

Pemanfaatan Medan Elektromagnetik dalam Teknologi Pengobatan Modern

Novaldi Ramdani Reza^{1*}, Rovino Alghafari², Errisa Zulqa Deswana³,
Muhammad Rifqi⁴, Diyajeng Luluk Karlina⁵
¹⁻⁵ Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten

Korespondensi penulis: 2283230069@untirta.ac.id*

Abstract. *The utilization of electromagnetic fields (EMF) in modern medical technology has become a significant focus of research. This study aims to explore the therapeutic effects of EMF, especially at low frequencies (ELF) and Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF), in enhancing the healing of various medical conditions. The method used is a literature study by analyzing various sources from Google Scholar, Science Direct, and PubMed. The results showed that EMF therapy is effective in relieving pain, accelerating tissue healing, and improving the quality of life of patients with musculoskeletal disorders and fractures. Despite the many benefits, it is important to consider the potential health risks of long-term exposure to EMF. This study recommends the development of strict regulations and training for medical personnel to ensure the safe and effective use of EMF.*

Keywords: *Electromagnetic Field, Modern Medicine, Therapy.*

Abstrak. Pemanfaatan medan elektromagnetik (EMF) dalam teknologi pengobatan modern telah menjadi fokus penelitian yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi efek terapeutik dari EMF, terutama pada frekuensi rendah (ELF) dan Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF), dalam meningkatkan penyembuhan berbagai kondisi medis. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan menganalisis berbagai sumber dari Google Scholar, Science Direct, dan PubMed. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terapi EMF efektif dalam meredakan nyeri, mempercepat penyembuhan jaringan, serta meningkatkan kualitas hidup pasien dengan gangguan muskuloskeletal dan fraktur. Meskipun terdapat banyak manfaat, penting untuk mempertimbangkan potensi risiko kesehatan akibat paparan jangka panjang terhadap EMF. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan regulasi yang ketat dan pelatihan bagi tenaga medis untuk memastikan penggunaan EMF secara aman dan efektif.

Kata kunci: Medan Elektromagnetik, Pengobatan Modern, Terapi.

1. LATAR BELAKANG

Fenomena medan elektromagnetik (EMF) dihasilkan oleh interaksi antara medan listrik dan medan magnet. Medan elektromagnetik ini memiliki potensi untuk memengaruhi proses biologis dalam tubuh manusia, sehingga membuka peluang baru dalam perawatan medis modern. Interaksi medan listrik dan medan magnet adalah prinsip ilmiah yang menarik yang terus mengungkap kemungkinan baru untuk terapi canggih dan intervensi medis di bidang kedokteran modern (Sinuraya, Siahaan, & Sudarti, 2023).

Terapi menggunakan medan elektromagnetik, terutama pada frekuensi rendah (ELF), telah terbukti secara klinis efektif dalam meredakan nyeri dan mempercepat proses penyembuhan pada berbagai kondisi medis. Penggunaan terapi medan elektromagnetik pada pasien dengan nyeri kronis telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam mengurangi intensitas rasa sakit secara bertahap, memberikan harapan bagi individu yang menderita

kondisi ini untuk mengalami peningkatan kualitas hidup dan kesejahteraan yang berkelanjutan (Ziegler et al., 2019).

Pencitraan medis seperti *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* bekerja dengan memanfaatkan kecanggihan medan magnet untuk menghasilkan gambar yang memberikan detail mendalam tentang organ dan struktur tubuh manusia. Dengan teknologi canggih ini, diagnosis penyakit dapat dilakukan dengan lebih akurat dan tanpa prosedur invasif, sehingga memberikan manfaat besar dalam bidang medis untuk mengetahui kondisi kesehatan pasien secara lebih komprehensif dan tepat (Elsisi, Mousa, & ELdesoky, 2015).

Meskipun terdapat berbagai manfaat yang dapat diperoleh dari penggunaan medan elektromagnetik, tetap sangat penting untuk menjaga keamanan dalam pemanfaatannya. Diketahui bahwa paparan medan elektromagnetik dalam jangka panjang bisa membawa efek negatif yang signifikan terhadap kesehatan, termasuk peningkatan risiko terkena kanker. Oleh karena itu, perlu adanya kewaspadaan dan kehati-hatian dalam memanfaatkan teknologi yang mengandalkan medan elektromagnetik agar dampak buruknya dapat diminimalkan (Utoyo, Azmi, & Sudarti, 2023).

Medan elektromagnetik sangat bermanfaat dalam dunia rehabilitasi fisik, terutama dalam memperbaiki fungsi otot dan saraf yang mengalami cedera. Metode stimulasi listrik yang diterapkan melalui terapi elektromagnetik telah terbukti efektif dalam membantu proses pemulihan pasien setelah mengalami cedera, dengan memungkinkan sistem saraf dan otot untuk pulih secara optimal (Ismail., Djaja, A. D., Tendean, 2020).

Beberapa penelitian ilmiah yang telah dilakukan mengungkapkan bahwa ada korelasi antara paparan medan elektromagnetik dengan kesehatan mental seseorang. Terdapat bukti yang menunjukkan bahwa terlalu sering terpapar radiasi elektromagnetik dapat memicu munculnya sindrom kelelahan kronis dan bahkan dapat memperburuk gejala depresi yang dialami seseorang (Bagheri Hosseinabadi, Khanjani, Ebrahimi, Haji, & Abdolahfard, 2019).

Dalam dunia ilmiah, penelitian terkait efek biologis dari medan elektromagnetik terus mengalami perkembangan pesat. Hasil-hasil penelitian yang paling mutakhir menunjukkan bahwa paparan terhadap medan elektromagnetik memiliki potensi untuk memengaruhi proses pertumbuhan sel serta regenerasi jaringan tubuh manusia. Tercatat bahwa semakin dalam tingkat pemahaman tentang interaksi antara medan elektromagnetik dengan organisme, semakin besar pula peluang untuk mengidentifikasi pengaruh yang mungkin timbul dari eksposur terhadap medan elektromagnetik tersebut (Kurniasari et al., 2024).

Regulasi yang mengatur penggunaan medan elektromagnetik dalam pengobatan sangat vital karena dapat memberikan perlindungan yang diperlukan bagi pasien. Selain itu, penetapan standar keamanan juga perlu disusun secara teliti guna menjamin bahwa pemanfaatan teknologi ini tidak menimbulkan risiko yang merugikan bagi kesehatan masyarakat secara keseluruhan (Sulistiyowati, Ulfah, & Sudarti, 2023).

Kemajuan teknologi telah membuka kemungkinan baru untuk pengembangan perangkat medis yang memanfaatkan medan elektromagnetik secara lebih efisien. Pendekatan inovatif terhadap teknologi medis yang memanfaatkan medan elektromagnetik memiliki potensi untuk sangat meningkatkan kualitas layanan kesehatan, menawarkan pilihan pengobatan dan hasil yang lebih baik bagi pasien (Ariyani, Najah, Cahayati, Sudarti, & Mahmudi, 2024).

Meskipun terdapat banyak potensi yang dapat dieksplorasi, diperlukan penelitian lebih lanjut yang mendalam untuk memahami secara menyeluruh mekanisme kerja medan elektromagnetik dalam konteks pengobatan. Salah satu tantangan utama yang harus diatasi adalah kemampuan untuk secara jelas dan akurat membedakan antara efek positif dan negatif yang mungkin timbul dari paparan medan elektromagnetik terhadap kesehatan manusia (Wulansari, Sudarti, & Hnadayani, 2017).

2. KAJIAN TEORITIS

Medan Elektromagnetik

Medan elektromagnetik (EMF) adalah fenomena fisik yang muncul ketika medan listrik dan medan magnet saling berinteraksi. Dalam dunia medis, pemanfaatan EMF sangat luas, digunakan dalam beragam aplikasi yang mencakup terapi fisik untuk penyembuhan, pencitraan medis yang membantu dalam diagnosis penyakit, dan dukungan pemulihan pasien setelah cedera atau operasi.

Terapi menggunakan medan elektromagnetik pada frekuensi rendah (ELF) telah terbukti efektif dalam meredakan nyeri dan mempercepat proses penyembuhan. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Nurhasanah, Putri, Handayani, Sudarti, & Mahmudi, 2024), disebutkan bahwa medan magnet ELF didapati meningkatkan efek positif pada pasien pasca stroke, terutama dalam rehabilitasi jangka panjang. Hal ini menegaskan bahwa potensi EMF dalam bidang terapi kesehatan khususnya memperlihatkan hasil yang menjanjikan dalam memperbaiki kondisi kesehatan pasien setelah mengalami stroke.

Medan elektromagnetik juga memainkan peran penting dalam berbagai teknologi pencitraan medis, seperti Magnetic Resonance Imaging (MRI). Menurut (Wu et al., 2021), teknologi MRI memanfaatkan medan magnet untuk menghasilkan gambar detail organ dan

jaringan tubuh, sehingga memungkinkan dokter membuat diagnosis yang lebih tepat dan non-invasif, yang merupakan aspek penting dalam menangani penyakit parah. Teknik pencitraan canggih ini tidak hanya membantu deteksi penyakit yang akurat, tetapi juga meningkatkan proses perencanaan dan pemantauan pengobatan, merevolusi bidang medis dengan memberikan wawasan yang tak ternilai tentang cara kerja tubuh manusia.

Studi ilmiah telah menegaskan bahwa dampak paparan medan elektromagnetik pada tingkat seluler tidak bisa diabaikan. Penelitian yang dilakukan oleh (Uni- & Branch, 2024) menunjukkan bahwa eksposur terhadap medan magnet ELF mampu memodulasi profil sitokin yang pada akhirnya mendorong perubahan dari keadaan pro inflamasi kronis menjadi anti inflamasi dalam proses penyembuhan luka. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat potensi besar dalam pemanfaatan EMF sebagai salah satu terapi penyembuhan luka yang dapat sangat bermanfaat, terutama dalam konteks pasien yang menderita diabetes.

Teknologi Pengobatan Modern

Teknologi pengobatan modern mencakup berbagai inovasi yang mengubah cara diagnosis dan perawatan penyakit. Inovasi ini mencakup penggunaan kecerdasan buatan (AI), robotika, dan nanoteknologi.

Kecerdasan buatan telah menjadi suatu terobosan yang semakin merambah pada berbagai aspek kedokteran, terutama dalam meningkatkan keakuratan diagnosis. Penelitian yang dilakukan (Aprianti, Yocki Yuanti, & Dewi Rostianingsih, 2023) menunjukkan bahwa sistem AI mampu melakukan analisis data medis dengan kecepatan dan ketepatan yang tinggi. Hal ini memberikan bantuan yang sangat berarti bagi para dokter dalam mengidentifikasi penyakit serta merancang rencana perawatan yang sesuai dengan kondisi pasien. Keberadaan teknologi AI juga mampu memungkinkan deteksi dini pada berbagai penyakit, yang pada akhirnya dapat meningkatkan prognosis serta kesembuhan pasien secara keseluruhan. Di samping itu, revolusi dalam bidang robotika juga telah memperkenalkan teknologi bedah yang sangat canggih, memberikan tingkat presisi yang jauh lebih tinggi daripada sebelumnya. Penggunaan robot dalam prosedur bedah yang kompleks membawa manfaat berupa presisi yang luar biasa dan masa pemulihan yang jauh lebih singkat bagi pasien. Terutama dalam prosedur bedah minimal invasif, dimana kecepatan pemulihan memegang peranan penting, kehadiran robot bedah membawa manfaat yang sungguh-sungguh besar bagi kemajuan dalam bidang kedokteran modern saat ini.

Nanoteknologi telah membawa dampak positif dalam pengembangan sistem pengiriman obat yang lebih efektif. Studi yang dilakukan oleh (Miyazaki et al., 2021) menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki potensi besar untuk mengirimkan obat secara

langsung ke sel-sel kanker, sehingga meningkatkan efektivitas terapi sambil mengurangi risiko efek samping yang merugikan. Dengan kemajuan ini, terbuka peluang baru untuk pengembangan terapi kanker yang lebih aman, efektif, dan inovatif, membawa harapan baru dalam pengobatan kanker di masa depan.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, kami menggunakan pendekatan studi literatur untuk mengeksplorasi efek dari pemanfaatan medan elektromagnetik dalam teknologi pengobatan modern. Informasi yang peneliti peroleh dalam artikel ini bersumber dari Google Scholar, Science Direct, dan PubMed yang membahas pemanfaatan medan elektromagnetik dalam teknologi pengobatan modern. Melalui analisis literatur ini, kami mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana pemanfaatan medan elektromagnetik dapat berkontribusi dalam berbagai aspek pengobatan modern. Temuan dari studi literatur ini akan menjadi dasar untuk merumuskan rekomendasi kebijakan dan intervensi yang lebih efektif dalam mengelola dan memahami sepenuhnya mekanisme kerja medan elektromagnetik dalam pengobatan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan tabel hasil literatur mengenai artikel dengan topik Pemanfaatan Medan Elektromagnetik dalam Teknologi Pengobatan Modern.

Tabel 1. Pemanfaatan Medan Elektromagnetik dalam Teknologi Pengobatan Modern

NO	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Metode	Hasil Penelitian
1	<i>Beneficial Effects of Electromagnetic Fields</i>	Basset. C. A. (1993).	<i>Review</i> Artikel	Mengurangi waktu penyembuhan fraktur
2	<i>Electromagnetic Field Induced Biological Effects in Humans</i>	Kaszuba Zwońska, J., et al. (2015).	<i>Review</i> Artikel	Efek non termal pada kesehatan manusia
3	<i>Therapeutic Applications of Electromagnetic Fields in Musculoskeletal Disorders</i>	Yadollahpour, A., et al. (2014) .	<i>Review</i> Artikel	Berbagai teknik pengobatan berbasis medan elektromagnetik
4	<i>Therapeutic Potential of Electromagnetic Fields for Tissue Engineering and Wound Healing</i>	Saliev. T., et al. (2014).	<i>Review</i> Artikel	Meningkatkan proliferasi dan diferensiasi sel
5	<i>Pathological Impact and Medical Applications of Electromagnetic Field on Melanoma</i>	Duan, Wu., et al. (2022).	<i>Review</i> Artikel	Pengaruh EMF terhadap perkembangan melanoma
6	Radiasi Suatu Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> terhadap Penyakit Diabetes	Hamid, A. L., et al. (2024).	<i>Review</i> Artikel	Meningkatkan sensitivitas insulin dan mempercepat penyembuhan luka

Adapun dibawah ini merupakan pembahasan terkait tabel hasil literatur diatas, sebagai berikut.

1. Efek menguntungkan dari Medan Elektromagnetik

Penelitian mengulas bahwa medan elektromagnetik (EMF), khususnya *Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF)*, dapat digunakan untuk mengobati berbagai gangguan muskuloskeletal. Terapi ini telah terbukti efektif dalam mengurangi waktu penyembuhan dan meningkatkan kualitas hidup pasien dengan fraktur yang tidak sembuh. Lebih dari 250.000 pasien telah mendapatkan manfaat dari terapi ini tanpa risiko atau ketidaknyamanan yang signifikan. Mekanisme kerja EMF termasuk stimulasi regenerasi sel dan perbaikan jaringan (Bassett, 1993).

2. Efek Biologis yang Diinduksi Medan Elektromagnetik pada Manusia

Penelitian mengulas bahwa dampak paparan medan elektromagnetik frekuensi radio pada kesehatan manusia, termasuk efek non termal yang dapat mempengaruhi berbagai sistem organ. Meskipun standar paparan EMF didasarkan pada efek termal, paparan EMF yang lemah dapat menyebabkan dramatis pada sel tubuh, termasuk gejala *Elektromagnetik Hipersensitivitas (EHS)* yang melibatkan berbagai gejala multisistem (Kaszuba-Zwolińska, Gremba, Gałdzińska-Calik, Wójcik-Piotrowicz, & Thor, 2015).

3. Aplikasi Terapi Medan Elektromagnetik pada Gangguan Muskuloskeletal

Penelitian mengulas aplikasi terapeutik EMF dalam pengobatan gangguan muskuloskeletal. EMF digunakan sebagai pilihan alternatif atau tambahan untuk pengobatan, dengan teknik-teknik seperti *direct current*, *capacitive coupling*, *inductive coupling*, dan *static magnetic fields*. Meskipun ada banyak metode pengobatan berbasis EMF, mekanisme aksi masing-masing masih belum sepenuhnya dipahami (Yadollahpour & Rashidi, 2014).

4. Potensi Terapi Medan Elektromagnetik untuk Rekayasa Jaringan dan Penyembuhan Luka

Penelitian mengulas bahwa potensi PEMF dalam merangsang proliferasi dan diferensiasi sel, serta dampaknya pada penyembuhan jaringan dan regenerasi. Paparan EMF dapat mempengaruhi proses penyembuhan dengan meningkatkan migrasi sel, ekspresi faktor pertumbuhan, dan sinyal nitrat oksida. Penelitian menunjukkan bahwa EMF memiliki efek positif pada berbagai tahap penyembuhan (Saliev, Mustapova, Kulsharova, Bulanin, & Mikhalovsky, 2014).

5. Dampak Patologis dan Aplikasi Medis Medan Elektromagnetik pada Melanoma

Penelitian mengulas bagaimana EMF mempengaruhi perkembangan melanoma dan potensi aplikasi medisnya dalam terapi kanker. EMF dapat memengaruhi polaritas sel melanoma dan meningkatkan penyerapan obat, serta berkontribusi pada efektivitas berbagai terapi klinis untuk melanoma (Duan, Wu, Gong, Guo, & Kong, 2022).

6. Radiasi Medan Magnet ELF terhadap Penyakit Diabetes

Penelitian mengulas bahwa medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF) dapat meningkatkan sensitivitas insulin dan mempercepat penyembuhan luka pada penderita diabetes. Penelitian menunjukkan bahwa paparan ELF dapat mengurangi risiko komplikasi diabetes, meskipun intensitas dan durasi paparan harus diperhatikan untuk menghindari efek samping yang tidak diinginkan (Hamid, 2024).

Melalui analisis literatur dari berbagai sumber, kami menemukan bahwa penggunaan medan elektromagnetik, terutama ELF dan PEMF, memiliki efek terapeutik yang signifikan dalam pengobatan modern:

a) Keamanan dan Efektivitas

Meskipun banyak penelitian menunjukkan manfaat positif dari penggunaan medan elektromagnetik, penting untuk mempertimbangkan keamanan penggunaannya. Beberapa studi menunjukkan potensi efek samping atau reaksi negatif terhadap paparan medan elektromagnetik, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan keamanan bagi pasien.

b) Rekomendasi Kebijakan

Berdasarkan temuan ini, kami merekomendasikan pengembangan pedoman kebijakan untuk penggunaan medan elektromagnetik dalam praktik medis. Ini termasuk regulasi terkait dosis dan durasi paparan serta pelatihan bagi tenaga medis dalam penerapan terapi ini.

c) Intervensi Lebih Lanjut

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi mekanisme kerja dari medan elektromagnetik dan untuk mengidentifikasi kelompok pasien yang paling diuntungkan dari terapi ini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan medan elektromagnetik dalam teknologi pengobatan modern memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan penyembuhan berbagai gangguan kesehatan, terutama pada pasien dengan fraktur, gangguan muskuloskeletal, dan masalah regenerasi jaringan. Penggunaan medan elektromagnetik, seperti *Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF)*, telah terbukti efektif dalam

mempercepat penyembuhan, mengurangi rasa nyeri, serta meningkatkan kualitas hidup pasien. Meskipun demikian, penelitian ini juga menyoroti pentingnya mempertimbangkan risiko dari paparan medan elektromagnetik yang berlebihan. Keamanan penggunaannya tetap menjadi perhatian utama, terutama dalam kaitannya dengan paparan jangka panjang yang dapat menimbulkan risiko kesehatan tertentu. Oleh karena itu, pemahaman mekanisme kerja medan elektromagnetik terus berkembang seiring dengan penelitian yang lebih mendalam.

Saran dari penelitian ini mencakup kebutuhan untuk pengembangan regulasi yang lebih ketat dan pedoman yang mengatur dosis serta durasi paparan medan elektromagnetik guna memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko. Pelatihan khusus bagi tenaga medis sangat disarankan agar mereka dapat mengimplementasikan terapi ini secara aman dan efektif. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi mekanisme biologis yang mendasari penggunaan medan elektromagnetik dalam pengobatan modern, serta menentukan kelompok pasien yang mendapat manfaat terbesar dari terapi ini. Penelitian juga diharapkan dapat mengidentifikasi lebih jelas potensi efek samping yang mungkin terjadi dan cara optimal untuk meminimalkannya.

DAFTAR REFERENSI

- Aprianti, N. A., Yuanti, Y., & Rostianingsih, D. (2023). Robotika kesehatan: Tren terkini dalam layanan medis dan rehabilitasi. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(08), 697–713. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i08.591>
- Ariyani, D. T., Najah, S., Cahayati, E., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2024). Konsep radiasi medan elektromagnetik ELF (extremely low frequency) oleh peralatan rumah tangga. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 147–156. <https://doi.org/10.37478/optika.v8i1.4124>
- Bagheri Hosseinabadi, M., Khanjani, N., Ebrahimi, M. H., Haji, B., & Abdolahfard, M. (2019). The effect of chronic exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields on sleep quality, stress, depression, and anxiety. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 38(1), 96–101. <https://doi.org/10.1080/15368378.2018.1545665>
- Bassett, C. A. L. (1993). Beneficial effects of electromagnetic fields. *Journal of Cellular Biochemistry*, 51(4), 387–393. <https://doi.org/10.1002/jcb.2400510402>
- Duan, Y., Wu, X., Gong, Z., Guo, Q., & Kong, Y. (2022). Pathological impact and medical applications of electromagnetic field on melanoma: A focused review. *Frontiers in Oncology*, 12(July), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.857068>
- Elsisi, H. F. E. M., Mousa, G. S. M., & Eldesoky, M. T. M. (2015). Electromagnetic field versus circuit weight training on bone mineral density in elderly women. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 539–548. <https://doi.org/10.2147/CIA.S78485>

- Hamid, A. L. (2024). Radiasi suatu medan magnet extremely low frequency (ELF) terhadap penyakit diabetes. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 26064–26069.
- Ismail, D., Djaja, A. D., & Tendean, R. H. (2020). The effect of extreme low frequency-pulse electromagnetic field exposure in the healing process of Sprague Dawley mouse delayed union femur fracture: Study of rust radiology score. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 4(1), S74–S78. <https://doi.org/10.20473/jsrcte.v4i1.21589>
- Kaszuba-Zwolińska, J., Gremba, J., Gałdzińska-Calik, B., Wójcik-Piotrowicz, K., & Thor, P. J. (2015). Electromagnetic field induced biological effects in humans. *Przegląd Lekarski*, 72(11), 636–641.
- Kurniasari, S., Mursalin, M., Akuba, K. R., Papatungan, D. T., Virna, R., & Yunus, M. (2024). Electromagnetic radiation of extremely low frequency (ELF). *EDUPROXIMA: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 6(1), 97–101. <https://doi.org/10.29100/v6i1.5088>
- Miyazaki, C. M., Carr, O., Joshi, N., Picciani, P. H. S., Mater, E. M., Dalmaschio, C. J., & Shimizu, F. M. (2021). Magnetic nanoparticles in biomedical applications: A review. *Applied Surface Science Advances*, 6, 100163. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100163>
- Nurhasanah, A. F., Putri, O. A. R., Handayani, A. I. S., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2024). Apakah medan magnet ELF berpengaruh untuk terapi stroke? *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 157–166. <https://doi.org/10.37478/optika.v8i1.4160>
- Saliev, T., Mustapova, Z., Kulsharova, G., Bulanin, D., & Mikhalovsky, S. (2014). Therapeutic potential of electromagnetic fields for tissue engineering and wound healing. *Cell Proliferation*, 47(6), 485–493. <https://doi.org/10.1111/cpr.12142>
- Sinuraya, W. T. B., Siahaan, A. A., & Sudarti, S. (2023). Potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency untuk terapi kesehatan tulang. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 3(3), 597–604. <https://doi.org/10.54082/jupin.234>
- Sulistiyowati, A., Ulfah, A. Z., & Sudarti, S. (2023). Potensi radiasi medan magnet extremely low frequency (ELF) terhadap penyakit leukemia. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(13), 123–131.
- Uni, I. A., & Branch, T. (2024). The effect of extremely low frequency (ELF) electromagnetic waves on the prevention of diabetes induced by streptozotocin in mice: Blood indicators.
- Utoyo, E. B., Azmi, F., & Sudarti, S. (2023). Analisis dampak paparan medan magnet extremely low frequency (ELF) oleh SUTET terhadap risiko kanker dan masalah reproduksi pada manusia. *CERMIN: Jurnal Penelitian*, 7(1), 58–68.
- Wu, C., Ferreira, F., Fox, M., Harel, N., Hattangadi-Gluth, J., Horn, A., & Akram, H. (2021). Clinical applications of magnetic resonance imaging-based functional and structural connectivity. *NeuroImage*, 244(October), 118649. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118649>

- Wulansari, M., Sudarti, & Handayani, R. D. (2017). Pengaruh induksi medan magnet extremely low frequency (ELF) terhadap pertumbuhan pin heat jamur kuping (*Auricularia auricula*). *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), 181–189.
- Yadollahpour, A., & Rashidi, S. (2014). Therapeutic applications of electromagnetic fields in musculoskeletal disorders: A review of current techniques and mechanisms of action. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 7(1), 23–32. <https://doi.org/10.13005/bpj/448>
- Ziegler, P., Nussler, A. K., Wilbrand, B., Falldorf, K., Springer, F., Fentz, A. K., & Ehnert, S. (2019). Pulsed electromagnetic field therapy improves osseous consolidation after high tibial osteotomy in elderly patients: A randomized, placebo-controlled, double-blind trial. *Journal of Clinical Medicine*, 8(11), 2008. <https://doi.org/10.3390/jcm8112008>