

Tinjauan Literatur: Potensi Pemanfaatan Medan Magnet ELF dalam Terapi Kanker

Friska Rindiani^{*1}, Anindia Putri², Verina Dwisari³, Sudarti⁴, Firdha Kusuma Ayu Anggraeni⁵

^{1,2,3,4,5}Pendidikan fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember, Indonesia

e-mail : friskarindiani478@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya penggunaan teknologi dan elektronik, paparan radiasi elektromagnetik, seperti ELF), dapat menjadi masalah. Penelitian telah menunjukkan bahwa radiasi ELF mempunyai efek non-termal pada sistem biologis manusia. Tujuan penelitian ini adalah mengulas pengaruh medan magnet ELF dalam pengobatan kanker. Metode penelitian yang digunakan adalah metode article review dengan jumlah 30 artikel hasil penelitian yang relevan mulai dari tahun 2019 sampai 2023. Melalui hasil penelitian artikel tersebut atau tinjauan literatur baru-baru ini, terapi radiasi menggunakan sinar-X, sejenis radiasi dengan daya leleh tinggi, terbukti efektif dalam pengobatan kanker. Namun pengobatan ini dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan sehat. Oleh karena itu, penggunaan medan magnet ELF dalam pengobatan kanker merupakan cara yang baik untuk mengurangi efek terapi radiasi. Oleh karena itu, meskipun banyak penelitian yang masih dilakukan, potensi terapi medan magnet ELF untuk pengobatan kanker masih menjanjikan. Dengan terus mendorong penelitian dan inovasi di bidang ini, kami dapat memberikan solusi baru yang dapat meningkatkan prognosis dan kualitas hidup pasien kanker di masa depan. Namun, diperlukan lebih banyak penelitian untuk memahami sepenuhnya efektivitas dan potensi penggunaan medan magnet ELF untuk pengobatan kanker.

Kata Kunci—Extremely Low Frequency (ELF), Kanker, dan Terapi

1. PENDAHULUAN

Gelombang yang tetap merambat tanpa adanya medan magnet sebagai perantaranya disebut gelombang elektromagnetik. Peristiwa radiasi terjadi ketika gelombang elektromagnetik menyebar tanpa memerlukan perantara (Hindiyati & Sudarti, 2023). Komponen-komponen dari gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet. Karakteristik yang dimiliki oleh keduanya memenuhi standar yang berbeda (Sulistiyowati et al., 2024). Medan listrik memiliki karakteristik terhalangi, artinya jika terhalang oleh suatu benda Akibatnya, intensitas medan listrik akan berkurang. Sementara itu, medan magnet memiliki sifat yang tidak terhalangi, sehingga dapat menembus materi dengan mudah dan mampu mentransfer energi dalam jumlah yang sangat kecil (Elsavana, et al., 2022).

Energi yang dilepaskan ketika gaya listrik dan magnet bergabung dikenal sebagai radiasi elektromagnetik. Selalu ada resiko radiasi medan elektromagnetik dari lingkungan sekitar. Matahari dan bumi merupakan sumber gelombang elektromagnetik yang menghasilkan spektrum gelombang yang meliputi Gelombang mikro, gelombang radio, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma merupakan jenis-jenis gelombang elektromagnetik. Medan elektromagnetik mencakup berbagai frekuensi, dari rendah hingga tinggi. Berdasarkan frekuensinya, medan elektromagnetik dibagi menjadi tiga kategori: frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi. Frekuensi rendah meliputi rentang dari 0 hingga 300 Hz, frekuensi sedang memiliki frekuensi sebesar 300 Hz - 100 KHz, dan frekuensi tinggi memiliki frekuensi sebesar 100 KHz - 300 GHz (Fuad et al., 2018). Radiasi elektromagnetik yang memiliki frekuensi 30-300 Hz disebut dengan Extremely Low Frequency (ELF). Karena tidak mampu mengionisasi suatu material, radiasi ELF tergolong dalam salah satu radiasi non-ionisasi (Wismaya & Sugianto, 2022). Saat berinteraksi dengan sistem lain, radiasi ELF diketahui mempunyai efek non-termal (Ariyani et al., 2019).

Radiasi elektromagnetik, atau radiasi ELF merupakan emisi energi yang terdiri dari kombinasi medan listrik dan medan magnet. Paparan radiasi medan elektromagnetik selalu ada di sekitar kita (Sinuraya et al., 2023). Radiasi gelombang elektromagnetik memiliki spektrum yang luas, mulai dari frekuensi rendah hingga

frekuensi tinggi, seperti sinar gamma (Listyo Wati & Ineke Ferdianti, 2023). Memiliki panjang gelombang yang sangat panjang serta frekuensi yang sangat rendah. Eksposur terhadap radiasi medan elektromagnetik telah meningkat selama abad ke-20 seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan kemajuan teknologi. Medan magnet dan listrik bergabung membentuk medan yang dikenal sebagai radiasi elektromagnetik, atau ELF. ELF menghasilkan medan listrik dasar yang dilemahkan oleh berbagai material. Dimana sumber saluran listrik, jaringan distribusi listrik tegangan tinggi, dan peralatan listrik menghasilkan radiasi ELF. Sistem tenaga listrik adalah salah satu sumber di mana seseorang dapat terkena radiasi elektromagnetik. Di mana sumber tegangan dan saluran listrik yang menciptakan medan magnet ELF eksternal dapat mempengaruhi sistem biologis di sekitar manusia (Wismaya & Sugianto, 2022). Peningkatan penggunaan listrik dalam berbagai aspek kehidupan manusia menyebabkan meningkatnya radiasi elektromagnetik, khususnya intensitas paparan medan magnet ELF. Di Indonesia, medan magnet ELF ini memiliki frekuensi hingga 300 Hz (Suhatin et al., 2017).

Energi medan magnet sangat rendah sehingga menghasilkan efek non-termal, artinya pada saat berinteraksi atau menginduksi tidak terjadi perubahan suhu (Rahman & Sudarti, 2021). (Medan magnet ELF termasuk dalam kategori radiasi non-pengion karena frekuensinya yang sangat rendah, yaitu kurang dari 300 Hz. Medan elektromagnetik frekuensi sangat rendah (ELF) memiliki beberapa potensi efek, termasuk pada kesehatan manusia (Setiani et al., 2023). Radiasi non pengion ini merupakan julukan untuk radiasi elektromagnetik yang memiliki energi sangat kecil sehingga tidak cukup untuk melakukan ionisasi. Radiasi infra merah dan radiasi gelombang mikro merupakan contoh dari radiasi non pengion (Ramadhani *et al.*, 2022). Karakteristik yang dimiliki oleh gelombang elektromagnetik ELF adalah termasuk dalam radiasi non pengion, termasuk kedalam spektrum Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi antara 0 hingga 300 Hz tidak dapat terhalang oleh material biasa. Gelombang ini melibatkan perangkat berarus lemah yang sering digunakan dalam aktivitas sehari-hari dan dapat diukur secara terpisah karena dapat berfungsi secara independen satu sama lain (Azizah *et al.*, 2022). Banyak makhluk hidup yang selalu bersentuhan langsung dengan medan magnet yang terdapat di alam. Paparan radiasi medan magnet di lingkungan rumah tangga masih menjadi perhatian karena potensi dampaknya dalam berbagai kegiatan. Paparan medan magnet dapat terjadi tidak hanya pada kabel listrik yang sedang mengalir arus, tetapi juga di sekitar perangkat yang sedang beroperasi (Dwi Cahyono et al., 2023). Para peneliti di negara-negara maju telah melakukan beberapa percobaan laboratorium untuk menyelidiki dampak kesehatan dari medan elektromagnetik frekuensi rendah (ELF). Sejumlah variabel telah diuji dengan frekuensi berbeda yang dihasilkan oleh energi magnet dan listrik. Temuan percobaan tersebut memberikan beberapa bukti bahwa berada di sekitar medan magnet ELF berpengaruh pada kesehatan seseorang.

Kanker adalah salah satu penyakit yang paling serius dan mematikan di dunia, dapat mempengaruhi individu dari segala rentang usia, mulai dari anak-anak, remaja, hingga orang dewasa yang lebih tua (Pramiasti et al., 2022). Kanker adalah penyakit yang disebabkan karena pembelahan dan pertumbuhan sel yang tidak dapat dikontrol pada waktu dan tempat yang tidak sesuai (Guspratiwi, 2023). Kanker menjadi isu kesehatan global yang serius, dengan tingkat kematian yang bervariasi dan meluas di seluruh dunia (Risnah *et al.*, 2022). Pada tahun 2018, jumlah kasus baru kanker mencapai 18,1 juta, dengan 9,6 juta kematian yang disebabkan oleh penyakit ini di seluruh dunia. Adanya data tersebut menggambarkan pentingnya pelayanan pengobatan dan peningkatan pencegahan Untuk mengurangi jumlah kematian akibat kanker, langkah-langkah pencegahan dan penanganan penyakit ini perlu ditingkatkan (Puspitasari dan Waluyo, 2022). Meski telah mencapai banyak kemajuan dalam proses diagnosis dan pengobatan kanker, masih banyak tantangan yang harus diselesaikan, terutama pengembangan pengobatan lebih efektif dengan dampak lebih kecil terhadap pasien. Salah satu bidang penelitian menyarankan penggunaan medan magnet yang sangat rendah (ELF) sebagai pilihan. Gelombang magnetik ELF, yang memiliki frekuensi kurang dari 300 Hz, mendapatkan perhatian sebagai cara untuk mencegah pertumbuhan kanker dan meningkatkan respons terhadap pengobatan saat ini. Dengan mengkaji dan menganalisis literatur yang relevan, kami berharap tinjauan ini tidak hanya memberikan wawasan penting mengenai pengembangan pengobatan kanker baru dan mengubah paradigma, namun juga mendorong penelitian lebih lanjut di bidang yang bermanfaat ini.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini memanfaatkan pendekatan studi pustaka, yang melibatkan analisis hasil dari berbagai informasi konseptual dan data kuantitatif serta kualitatif dari artikel ilmiah yang telah dipublikasikan sebelumnya pencarian yaitu “Extremely Low Frequency (ELF)”, “cancer” dan “Terapi”. Kriteria inklusi dari artikel yang dipergunakan yaitu artikel penelitian Ada tahapan dalam penelitian kajian Pustaka ini, yang pertama yaitu mencari dan menyiapkan pustaka berupa sumber dari artikel maupun buku, metode ini disebut *sourcing*. Bahan pustaka yang telah dikumpulkan dari berbagai referensi dianalisis secara kritis dan memerlukan penelitian lebih lanjut guna mendukung saran dan gagasan yang diajukan. Penelusuran literatur dibatasi mulai dari tahun 2020-2024 dalam Jurnal dalam Indonesia maupun Internasional. Total artikel yang didapat setelah pencarian sebanyak 30, namun hanya terdapat 6 artikel yang dipergunakan dalam artikel ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan review independen terhadap judul dan abstrak yang memenuhi kriteria, kami berhasil memperoleh teks lengkap. Dalam bagian ini, kami akan menguraikan hasil temuan kami serta memberikan pembahasan yang relevan terkait dengan potensi pemanfaatan medan magnet ELF dalam terapi kanker. Dengan mereview data dari berbagai sumber kami berharap dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang topik ini.

Tabel 1. Penelitian Potensi Gelombang Elektromagnetik ELF Terhadap Terapi Kanker

Author	Tahun	Intensitas
Nurhayati, <i>et al.</i>	2020	Radioterapi sudah ada menjadi salah satu terapi penting dalam pengobatan kanker di Indonesia. Semakin banyaknya dan berkembangnya radioterapi, fasilitas tersebut diharapkan dapat menurunkan prevalensi penyakit kanker di Indonesia.
Mansoury, F., N et al.	2022	Efek dari ELF-MF yang berbeda pada viabilitas sel dan tingkat ekspresi target mamalia pada fibroblas normal dan garis sel adenokarsinoma lambung (AGS) manusia. Paparan medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF-MF) digunakan sebagai terapi tumor yang memberikan beberapa keuntungan potensial.
Zabaleta, M, A <i>et al.</i>	2023	Efek paparan in vitro terhadap ELF-MF 50 Hz hingga 24 jam terhadap viabilitas dan respons seluler lini sel kanker payudara MDA-MB-231 dan MCF-7 serta lini sel payudara MCF-10A. Efeknya terlihat jelas setelah 96 jam dan berhubungan dengan waktu pemaparan ELF-MF.
Luffianti, L. N et al.	2023	Paparan radiasi gamma dapat menyebabkan maag, dan dapat menyebabkan berkembangnya sel kanker. Proses pengobatan ini tidak hanya mempengaruhi sel kanker target tetapi juga menghasilkan sel normal. Karena ledakan terjadi dipusat radiasi jaringan, ledakan harus dilakukan secara berkala untuk menjaga stabilitas keluaran radiasi.
Sudarti <i>et al.</i>	2024	Paparan ELF MF intensitas 100 μT selama 30 hari berpotensi menyebabkan anemia pada mencit BULB/c, namun tampaknya terdapat respon adaptif akibat paparan ELF MF 500 μT .
Wijaya, AP <i>et al.</i>	2024	Efikasi base plate Orfit pada pasien rawan kanker payudara menggunakan teknologi Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) di fasilitas radioterapi RSUD Jakarta Timur, kami menyimpulkan bahwa penggunaan teknologi ini dapat dilakukan secara efektif.

Meskipun batas paparan ini ditetapkan sebagai tindakan pencegahan, beberapa efek biologi ELM-MF dengan kerapatan fluks magnet dalam kisaran legal. Studi in Vitro proliferasi sel kanker yang diinduksi ELF-EMF telah melaporkan hasil bertentangan. Beberapa penelitian telah menunjukkan peningkatan proliferasi sel

ganas dan sel normal setelah terpapar ELF-MF. Dalam hal ini, Wolf et al. menunjukkan bahwa paparan sel leukemia HL-60 dan fibroblas tikus pada frekuensi 50 Hz (0,5-1,0 mT) ELF-MF menghambat proliferasi dan kerusakan DNA dengan cara radikal bebas. Dampak dan Waktu lebih lanjut, Falone dkk. melaporkan bahwa ELF-MF 50 Hz (1,0 mT) memberikan keuntungan pada kelangsungan hidup sel kanker melalui aktivasi sistem pertahanan antioksidan dan detoksifikasi, sehingga memberikan resistensi obat yang signifikan pada sel. Ada juga peningkatan minat dalam menggunakan medan elektromagnetik sebagai pengobatan medis atau kanker. ELF-MF telah terbukti meningkatkan penyembuhan luka dan meningkatkan pemulihan muskuloskeletal dan mempengaruhi pertumbuhan tumor.

Paparan medan elektromagnetik, kumparan Helmholtz berbentuk persegi dan generator arus listrik digunakan sebagai sistem pemaparan. Sistem ini dirancang dan diproduksi sendiri untuk menghasilkan ELF-MF 50 Hz yang cocok untuk paparan sel dalam inkubator sel. Mengingat sifat isolasi inkubator sel, kumparan Helmholtz dirancang untuk menghasilkan suhu rendah. Ketebalan kawat tembaga pada kumparan dipilih sehingga rugi daya sebesar 8 watt. Panjang bagian dalam kumparan adalah 34 cm. ELF-MF yang diproduksi oleh generator telah diverifikasi dalam penganalisis ELF-MF profesional (EFA-300, Wandel & Goltermann, Jerman). Sel yang terpapar ELF-MF 50 Hz (0,1 dan 1,0 mT) diinkubasi dengan tabung Helmholtz yang ditempatkan dalam inkubator yang dikontrol suhu dan atmosfer setelah penyemaian (0 jam), ditengah kumparan. Kelompok kontrol ditempatkan dalam inkubator terpisah dan menjalani prosedur yang sama seperti sel percobaan, tetapi tidak terkena ELF-MF 50 Hz. Setelah paparan ELF-MF 50 Hz, sel yang terpapar segera dipindahkan ke inkubator lain (dekat dengan kelompok kontrol) hingga analisis setelah 48, 96, dan 192 jam. kelangsungan hidup sel payudara secara in Vitro dipengaruhi oleh paparan ELF-MF pada kepadatan fluks magnetik yang sesuai dengan batas untuk populasi umum dan untuk paparan di tempat kerja. Efeknya terlihat jelas setelah 96 jam dan terkait dengan waktu pemaparan ELF-MF.

Pengobatan kanker yang menggunakan radiasi dosis tinggi untuk membunuh sel kanker atau mengecilkan tumor dikenal sebagai terapi radiasi, dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik seperti 3DCRT, IMRT, dan VMAT, yang direncanakan oleh ahli onkologi radiasi. Sementara itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengelolaan radioterapi kanker di Rumah Sakit Kanker Dalme dan untuk memastikan apakah model teknologi IMRT digunakan dan untuk mengembangkan rencana radioterapi berdasarkan hasil tersebut. Rumah Sakit Kanker Dalme menggunakan metode observasi, studi dokumenter, dan wawancara dengan ahli onkologi radiasi, ahli fisika medis, dan ahli terapi radiasi. Pesawat linac adalah akselerator partikel yang digunakan untuk membunuh sel tumor dan kanker selama pengobatan dengan terapi radiasi. Pada tahap ini, pasien berkonsultasi dengan ahli onkologi radiasi mengenai penyakitnya, mendiagnosis PA, hasil pemeriksaan tambahan, dan mengevaluasi stadium kanker payudara. Dokter spesialis onkologi radiasi telah memasukkan rencana pengobatan menggunakan teknologi IMRT ke dalam status rekam medis. (Wulandari et al., 2023)

Penyakit kanker dapat menggunakan sinar gamma sebagai radioterapi. Berbagai jenis tumor dan kanker otak dapat diobati dengan menggunakan terapi gamma, seperti meningioma, melanoma, glioblastoma, dan lainnya. Gelombang elektromagnetik yang dikenal sebagai sinar gamma dapat menembus tubuh manusia, karena daya tembus sinar gamma sangat tinggi, sehingga sinar ini banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan terutama tetapi kanker (Adelia et al., 2020). Saat ini pengobatan kanker dengan menggunakan radiasi berkembang pesat. Prinsip radioterapi adalah memberikan dosis tertinggi pada area sel kanker dan dosis terkecil pada area sel sehat. Dosis yang paling rendah mungkin diberikan untuk menjaga jaringan normal dan paparan pasien serta pengawasan setelah prosedur cukup (Handoko et al., 2018). Dosis radioterapi yang tinggi digunakan untuk membunuh sel kanker, tetapi dosis ini terkadang juga dapat merusak sel normal di sekitar area yang diobati. Sehingga hal ini dapat mengurangi prediksi kesembuhan pasien (Darlina et al, 2021). Kerusakan yang terjadi pada jaringan sehat akan hilang dan sembuh secara bertahap selama masa pengobatan, begitupun dengan tumor ganas. Pengobatan yang dapat dilakukan yaitu dengan terapi radiasi setiap hari. Terapi radiasi dapat dilakukan dengan arah yang berbeda dengan pancaran sinar radiasi yang terfokus secara cepat, hal ini bertujuan agar tidak membahayakan pasien. Tumor sasaran akan terkena radiasi dosis sangat tinggi sementara jika metode ini digunakan, jaringan sehat akan terkena radiasi dalam jumlah yang sangat kecil (Dita et al., 2021). Radioterapi tidak dirancang untuk menjangkau seluruh bagian tubuh, sehingga kurang efektif dalam penyembuhan kanker yang sudah menyebar. Radiasi bermanfaat untuk menyembuhkan atau mengecilkan kanker stadium awal, mencegah munculnya kanker lain, serta mengobati gejala kanker stadium lanjut. Pada umumnya, pengobatan terhadap penyakit kanker yaitu untuk menghambat pertumbuhan dan

membunuh sel kanker tersebut. Meskipun demikian, pengobatan ini sebenarnya berpotensi membunuh sel kanker selain sel normal di sekitarnya. Efek samping lain dari penggunaan radioterapi ini yaitu pasien akan mengalami kelelahan dan kulit akan terasa gatal serta memerah setelah beberapa minggu pengobatan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mansoury dkk[1] (2022), menunjukkan bahwa ELF-MF pada MFD 0,25 dan 0,5 mT dapat menurunkan ekspresi *mTOR* dan *hsa circ 100338*. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan yang pesat dalam tingkat ekspresi *mTOR* pada garis sel GC, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai pengobatan untuk kanker lambung. Dimana *mTOR* ini berperan dalam pertumbuhan dan proliferasi sel serta metabolisme dan angiogenesis. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa *hsa circ 100338* dapat menjadi biomarker yang baik untuk diagnosis kanker lambung. Tingkat ekspresi *hsa circ 100338* memiliki hubungan yang positif dengan *mTOR* pada sel tumor setelah terjadinya paparan ELF-MF, sedangkan pengobatan ELF-MF pada sel normal tidak menunjukkan adanya hubungan yang signifikan. Selain interaksi langsung dengan DNS, ELF-EMF dapat mengubah ekspresi gen melalui beberapa mekanisme, termasuk perubahan saluran membran sel seperti saluran kalsium, peningkatan pembentukan dan stabilitas radikal bebas. Secara keseluruhan, penurunan ekspresi *mTOR* dan *hsa circ 100338* serta penurunan viabilitas sel pada sel tumor, setelah pemaparan MFD 0,25 mT dalam penelitian ini, menunjukkan bahwa MFD ini memiliki pengaruh positif yang menguntungkan dan dapat dipertimbangkan sebagai terapi tambahan dalam pengobatan kanker.

Kanker payudara adalah kanker paling umum pada wanita dan merupakan penyebab kematian kedua setelah kanker paru-paru. Ini juga merupakan 25% dari semua kanker. Kanker adalah penyakit yang berpotensi menyebabkan kematian. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengobati kanker. Jenis radiasi elektromagnetik adalah radiasi yang energinya berpindah melalui osilasi medan listrik dan magnet dengan kecepatan cahaya, seperti elektron dan proton yang mengangkut energi dalam bentuk massa bergerak atau energi kinetik. Berkas elektron, proton, dan neutron terdiri dari partikel radiasi, dan metode konvensional yang digunakan hingga saat ini sangat membantu dalam pengobatan tumor di dekat permukaan tubuh karena tidak mentransmisikan energi melalui medan listrik.

Pilihan lain untuk pengobatan kanker payudara saat ini adalah terapi radiasi. Merusak molekul DNA di dalam jaringan target adalah tujuan utama terapi radiasi. Ionisasi langsung dan ionisasi tidak langsung adalah dua jenis kerusakan DNA oleh radiasi pengion. Ionisasi langsung biasanya terjadi oleh radiasi partikel karena energi kinetik partikel dapat merusak struktur atom jaringan hidup yang dilaluinya. Ionisasi tidak langsung biasanya terjadi oleh radiasi elektromagnetik. Radioterapi dapat memiliki efek terapeutik dengan menginduksi kematian sel dalam berbagai cara, seperti apoptosis, autophagy, necrosis, penuaan, dan kematian mitotik. Tetapi dapat disimpulkan bahwa payudara yang menjalani mastektomi dengan radiasi memiliki insiden kumulatif kekambuhan lokal dibandingkan dengan mastektomi tanpa radiasi dan terdapat perbedaan yang signifikan. Pengobatan pasca mastektomi memerlukan radiasi pada kelenjar getah bening aksila dan dinding dada. Jelas mastektomi tanpa radiasi memberikan kontrol lokal yang cukup baik pada sebagian besar pasien dengan stadium I atau IIa, pasien stadium III memiliki kemungkinan kekambuhan lokal yang relatif tinggi setelah mastektomi, sehingga radioterapi dapat bermanfaat bagi kelangsungan hidup dan mengurangi angka kekambuhan.

4. KESIMPULAN

Menurut temuan jurnal yang telah kami tinjau, pemanfaatan Medan Magnet ELF dalam terapi kanker memiliki peran yang cukup bermanfaat. Radiasi dosis tinggi dalam proses pengobatan dapat membunuh sel kanker atau mengecilkan tumor. Penelitian menunjukkan potensi positif Medan Magnet Frekuensi Sangat Rendah (ELF-MF) sebagai terapi tambahan dalam pengobatan kanker, meskipun mekanisme kerjanya masih perlu dipahami lebih lanjut. Tetapi, jaringan sehat juga bisa terpengaruh sehingga bisa menimbulkan efek samping di kemudian hari. Jika metode ini digunakan, tumor sasaran akan terkena radiasi dosis sangat tinggi, sementara jaringan sehat akan terkena radiasi dalam jumlah yang kecil. Radiasi ELF-MF bermanfaat untuk menyembuhkan atau mengecilkan kanker stadium awal, mencegah munculnya kanker lain, serta mengobati gejala kanker stadium lanjut. Akan tetapi, kurang efektif apabila kanker sudah menyebar secara total. Pasien mengalami berbagai efek samping radioterapi setelah perawatan, dengan nyeri, lemas, dan dermatitis di area radioterapi yang paling umum. Efeknya terlihat jelas setelah 96 jam dan terkait dengan waktu pemaparan ELF-MF.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelia, K. A. C., Maulbana, B. M., Boimaul, Y., Ulskelnat, K., Lipikulni, H. F. (2020). Pelngaruhh Pelmbelrian Paparan Radiasi Gamma dan Elkstrak Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana L*) telrhada Kadar SGPT Organ Hati Melncit (*Muls Mulscul uls L*). *Joulrnal for Physics Eldulcation and Applield Physics*. 2(2) : 74
- Ariyani, E., Sudarti, dan S. H. B. P. 2019. Pengaruh Paparan *Extremely Low Frequency Magnetic Field* Terhadap pH Edamame. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 8(3): 132.
- Azizah, M. N., Sudarti, dan S. Bektiarso. 2022. Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* 200 Mt Dan 300 Mt Terhadap Ph Dalam Proses Fermentasi Tempe. *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*. 8(1): 30-33.
- Cahyono, A. D., Sudarti, S., & Prihandono, T. (2023). Analisis radiasi medan magnet peralatan elektronik rumah tangga terhadap kesehatan. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 9(1), 73-78.
- Darlina., Teltriana, D., Rahardjo, T., Kisananto, T., Lulsyanti, Y., Elrawati, D., Rahajelng, N. (2021). Analisis Kelrulsakan DNA Pada Sel Limfosit Pasieln PascaRadiotelrapi. *Juurnal Biotelknologi Dan Biosains Indonelsia*. 8(1), 106-107.
- Dita, Iramanda, S., Aristianingrum, M. A. (2021). Qulality Assulrancel (QA) Dan Qulality Control (QC) Cobalt. *Juurnal Biosains Pascasarjana*. 23(2), 63-64.
- Elsavana, N. I. D., Sudarti, dan T. Prihandono. 2022. Pengawetan Ikan Pindang Layang (*Decapterus russelli*) berbantuan Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)*. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*. 8(1) : 52-56.
- Fuad, F., Sudarti, dan A. Harijanto., (20180, Analisis Dampak Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2018*. 3: 46-51
- Guspratiwi, R. (2023). Terapi Gen: Era Baru Dalam Pengobatan Kanker. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Nusantara (JIMNU)*, 1(2), 67-70.
- Handoko, A., Hidayatullah., Hidayanto, El., Richardina, V. (2018). Analisis Kelakulratan Velrifikasi Dosis Delngan Melnggulnakan Pelrbandingan Phantom Standar dan Phantom Relplika. *Youlngstelr Physics Joulrnal*. 7(1) : 1-2
- Harun, HM, Jannah, N., Idawati, I., & Ahmad, ZF (2022). Evaluasi Pengobatan Radioterapi Pada Pasien Kanker. *Jurnal Syifa Ilmu Pengetahuan dan Penelitian Klinis* , 4 (3).
- Hindiyati, S. H., Sudarti, dan S. Bektiarso. 2023. Korelasi Bobot Tubuh Terhadap Detak Jantung Mencit Balb-C Yang Dipapar Medan Magnet *Extremely Low Freqeuncy (ELF)* Intensitas 100 μ T. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya*. 7(1) : 11-14.
- Khoiriyah, R. M. H., dan Sudarti. 2022. Resiko Paparan Medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency (ELF)* Terhadap Kelainan Otak. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*. 5(2) : 84-86.
- Luffianti, L. N., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan Sinar Gamma Terhadap Proses Terapi Kanker (Radioterapi Stereotaktik/Hipertermia). *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(10), 31-40.

- Mansoury, F., N. Babael, S. Abdi, M. Entezari, dan A. Doosti. 2022. *Extremely Low Frequency Magnetic Fields Induce mTOR and Hsa_Circ_100338 Expression Changes in Gastric Cancer and Normal Fibroblast Cell Lines*. *Cell J*. 24(7).
- Nurhayati, N., & Mulyaningsih, NN (2020). Penerapan Radioterapi Pada Pengobatan Kanker Payudara. *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika* , 1 (2), 88-94.
- Pramiasti, H. D., Waluyo, A., & Afiyanti, Y. (2022). Aplikasi Smartphone sebagai Sarana Promosi Kesehatan Kanker dengan Terapi Radiasi. *Journal of Telenursing (JOTING)*, 4(1), 252-261.
- Puspitasari, M. R., dan A. Waluyo. 2022. Pemberian Terapi Musik Dalam Mengurangi Nyeri Pasien Kanker. *Jurnal Keperawatan Silampari*. 6(1) : 219-221.
- Rahman, R. A., & Sudarti, S. 2021. Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) 500 μ T terhadap Derajat Keasaman (pH), Massa Jenis, dan Kualitas Fisik Jambu Air. *Jurnal Inovasi Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 2(2): 62-66.
- Ramadhani, P. I., Sudarti, T. Prihandono. 2022. Pengaruh Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* pada Pertumbuhan Vegetatif Tanaman. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*. 7(1) : 14&15.
- Risnah, Risdawati, A. U. Ilmi. 2022. Terapi Berbasis Spiritualitas dalam Penanganan Nyeri Pasien Kanker Payudara : *A Literatur Review*. *Jurnal Midwifery*. 4(2) : 56-59.
- Setiani, R., Amelia, N., & Sudarti, S. (2023). Potensi medan magnet extremely low frequency (elf) untuk terapi diabetes. *Jurnal Sains Riset*, 13(2), 332-340.
- Sinuraya, W. T. B., A. A. Slahaan, dan Sudarti. 2023. Potensi Pemanfaatan Radiasi Medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* untuk Terapi Kesehatan Tulang. *Jurnal Penelitian Inovatif*. 3(3): 597-598.
- Sudarti., Prihandono, T., Restanti, R. 2024. Potential Impact of Anemia on BALB/c Mice Exposed to an Extremely Low Frequency 50 Hz Magnetic Field with an Intensity of 100 μ T and 500 μ T. *Journal of Research in Science Education*, 10(4): 2050–2058.
- Suhatin, D., Sudarti, S., & Prihandono, T. (2017). Analisis Intensitas Medan Magnet Elf (Extremely Low Frequency) Di Sekitar Peralatan Elektronik Dengan Daya \geq 1000 W. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), 208-214.
- Sulistiyowati, A., Sudarti, S., & Anggraeni, F. K. A. (2024). ANALISIS PERSENTASE LIMFOSIT DAN MONOSIT MENCIT BALB/C SETELAH DIPAPAR MEDAN ELEKTROMAGNETIK EXTREMELY LOW FREQUENCY 500 μ T DAN 1000 μ T. *JURNAL RISET KESEHATAN POLTEKKES DEPKES BANDUNG*, 16(1), 258-26.
- Wati, L. L., C. I. Ferdianti, dan Sudarti. 2023. Kajian Potensi Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* Untuk Terapi Osteoporosis. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*. 9(12): 268-269.
- Wismaya, H. S. (2022). Radiasi Medan Elektromagnetik pada Jangkauan Frekuensi Sangat Rendah (Extremely Low Frequency) di Lingkungan Kampus Universitas PGRI Yogyakarta. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan Vol. 8 No. 3 Juli-September 2022*.

- Wijaya, AP, Juliantara, IPE, & Fikli, D. (2024). Analisa Efektifitas Penggunaan Base Plate Orfit Pada Kasus Kanker Payudara Posisi Rawan Dengan Teknik Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) Di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Daerah Jakarta Timur. *Jurnal Ilmu Kesehatan dan Gizi* , 2 (1), 199-215.
- Wulandari, I., Apriantoro, N. H., Sriyatun, S., & Haris, M. (2023). Penatalaksanaan Radioterapi Kanker Payudara Teknik Imrt. *JRI (Jurnal Radiografer Indonesia)*, 6(1), 15-21.
- Zabaleta, M, A., Lazzarini, R., Tartaglione, M, F., Piva, F, Ciarapica, V., B ., Busilacchi, E, M., Poloni, A., Valentino, A., Santarelli, L., Bracci, M. 2023. *A 50 Hz magnetic field influences the viability of breast cancer cells 96 h after exposure*. 50:1005-1017.