan yang sangat sensitif terhadap stres oksidatif. Sel Leydig berperan penting dalam produksi hormon testosteron yang mengatur spermatogenesis dan karakteristik seksual sekunder. Paparan radikal bebas dapat merusak membran sel Leydig, menghambat sintesis protein dan hormon, serta memicu apoptosis, yang pada akhirnya menurunkan kadar testosteron (Sesva et al., 2017; Agarwal et al., 2008). Stres oksidatif juga mengaktifkan jalur inflamasi melalui aktivasi faktor transkripsi seperti NF- κ B dan peningkatan ekspresi COX-2, yang berperan dalam gangguan fungsi testis dan fertilitas pria (Armutcu et al., 2015).

Model hewan coba seperti tikus Wistar sering digunakan untuk mempelajari dampak biologis radiasi elektromagnetik karena memiliki sistem reproduksi yang menyerupai mamalia lainnya. Pada tikus jantan dewasa, testis berfungsi sebagai organ utama spermatogenesis dan produksi androgen. Sel Leydig yang berada di antara tubulus seminiferus berperan sebagai sumber utama testosteron dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk paparan radiasi

elektromagnetik (Fitria et al., 2015; Aladamat & Tadi, 2022).

Upaya untuk mengurangi paparan radiasi elektromagnetik telah dikembangkan melalui penggunaan bahan pelindung atau shielding. Aluminium foil diketahui mampu memantulkan sebagian besar gelombang elektromagnetik dan efektif menurunkan efek stres oksidatif jaringan, meskipun memiliki keterbatasan dari segi fleksibilitas dan ketahanan (Dharmawan et al., 2020; Farindra et al., 2017). Alternatif lain yang lebih modern adalah carbon fiber reinforced polymers (CFRP), yang memiliki kemampuan refleksi dan absorpsi radiasi yang sangat tinggi, ringan, fleksibel, dan tahan korosi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa CFRP mampu mereduksi lebih dari 99% radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi tertentu, sehingga berpotensi digunakan sebagai pelindung radiasi elektromagnetik yang lebih efektif (Munalli et al., 2019).

METODOLOGI PENELITIAN

Riset ini merupakan eksperimen laboratorium sejati menggunakan tikus *Rattus norvegicus* galur Wistar jantan dewasa dengan desain *post test only control group* (Suryohudoyo, 2000). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Farmakologi Departemen Anatomi Histologi dan Farmakologi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga periode Februari-Juni 2024. Populasi mencakup tikus Wistar jantan berusia 3 bulan dengan bobot 150-250 gram. Sampel ditentukan menggunakan formula Federer menghasilkan 30 ekor tikus yang terbagi secara acak menjadi lima kelompok: normal (N), kontrol (K), perlakuan 1 lapis CFRP (P1), 2 lapis

CFRP (P2), dan 4 lapis CFRP (P3), masing-masing 6 ekor (Federer, 1963). Kriteria inklusi meliputi tikus jantan sehat dengan mata jernih dan bulu halus, sedangkan kriteria eksklusi mencakup tikus dengan kelainan kongenital atau penolakan makan-minum.

Variabel bebas adalah pelindung CFRP berlapis 1, 2, dan 4 dengan ketebalan 1 mm per lapis berukuran 7×15 cm menggunakan konfigurasi XPREG XC130 210gsm dan 450gsm (Munalli et al., 2019). Variabel tergantung meliputi jumlah sel leydig dan kadar testosteron, sementara variabel terkendali mencakup jenis hewan, umur, pemeliharaan, pakan standar BR-1 Pokphand CP 591, dan kondisi paparan. Radiasi elektromagnetik bersumber dari telepon seluler Redmi A2 jaringan GSM frekuensi 1800 MHz dengan SAR 0,9 W/kg selama 2 jam/hari sepanjang 30 hari, diukur menggunakan *Electromagnetic Radiation Tester*. Telepon seluler dipasang kartu SIM Telkomsel terakses internet untuk panggilan melalui WhatsApp. Setiap kandang paparan berisi 1 tikus dan 1 telepon seluler dengan jarak antar kandang 1 meter (Sugiyono, 2013).

Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan pemberian pakan dan minum *ad libitum* dalam siklus gelap-terang 12-12 jam. Pada hari ke-31, tikus dibius menggunakan ketamin, kemudian darah diambil melalui ventrikel jantung untuk pengukuran kadar testosteron menggunakan teknik ELISA dengan *Rat Testosterone BT-Lab Kit* dalam satuan ng/ml (Fitria et al., 2015). Testis diambil melalui insisi median abdominal, difiksasi, dan diproses melalui tahapan dehidrasi menggunakan alkohol bertingkat (70%, 90%, 100%), *clearing* dengan xylol, *embedding* dalam parafin, *sectioning* dengan mikrotom ketebalan 6 µm setiap 20 irisan serial, dan pewarnaan hematoksin-eosin (Ross & Pawlina, 2016). Sel leydig yang memiliki

nukleus bulat besar dan sitoplasma eosinofilik dihitung pada perbesaran 400× di 5 lapang pandang menggunakan *software* ImageJ (Hoesada, Nasihun, & Isradji, 2016). Analisis statistik menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk normalitas, Levene untuk homogenitas, *One Way ANOVA* dengan *post hoc* Tukey untuk data normal, dan Kruskal-Wallis dengan *post hoc* Dunn untuk data non-parametrik ($p < 0,05$) menggunakan SPSS 29. Sesuai dengan pedoman yang ditetapkan oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, penelitian ini telah disetujui untuk dilaksanakan dengan prinsip 3R DAN 5F.

HASIL PENELITIAN

Studi ini mengaplikasikan rancangan eksperimental *post-test only control group* dengan memanfaatkan tikus *Wistar* jantan sebanyak 30 ekor yang didistribusikan ke dalam lima grup, masing-masing beranggotakan enam ekor. Pelaksanaan riset berlangsung mulai 16 Mei 2024 hingga 16 Mei 2025. Komite Etik Penelitian

Kesehatan Universitas Airlangga (KEPK) memberikan persetujuannya dengan surat bernomor 73/EC/KEPK/FKUA/2024 pada tanggal 16 Mei 2024, dan akan tetap berlaku hingga tanggal 16 Mei 2025. Kelompok kontrol (K) dikenai radiasi elektromagnetik 1800 MHz dari telepon seluler; kelompok normal (N) tidak menerima perawatan apa pun; kelompok 2-3 masing-masing diberi radiasi elektromagnetik 1800 MHz dengan 2-4 lapisan partisi serat karbon; dan akhirnya, kelompok 4-6 tidak menerima perawatan sama sekali. Paparan radiasi elektromagnetik 1800 MHz selama dua jam setiap hari diberikan selama tiga puluh hari.

Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk mendapatkan nilai rata-rata, simpangan baku (SD), nilai terendah, dan nilai tertinggi dari konsentrasi testosteron dan jumlah sel Leydig. Pada akhir penelitian, ketiga puluh sampel masih hidup. Tabel 1 menampilkan hasil analisis deskriptif yang dilakukan pada kedua variabel tersebut.

Tabel 1. Hasil Analisis Deskriptif Kadar Testosteron dan Jumlah Sel Leydig

Variabel	Kelompok	n	Rerata	SD	Min.	Maks.
Jumlah	Normal	6	52,5	9,58	36	60
Sel	Kontrol	6	16,33	8,95	4	26
Leydig	Perlakuan 1	6	25,33	5,31	20	34
(Sel)	Perlakuan 2	6	49,67	11,77	27	60
	Perlakuan 3	6	62,83	13,8	49	85
Kadar	Normal	6	11686,8	922,3	10907	13466
testosteron	Kontrol	6	8546,5	1081,5	7041	9859
(ng/ml)	Perlakuan 1	6	9191,1	766	7790	9865
	Perlakuan 2	6	9175,5	924,8	8320	10880
	Perlakuan 3	6	11316,3	1062,9	10054	12686

Catatan: n = jumlah sampel, SD = Standar Deviasi, Min. = kadar

minimal, Maks. = kadar maksimal

Berdasarkan analisis deskriptif, terlihat bahwa variabel jumlah sel *leydig* pada grup N dan grup perlakuan menampilkan nilai rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan grup K. Demikian pula pada variabel konsentrasi testosteron, grup N dan grup perlakuan memperlihatkan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan grup K. Nilai simpangan baku pada kedua variabel menunjukkan variasi data yang relatif rendah karena nilai simpangan baku lebih kecil dari nilai rata-ratanya.

Uji Normalitas Data

Pengujian normalitas dilakukan untuk mengevaluasi distribusi data penelitian menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Data jumlah sel *leydig* menampilkan distribusi normal pada seluruh grup sehingga dapat dilanjutkan dengan uji homogenitas *Levene Test*. Sebaliknya, data konsentrasi testosteron pada grup normal memperlihatkan distribusi tidak normal ($p < 0,05$). Data yang tidak berdistribusi normal selanjutnya dianalisis menggunakan uji nonparametrik *Kruskal-Wallis Test*. Hasil lengkap uji normalitas data dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas Kadar Testosteron dan Jumlah Sel Leydig

Variabel	Kelompok	n	p-value
Jumlah Sel	Normal	6	0,094
Leydig (Sel)	Kontrol	6	0,462
	Perlakuan 1	6	0,53
	Perlakuan 2	6	0,058
	Perlakuan 3	6	0,475
Kadar	Normal	6	0,048
testosteron	Kontrol	6	0,86
(ng/ml)	Perlakuan 1	6	0,172
	Perlakuan 2	6	0,191
	Perlakuan 3	6	0,434

Catatan: n = jumlah sampel

Tabel 2 menunjukkan bahwa distribusi data tidak normal untuk variabel konsentrasi testosteron pada kelompok normal, dengan nilai p sebesar 0,048.

Sebelum menjalankan ANOVA, peneliti memastikan data bersifat homogen dengan menggunakan uji *Levene*, yang menghasilkan nilai p lebih besar dari 0,05. Menurut Tabel 3, uji homogenitas berhasil.

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas Data Jumlah Sel Leydig

Uji	p-value
Levene's test	0,307

Data jumlah sel *leydig* menunjukkan homogenitas dengan nilai $p=0,307$ sehingga analisis dapat dilanjutkan dengan uji *Anova* untuk

membandingkan parameter rata-rata pada seluruh grup secara simultan. Hasil uji *Anova* disajikan pada tabel 4.

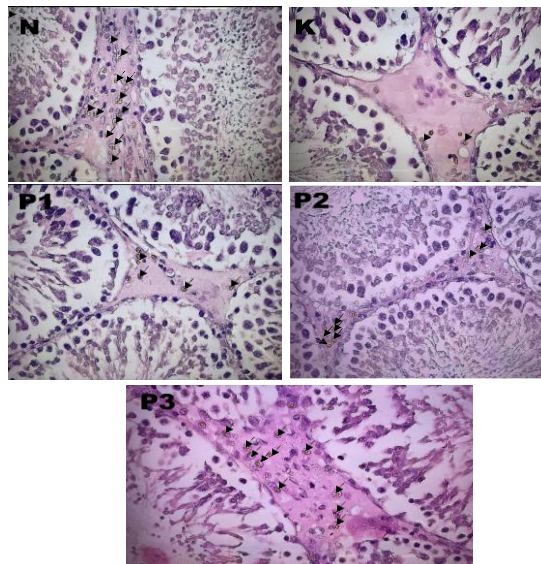
Tabel 4. Hasil Uji Anova Jumlah Sel Leydig (Sel)

Variabel	Kelompok	Rerata	SD	p-value
Jumlah Sel Leydig (Sel)	Normal	52,5	9,58	<0,001
	Kontrol	16,33	8,95	
	Perlakuan 1	25,33	5,31	
	Perlakuan 2	49,67	11,77	
	Perlakuan 3	62,83	13,8	

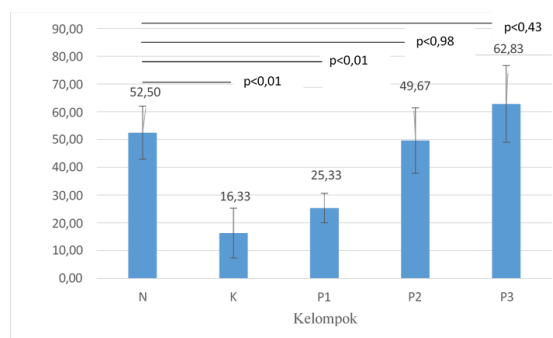
Catatan: SD = Standar Deviasi

Jumlah sel Leydig dibandingkan antar kelompok dalam lima bidang pandang berbeda

menggunakan mikroskop cahaya 400x (Olympus, Jepang). Panah arah menunjukkan sel Leydig.



Gambar 1. Sediaan HE Jaringan Testis (Perbesaran 400x).



Gambar 2. Rerata Jumlah Sel Leydig Tikus.

Hasil uji *Anova* memperlihatkan perbedaan rata-rata jumlah sel *leydig* pada seluruh grup penelitian dengan nilai $p < 0,01$, mengindikasikan adanya perbedaan signifikan antar semua grup. Grup N berfungsi sebagai referensi untuk mengetahui kondisi normal tanpa perlakuan. Data tersebut juga divisualisasikan dalam diagram batang pada gambar 2. Setelah uji *ANOVA*, dilanjutkan uji *post hoc Tukey* untuk mengidentifikasi perbedaan spesifik antar grup.

Uji *post hoc Tukey* mengungkapkan bahwa jumlah sel *leydig* pada grup normal yang dibandingkan dengan grup kontrol dan perlakuan 1 memiliki nilai $p\text{-value} < 0,05$ yang menunjukkan perbedaan signifikan, sementara

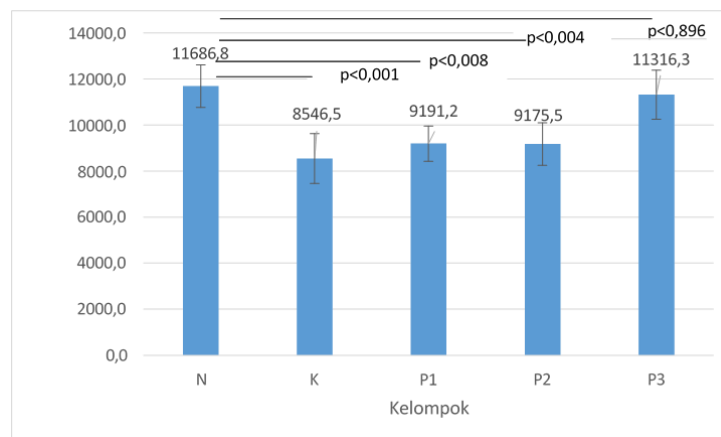
grup normal dibandingkan dengan grup perlakuan 2 dan perlakuan 3 memiliki nilai $p\text{-value} > 0,05$ yang mengindikasikan tidak ada perbedaan signifikan. Tidak terdapat perbedaan signifikan (nilai $p > 0,05$) antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan 1 dalam hal perbandingan, namun terdapat perbedaan signifikan (nilai $p < 0,05$) antara kelompok kontrol dan perlakuan 2 serta perlakuan 3.

Analisis Kadar Hormon Testosteron

Data konsentrasi testosteron tidak terdistribusi secara normal, oleh karena itu uji Kruskal-Wallis non-parametrik digunakan untuk analisis perbandingan. Pada Tabel 5, terdapat hasil uji Kruskal-Wallis.

Tabel 5. Hasil Uji Kruskal Wallis Kadar Testosteron (ng/ml)

Variabel	Kelompok	Rerata (ng/mL)	SD	P-value
Kadar testosteron (ng/ml)	Normal			<0,001
	Kontrol			
	Perlakuan 1			
	Perlakuan 2	9983,2	1565,8	
	Perlakuan 3			



Gambar 3. Rerata Kadar Testosteron Tikus.

Hasil analisis uji *Kruskal-Wallis* menampilkan nilai $p < 0,01$ yang mengindikasikan adanya pengaruh paparan radiasi elektromagnetik dan pemberian sekat CFRP terhadap konsentrasi testosteron. Grup N berfungsi sebagai referensi kondisi normal tanpa perlakuan. Hasil rata-rata konsentrasi testosteron juga divisualisasikan pada diagram batang yang tertera pada gambar 3. Mengingat uji tersebut menampilkan perbedaan signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji *post hoc Dunn*.

Uji statistik *post hoc Dunn* mengungkapkan bahwa konsentrasi testosteron pada grup normal

dibandingkan grup kontrol, perlakuan 1, dan perlakuan 2 memiliki nilai $p\text{-value} < 0,05$ yang menunjukkan perbedaan signifikan, sementara grup normal dan grup perlakuan 3 memiliki nilai $p\text{-value} > 0,05$ yang mengindikasikan tidak ada perbedaan signifikan. Secara statistik, tidak ada perubahan yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan 1 dan 2 (nilai $p > 0,05$), namun terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dan perlakuan 3 (nilai $p < 0,05$).

PEMBAHASAN

Jumlah Sel Leydig

Evaluasi terhadap populasi sel Leydig menjadi indikator signifikan dalam mengidentifikasi kondisi jaringan testikular, terutama berkaitan dengan produksi hormon androgen seperti testosteron ketika jaringan tersebut mengalami eksposur medan elektromagnetik. Temuan investigasi ini menunjukkan bahwa rata-rata populasi sel Leydig pada kelompok kontrol menampilkan nilai yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan kelompok normal maupun kelompok perlakuan (P1, P2, dan P3) yang mendapatkan proteksi melalui pemberian *shielding* Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) dengan variasi 1, 2, dan 4 lapisan. Meskipun demikian, analisis *post hoc* mengindikasikan bahwa kelompok P1 dengan satu lapis *shielding* CFRP tidak memperlihatkan perbedaan statistik yang signifikan terhadap kelompok kontrol.

Reduksi rata-rata populasi sel Leydig pada kelompok K dapat diatribusikan kepada dampak eksposur radiasi elektromagnetik

yang berperan sebagai agen perusak jaringan. Konsekuensi dari paparan radiasi elektromagnetik mencakup eskalasi pembentukan radikal bebas disertai deplesi antioksidan endogen. Sel Leydig dikenal memiliki sensitivitas tinggi terhadap *Reactive Oxygen Species* (ROS) atau radikal bebas. Penurunan kuantitas sel Leydig dapat dipicu oleh berbagai faktor, dengan paparan radikal bebas sebagai salah satu pemicu utama. Radikal bebas yang terbentuk melalui mekanisme rantai transpor elektron memicu terjadinya peroksidasi lipid pada membran seluler, yang selanjutnya mengakibatkan kerusakan struktural protein, lipid, dan asam deoksiribonukleat (DNA) penyusun membran, berujung pada apoptosis sel (Sesva et al., 2017). Proses apoptosis inilah yang mengakibatkan deplesi populasi sel Leydig pada kelompok kontrol.

Temuan penelitian ini sejalan dengan temuan (Gautam et al., 2019) yang mengkonfirmasi bahwa paparan radiasi elektromagnetik 2100 MHz selama 2 jam setiap hari selama 45 hari pada hewan percobaan meningkatkan stres oksidatif,

mengubah ukuran tubulus seminiferus, dan menurunkan jumlah sel spermatogenik. Aplikasi *shielding* sebagai proteksi radiasi elektromagnetik telah diimplementasikan oleh (Farindra et al., 2017) menggunakan aluminium foil pada tikus Wistar yang terpapar radiasi elektromagnetik 2100 MHz selama 4 jam per hari dalam periode 60 hari, dengan hasil menunjukkan bahwa aluminium foil mampu mereduksi stres oksidatif akibat eksposur radiasi elektromagnetik. Penelitian ini sejalan dengan temuan (Munalli et al., 2019) yang mendemonstrasikan bahwa efektivitas *shielding* CFRP dengan 2 lapisan mampu memberikan proteksi lebih dari 99,999% terhadap radiasi elektromagnetik, sedangkan penggunaan 4 lapisan menawarkan proteksi melebihi 99,99999%.

Pemberian *shielding* CFRP memberikan pengaruh substansial terhadap luaran penelitian ini. Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) memiliki mekanisme operasional dimana ketika gelombang elektromagnetik berinteraksi, sebagian energi gelombang tersebut mengalami refleksi pada permukaan *shielding* akibat disparitas impedansi atau resistansi aliran antara gelombang datang dan penyekat CFRP. Istilah untuk proses ini adalah *reflection loss*, dan bergantung pada konduktivitas listrik dan permeabilitas bahan isolasi. Proses kedua, *absorption loss*, melibatkan volume zat yang menyerap sebagian energi gelombang. Medan listrik dan magnet gelombang elektromagnetik terpisah karena *absorption loss*, yang merupakan energi termal yang dihasilkan di dalam pelindung. Selain itu, sepertiga porsi dari radiasi elektromagnetik mengalami atenuasi melalui mekanisme ketiga

yaitu *multiple reflections* yang terjadi pada berbagai permukaan atau antarmuka dalam *shielding*. Gelombang yang dipantulkan pada batas kedua dan seterusnya akan kembali ke batas pertama dan mengalami refleksi berulang hingga amplitudo medan secara gradual mengalami penurunan yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB) (Munalli et al., 2019). Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan jumlah lapisan *shielding* CFRP dapat meningkatkan konsentrasi testosteron dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Kadar Testosteron

Konsentrasi testosteron pada subjek penelitian ini ditentukan menggunakan metode *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA). Berdasarkan hasil pemeriksaan konsentrasi testosteron, investigasi ini menemukan bahwa kelompok kontrol menampilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan kelompok normal dan kelompok perlakuan (P1, P2, dan P3), terbukti dari rata-rata konsentrasi testosteron yang lebih tinggi pada kelompok normal, P1, P2, dan P3 yang mendapatkan eksposur radiasi elektromagnetik dengan pemberian proteksi *shielding* CFRP 1, 2, dan 4 lapisan. Namun demikian, kelompok P1 dan P2 yang menerima 1 dan 2 lapisan *shielding* CFRP tidak menunjukkan diferensiasi statistik yang bermakna dengan kelompok kontrol berdasarkan hasil analisis *post hoc*.

Depleksi konsentrasi testosteron pada kelompok kontrol disebabkan oleh eskalasi pembentukan radikal bebas yang diinduksi oleh radiasi elektromagnetik. Peroksidasi lipid dapat terjadi akibat interaksi radikal bebas dengan berbagai molekul yang menyebabkan produksi lebih banyak radikal bebas dalam rantai oksidatif yang mematikan. Proses ini berlangsung melalui mekanisme reaksi

rantai radikal bebas terhadap lipid khususnya *Polyunsaturated Fatty Acids* (PUFA), karena memiliki kandungan ikatan ganda yang tinggi diantara molekulnya dimana terletak grup metilin-CH₂ yang secara spesifik bereaksi terhadap hidrogen (Eberhardt, 2001). Diketahui bahwa 95% testosteron diproduksi oleh sel Leydig. Radikal bebas yang terbentuk akan menyebabkan inhibisi sintesis asam nukleat dan protein di dalam sel Leydig sehingga menghambat sekresi *Luteinizing Hormone* (LH) di hipofisis anterior yang berfungsi menstimulasi pertumbuhan dan kuantitas sel Leydig. Defisiensi stimulasi LH pada sel Leydig mengakibatkan penurunan sekresi hormon testosteron (Sesva et al., 2017).

Temuan dari penelitian ini sejalan dengan temuan dari (Darbandi et al., 2018), yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ROS dikaitkan dengan peningkatan risiko infertilitas. Sederhananya, *Reactive Oxygen Species* (ROS) mengganggu keseimbangan hormon yang mengontrol bagaimana seorang pria memproduksi sperma dan menghasilkan sel telur. Studi ilmiah telah menunjukkan bahwa radiasi elektromagnetik antara 900 dan 1800 MHz, yang diterapkan pada tikus selama 60 menit setiap hari selama 60 hari, menyebabkan degenerasi vakuolar, nekrosis parah, deskuamasi epitel tubulus seminiferus, dan menginduksi apoptosis sel spermatogenik. Efek ini menyebabkan penurunan populasi sel Leydig dan konsentrasi testosteron (Hess & Hermo, 2018). Korelasi antara jumlah lapisan *shielding* CFRP dengan proteksi radiasi elektromagnetik sesuai dengan penelitian yang dijalankan oleh (Munalli et al., 2019) dengan pemberian 4 lapisan yang terbukti

memperoleh nilai efektivitas *shielding* dengan rentang frekuensi hingga 450 MHz, dibandingkan dengan pemberian 1 lapisan yang hanya mencapai 30 MHz. Hal ini disebabkan karena resistivitas atau tahanan jenis *carbon fibre* yang rendah membuat komposit berperan seperti konduktor (Munalli et al., 2019).

Fenomena ini dimungkinkan karena CFRP memiliki karakteristik *reflection loss* yang dapat memantulkan medan elektrik dari gelombang elektromagnetik, dan memiliki sifat *absorption loss* yang dapat melemahkan medan elektrik dan medan magnetik (Munalli et al., 2019). Selain CFRP, beberapa jenis material pelindung radiasi elektromagnetik lainnya dapat digunakan untuk melindungi tubuh. Material umum untuk melindungi diri dari radiasi elektromagnetik adalah aluminium foil. Selain fitur-fitur bermanfaat lainnya, aluminium foil dapat menyerap dan memantulkan radiasi elektromagnetik, sehingga mengurangi efek berbahayanya. Meskipun hanya medan listrik yang dapat ditahan oleh aluminium foil, medan magnet dapat dengan mudah menembusnya (Farindra et al., 2017). Karena toksisitasnya, senyawa timbal memiliki keterbatasan dalam hal peredaman radiasi elektromagnetik (Castillo, Toledo, Magnere, & Bolados, 2021).

Analisis data SPSS untuk populasi sel Leydig dan konsentrasi testosteron menghasilkan temuan yang berbeda dalam percobaan ini. Kelompok P2 dan P3, yang masing-masing dilindungi dengan 2 dan 4 lapisan, menunjukkan populasi sel Leydig yang berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol. Namun, hanya kelompok P3 yang menunjukkan perubahan signifikan pada konsentrasi testosteron dibandingkan dengan kelompok kontrol. Penurunan populasi sel Leydig hanyalah salah satu dari banyak proses yang berkontribusi pada

penurunan konsentrasi testosteron, itulah sebabnya fenomena ini terjadi.

Berbagai macam faktor yang mempengaruhi konsentrasi testosteron antara lain status nutrisi, lingkungan, penyakit, dan paparan radiasi. Pada status nutrisi, obesitas merupakan salah satu faktor terpenting dalam penurunan konsentrasi testosteron. Obesitas meningkatkan transformasi dan produksi glukokortikoid, yang akan mengganggu regulasi aksis hipotalamus-pituitari-adrenal, sehingga mekanisme *feedback* tidak berlangsung dengan optimal. Obesitas juga menyebabkan peningkatan sel adiposa, yang mensekresikan enzim aromatase dan mengubah testosteron menjadi estradiol, kebalikan dari rasio normal 50:1 (Sudirman, 2020).

Polutan kimia, psikologis, dan perilaku semuanya merupakan variabel lingkungan yang berkontribusi terhadap defisiensi testosteron. Penggunaan bahan kimia estrogenik dalam pertanian, manufaktur, dan produk rumah tangga adalah sumber umum kontaminasi kimia. Misalnya, stres dan polusi suara adalah contoh polutan psikologis. Pola makan dan penggunaan rokok adalah dua contoh pengaruh gaya hidup.

Terdapat korelasi antara kadar testosteron dengan *diabetes melitus* dan hipertensi. Poros hipotalamus-hipofisis-adrenal terganggu ketika terjadi ketidakseimbangan kadar glukosa darah, yang terkait dengan pembentukan dan metabolisme glukokortikoid. Selain itu, insulin memengaruhi sintesis dan kontrol testosteron. Peningkatan tekanan darah berpengaruh negatif terhadap *clearance* steroidogenesis dengan melibatkan gen *Natriuretic Peptide Receptor A* yang berkorelasi dengan tekanan darah tinggi dan sirkulasi

testosteron yang rendah (Sudirman, 2020).

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa paparan radiasi elektromagnetik telepon selular 1800 MHz selama 2 jam per hari dalam 30 hari menyebabkan penurunan signifikan jumlah sel Leydig dan kadar testosteron pada tikus Wistar jantan. Kelompok kontrol yang terpapar radiasi tanpa proteksi menunjukkan rata-rata jumlah sel Leydig terendah (16,33 sel) dan kadar testosteron terendah (8546,5 ng/ml) dibandingkan kelompok normal. Pemberian shielding Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) terbukti memberikan efek protektif terhadap kerusakan jaringan testis akibat radiasi elektromagnetik. Efektivitas proteksi meningkat seiring penambahan jumlah lapisan CFRP, dimana shielding 2 lapisan dan 4 lapisan menunjukkan perbedaan signifikan pada jumlah sel Leydig dibandingkan kelompok kontrol, sementara hanya shielding 4 lapisan yang menunjukkan perbedaan signifikan pada kadar testosteron. Mekanisme proteksi CFRP bekerja melalui reflection loss, absorption loss, dan multiple reflections yang secara efektif meredam gelombang elektromagnetik, sehingga mengurangi stres oksidatif dan pembentukan radikal bebas yang dapat menginduksi apoptosis sel Leydig.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan variasi durasi paparan yang lebih panjang dan pengamatan efek jangka panjang untuk mengevaluasi dampak kumulatif radiasi elektromagnetik terhadap fungsi reproduksi. Perlu dilakukan investigasi lebih mendalam terhadap mekanisme molekuler kerusakan sel Leydig dengan mengukur parameter

stres oksidatif seperti kadar malondialdehyde (MDA) dan aktivitas enzim antioksidan endogen. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi efektivitas material shielding alternatif atau kombinasi material untuk memperoleh proteksi optimal dengan mempertimbangkan aspek praktis dan ekonomis. Diperlukan kajian aplikasi praktis penggunaan CFRP sebagai material pelindung pada casing telepon selular atau perangkat elektronik lainnya. Edukasi kepada masyarakat mengenai bahaya paparan radiasi elektromagnetik dan pentingnya penggunaan proteksi perlu ditingkatkan. Penelitian epidemiologi pada manusia juga diperlukan untuk memvalidasi temuan eksperimental ini dan mengembangkan rekomendasi kesehatan masyarakat yang evidence-based terkait penggunaan telepon selular yang aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A., Prabakaran, S. A., & Said, T. M. 2005. Prevention of oxidative stres injury to sperm. *J Androl.* 26(6):654-657
- Aladamat, N., & P, Tadi. (2022). *Histology, Leydig Cells. StatPearls Publishing; Available From.* Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556007/>
- Alfarizi, P., Imansyah, F., Suryadi, D., Yacoub, R. R., & Marpaung, J. 2021. Identifikasi Pengukuran Intensitas Radiasi Medan Elektromagnetik Pada Smartphone dan Tingkat Batas Aman Terhadap Tubuh Manusia. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.* 2(1): 1-8.
- Anies. 2007. Mengatasi Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Radiasi Elektromagnetik dengan Manajemen Berbasis Lingkungan. *Diponegoro University Press; 9*
- Armutcu, F., Akyol, S., Ustunsoy, S., & Turan, F. 2015. Therapeutic Potential of Caffeic Acid Phenethyl Ester and its Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Effects. *Experimental and Therapeutic Medicine.* 9(5):1582-88
- Badan Pusat Statistik. (2016). *Komunikasi.* Retrieved from <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis%0A/view/id/1844>
- Castillo, A. A. D., Toledo, E. A., Magnere, S. M., & Bolados, H. A. (2021). A Brief Review on The High-Energy Electromagnetic Radiation-Shielding Materials Based on Polymer Nanocomposites. *Int J Mol Sci,* 22(16), 9079.
- Darbandi, M., Darbandi, S., Agarwal, A., Sengupta, P., Durairajanayagam, D., Henkel, R., & Sadeghi, M. R. (2018). Reactive oxygen species and male reproductive hormones. *Reproductive Biology and Endocrinology: RB&E,* 16(1).
- Dharmawan D., Kalanjati, V., & Abdurachman, A. 2020. Pengaruh Shielding Aluminium Foil Terhadap Perubahan Ketebalan Lapisan Epitel Kornea Akibat Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Pada Tikus Wistar Jantan. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan : Publikasi Ilmiah Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya.* 7(2): 55-59
- Eberhardt, M. K. (2001). Reactive Oxygen Metabolites: Chemistry and Medical Consequences. *Boca Raton: CRC Press,* 2(1), 303-365.
- Farindra, I., Kalanjati, V. P., & Tirthaningsih, N. W. (2017). The Effect of Aluminium Foil Shielding in Hampering Electromagnetic Radiation Emitted from A Mobile Phone as an Oxidative Stresor in

- The Cerebra of Adult Male Rats. In: *Proceedings of the Surabaya International Physiology Seminar*, 154-8.
- Fitria, L., Mulyati, M., Tiraya, C., & Budi, A. (2015). Profil Reproduksi Jantan Tikus (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769) Galur Wistar Stadia Muda, Pradewasa, dan Dewasa. *Jurnal Biolgo Papua*, 29-36.
- Gautam, R., Singh, K. V, Nirala, J., Murmu, N. N., Meena, R., & Rajamani, P. (2019). Oxidative stress-mediated alterations on sperm parameters in male Wistar rats exposed to 3G mobile phone radiation. *Andrologia*, 51(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/AND.13201>
- Haq, N.A., Sungkono., & Simbolon, L. 2021. Analisa Paparan *Radio Frequency Radiation* (RFR) dari Radar Pertahanan TNI AU Terhadap Personel Pengawak Radar Berdasarkan Standar International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection. *Jurnal Teknologi Penginderaan*. 3(1):3-6
- Hess, R. A., & Hermo, L. (2018). Rete testis: Structure, cell biology and site for stem cell transplantation. *Academic Press:Elsevier*, 2(47), 263-269.
- Hoesada, I., Nasihun, T., & Isradji, I. (2016). Efektivitas Propolis Ekstrak Terhadap kadar MDA dan kualitas sperma yang diberi paparan asap rokok. *Sains Med*, 7(1), 9-14.
- Kominfo. (2015). Penataan 4G LTE di Frekuensi 1800 MHz Tuntas. *Kominfo*.
- Munalli, D., Dimitrakis, G., Chronopoulos, D., Greedy, S., & Long, A. (2019). Electromagnetic shielding effectiveness of carbon fibre reinforced composites. *Compos B Eng*, 173, 106906.
- Pratama, A., Jumingin, J., & Atina, A. 2021. Pengukuran Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler Berdasarkan Tipe Telepon. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*. 3(1):19-23
- Rahmadiani, D. (2021). Efek Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Kualitas Sperma. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 3(1), 71-80.
- Riris, A. A., Reny, I., & Siti, K. (2020). Potensi Ekstrak Solanum Betaceum Sebagai Agen Protektif Sel Leydig pada Mencit yang Dipapar Timbal Asetat. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 11, 73-77.
- Roseane, M. V. 2015. Pengaruh Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Jumlah Dan Motilitas Spermatozoa Tikus Putih Jantan (*Rattus Norvegicus*) Galur Sprague Dawley. *Medical Journal of Lampung University*. 4(9):1-5
- Septania, R., Nugroho, T. A., & Yulius. (2013). Strategi Refarming Frekuensi 1800 MHz Untuk Implementasi LTE di Indonesia. *Jurnal Telematika*, 8(2), 26-31.
- Sesva, D. M., Wahyuni, S., & Armansyah. (2017). Decrease on the number of Leydig and Sertoli cells in Rats (*Rattus Norvegicus*) Wistar Strain after Formaldehyde Administration. *TJIMVET1*, 1(2), 203-209.
- Sivani, S., & Sudarsanam, D. 2012. Impacts of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wireless devices on biosystem and ecosystem-a review. *Biology and Medicine*. 4(4):202-16.
- Sudirman, A. W. (2020). Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Genggam Terhadap Perkembangan Sperma. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*,

- 9(2), 708-712.
- Sugiyono. (2013). Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif dan R&D. *Bandung: Alfabeta*, 19, 73-77.
- Suryohudoyo, P. (2000). Ilmu Kedokteran Molekuler: Kapita Selekta. *Jakarta: Sagung Seto*, 129.
- Swamardika, I. B. A. 2009. Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*. 8(1):1-4.
- Tarigan, T. R. P., Gani, U. A., & Rajagukguk, M. 2013. Studi Tingkat Radiasi Medan Elektromagnetik Yang Ditimbulkan Oleh Telepon Seluler. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*. 1(1)
- United Nations. (2024). The 17 Goals | Sustainable Development [Internet]. [Cited 2024 Feb 1]. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>
- Winarsi, H. 2007. Antioksidan Alami dan Radikal Bebas. *Yogyakarta: Kanisius*. 281