

Radiasi Medan Elektromagnetik pada Jangkauan Frekuensi Sangat Rendah (*Extremely Low Frequency*) di Lingkungan Kampus Universitas PGRI Yogyakarta

Herenda Sela Wismaya¹, Wahyu Sugianto²
Universitas PGRI Yogyakarta
herendasella@upy.ac.id

ABSTRAK

Kekhawatiran masyarakat mengenai dampak negatif yang ditimbulkan dari paparan radiasi elektromagnetik ini masih terus diteliti hingga saat ini. Oleh karena itu, sangat perlu dilakukan suatu studi penelitian untuk mengukur dan memetakan tingkat radiasi elektromagnetik dengan tujuan menganalisis potensi risiko yang terjadi. Paparan radiasi elektromagnetik diukur menggunakan electromagnetic field tester, kemudian hasilnya dibandingkan dengan pedoman keselamatan yang dikeluarkan oleh ICNIRP dan WHO. Hasil yang diperoleh bahwa tingkat paparan radiasi yang diukur dalam satuan mikrotlesla di 29 titik lokasi di Universitas PGRI Yogyakarta jauh di bawah pedoman ICNIRP untuk lingkungan pendidikan dan kerja. Nilai medan magnet terukur tertinggi adalah 132,46 μT , sedangkan nilai medan magnet terukur terendah adalah 1,436 μT . Medan magnet diatas 0,3 hingga 0,4 μT dapat meningkatkan risiko leukemia dalam jangka panjang. Penelitian ini telah menghasilkan informasi yang bermanfaat sebagai dasar pengambilan kebijakan kesehatan di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta

Kata kunci : *Radiasi, Elektromagnetik, Frekuensi Sangat Rendah*

ABSTRACT

Public concern about the negative impact caused by exposure to electromagnetic radiation is still being investigated today. Therefore, it is very necessary to conduct a research study to measure and map the level of electromagnetic radiation with the aim of analyzing the potential risks that occur. Electromagnetic radiation exposure was measured using an electromagnetic field tester, then the results were compared with the safety guidelines issued by ICNIRP and WHO. The results obtained that the level of radiation exposure measured in microtesla units at 29 location points at the University of PGRI Yogyakarta is far below the ICNIRP guidelines for the education and work environment. The highest measured magnetic field value is 132.46 μT , while the lowest measured magnetic field value is 1.436 μT . Magnetic fields above 0.3 to 0.4 μT can increase the risk of leukemia in the long term. This research has produced useful information as a basis for health policy making in the PGRI Yogyakarta University campus

Keywords: *Radiation, Electromagnetic, Extremely Low Frequency*

PENDAHULUAN

Paparan radiasi medan elektromagnetik selalu ada di lingkungan sekitar kita. Sejak abad ke-20, paparan radiasi elektromagnetik meningkat seiring dengan kebutuhan listrik, teknologi yang semakin canggih, dan perubahan perilaku sosial yang telah menciptakan lebih banyak sumber radiasi elektromagnetik (Balmori, 2021). Radiasi elektromagnetik adalah emisi energi yang diciptakan oleh kombinasi medan listrik dan magnet.

Radiasi elektromagnetik dari arus listrik 30-300 Hz disebut gelombang elektromagnetik frekuensi sangat rendah atau dalam bahasa Inggris *Extremely Low Frequency* yang kemudian disebut ELF. Radiasi ELF termasuk dalam kategori radiasi non-ionizing, hal ini dikarenakan radiasi yang dipancarkan pada ELF tidak dapat mengionisasi material apapun yang dilaluinya (D'Angelo, Costantini, Kamal, & Reale, 2015). Meskipun demikian, radiasi elektromagnetik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku semua makhluk hidup. Oleh karena itu penggunaan alat

elektronik yang memancarkan radiasi elektromagnetik perlu menggunakan prinsip optimasi (Prihatini et al., 2017).

Radiasi ELF yang dihasilkan oleh perangkat listrik, jaringan distribusi daya tegangan tinggi, dan sumber saluran listrik. Radiasi elektromagnetik ELF sering dijumpai pada masyarakat modern saat ini, khususnya di lingkungan pendidikan (Olorunsola, Ikumapayi, Oladapo, Alimi, & Adeoye, 2021). Lingkungan pendidikan sangat erat dengan radiasi elektromagnetik pada frekuensi sangat rendah ini. Sarana prasarana penunjang pembelajaran seperti media yang berasal dari berbagai perangkat elektronik, panel listrik tegangan tinggi, perangkat penunjang jaringan internet dan lain sebagainya, memiliki kontribusi paparan radiasi medan elektromagnetik (López, Valbuena, & Unturbe, 2019). Seluruh sarana prasarana tersebut juga terdapat di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta.

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu sumber paparan radiasi elektromagnetik ELF yang memiliki kontribusi besar. Sedangkan

sumber paparan radiasi elektromagnetik dengan kontribusi yang berasal dari luar ruangan adalah saluran distribusi listrik dan sistem transportasi (Basandrai, Dhimi, Bedi, & Khan, 2017). Perangkat-perangkat elektronik lain juga memiliki kontribusi dalam paparan radiasi medan elektromagnetik ELF walaupun tidak terlalu besar.

Radiasi elektromagnetik ELF merupakan medan yang terdiri dari medan magnet dan medan listrik. Medan listrik yang dihasilkan dari ELF adalah medan yang mudah dilemahkan oleh semua jenis bahan, termasuk bahan bangunan (Esa, Suryandari, & Sari, 2018). Kontribusi paparan radiasi elektromagnetik ELF dari sumber luar ruangan lebih besar daripada radiasi elektromagnetik dalam ruangan karena sebagian besar paparan dalam ruangan berasal dari sistem kabel dalam ruangan dan peralatan listrik lainnya (Huang et al., 2014). Besarnya medan listrik yang berasal dari sumber paparan radiasi tersebut meningkat seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber. Semakin jauh titik dari sumber paparan, maka semakin rendah pula nilai medan listriknya. Medan listrik muncul ketika alat dalam keadaan mati maupun dalam keadaan nyala (C. Chen et al., 2014; Martínez-Sámamo, Flores-Poblano, Verdugo-Díaz, Juárez-Oropeza, & Torres-Durán, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa selalu ada medan listrik di setiap sudut tempat meskipun kekuatannya sangat bervariasi di setiap lokasi.

Lain halnya dengan medan listrik, medan magnet ELF sulit dilemahkan oleh bahan bangunan atau bahan lainnya. Medan magnet ELF dapat menembus dinding hampir tanpa gangguan (Jiao et al., 2019; Tekutskaya, Barishev, & Ilchenko, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa sumber medan magnet ELF eksternal seperti saluran listrik dan sumber tegangan di sekitar manusia mungkin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sistem biologi. Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa transmisi pada permukaan tanah memiliki kerapatan fluks magnet maksimum hingga puluhan mikrottesla, sedangkan secara umum kerapatan fluks tidak mencapai lebih dari beberapa mikrottesla (Ohayon, Stolc, Freund, Milesi, & Sullivan, 2019; Phillips, Singh, & Lai, 2009; Selmaoui, 2017).

Paparan medan elektromagnetik ELF telah dianggap bersifat karsinogenik berdasarkan beberapa penelitian dalam sepuluh tahun terakhir. Adanya peningkatan risiko leukimia pada anak-anak dan tumor otak pada orang dewasa pasca paparan radiasi medan elektromagnetik secara berkala dilaporkan oleh beberapa penelitian epidemiologi (Guizzardi &

Pedrazzi, 2021; Touitou, Selmaoui, & Lambrozo, 2022). Risiko leukimia pada anak-anak meningkat karena paparan radiasi elektromagnetik ELF lebih dari 0,4 T secara berkala. Dalam penelitian lain juga telah membuktikan adanya peningkatan risiko leukimia pada masyarakat akibat paparan elektromagnetik ELF yang dipancarkan oleh saluran-saluran transmisi listrik di tingkat perumahan. Selain itu, penelitian terkait dampak paparan medan elektromagnetik ELF terhadap histologis folikel kelenjar tiroid menunjukkan adanya perubahan volume sel setelah radiasi ELF (Asl et al., 2019; Kim, Na, Kim, Kim, & Kim, 2010; Su et al., 2014). Perubahan volume sel yang dibuktikan dengan penurunan diameter folikel tiroid ini dapat berpengaruh terhadap penyerapan yodium di kelenjar tiroid serta meningkatkan efek suhu pada kelenjar tiroid.

Interaksi yang terjadi antara materi biologi dengan medan elektromagnetik ELF dapat berefek bahaya, yang dipengaruhi oleh faktor frekuensi maupun panjang gelombang, kepadatan medan serta waktu paparan. Adapun faktor penting lain yang juga berpengaruh terhadap dampak buruk interaksi tersebut yaitu status fungsional, sensitivitas materi biologi yang terpapar, jarak dari sumber radiasi dan vaskularisasi bagian yang diradiasi juga perlu dipertimbangkan (Boga et al., 2016; Y. Chen et al., 2019; Min et al., 2021). Jumlah paparan medan elektromagnetik ELF yang kita terima hingga saat ini secara berkala, telah menjadi faktor penting yang berkontribusi pada risiko kanker, khususnya leukemia dan kanker otak (Budziosz et al., 2018; Sladicekova, Bereta, Misek, Parizek, & Jakus, 2021; Xu et al., 2013). Oleh karena itu, IARC menyimpulkan bahwa medan elektromagnetik dianggap sebagai paparan yang bersifat karsinogenik bagi manusia.

METODE PENELITIAN

Radiasi elektromagnetik ELF yang diukur di era pendidikan modern sangat mendukung untuk dengan nilai yang tinggi. Medan elektromagnetik ELF yang dihasilkan dari peralatan listrik yang digunakan sebagai media pembelajaran dan penelitian, baik di laboratorium maupun di ruang kelas dan ruang dosen. Universitas PGRI Yogyakarta merupakan universitas yang mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa laboratorium baru dibangun untuk meningkatkan kualitas pembelajaran dan penelitian, karena banyak peralatan dan sumber daya listrik dan kemungkinan menghasilkan radiasi di lingkungan kampus. Sehingga perlu

dilakukan pengukuran seluruh radiasi elektromagnetik ELF sebagai informasi ilmiah yang dapat bermanfaat sebagai dasar pengambilan kebijakan kesehatan bagi civitas akademika Universitas PGRI Yogyakarta.

Penelitian tentang paparan radiasi elektromagnetik frekuensi sangat rendah ini dilakukan di kampus Universitas PGRI Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur nilai medan magnet (microtesla (μT)) di zona kampus. Besarnya radiasi elektromagnetik sebanding dengan nilai medan magnet menurut persamaan (1) dan (2) berikut:

$$S = E \cdot H = E^2 / 377 = 377 H^2 \quad (1)$$

$$B = \mu \cdot H \quad (2)$$

Dimana S adalah rapat radiasi elektromagnetik, E adalah medan listrik dan H adalah rapat fluks medan magnet. Kuat medan magnet dilambangkan dengan B dengan satuan Tesla (T) sedangkan permeabilitas magnet yang nilainya tetap di udara adalah 4×10^{-7} .

Pengukuran medan magnet pada frekuensi rendah dianggap lebih efektif karena medan listrik yang dipancarkan oleh sumber radiasi elektromagnetik pada frekuensi rendah mudah mengalami redaman/penurunan nilai karena adanya bahan penghalang.

Pengukuran dilakukan di 29 titik lokasi yang tersebar di kampus Universitas PGRI Yogyakarta. Setiap pengukuran di titik lokasi lima kali untuk melakukan kesalahan pengukuran. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Portable Electromagnetic Field Tester* dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Spesifikasi *Electromagnetic Field Tester*

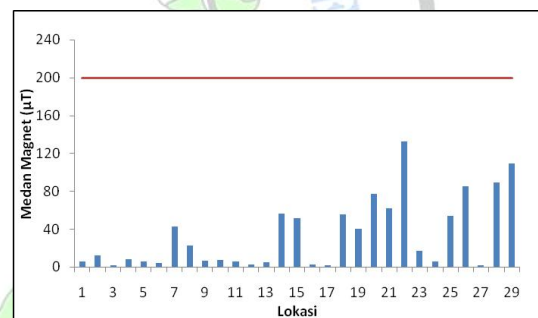
Electromagnetic Field Tester	Spesifikasi
	Jangkauan frekuensi: $0,3 \times 10^2$ Hz – $0,3 \times 10^3$ Hz
	EMF Tester merupakan alat yang dirancang portable agar mudah dan cepat digunakan untuk melakukan pengukuran radiasi medan elektromagnetik pada bandwidth 60Hz/50Hz yang berasal dari sumber saluran listrik, peralatan rumah tangga maupun peralatan industri
	Satuan pengukuran yang ditampilkan adalah μT dan mG
	Pengukuran dengan EMF Tester harus dilakukan tanpa adanya gangguan dari perangkat lain agar hasilnya akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini telah menghasilkan data-data hasil pengukuran radiasi medan elektromagnetik yang dapat menjadi informasi bermanfaat sebagai dasar pengambilan kebijakan terkait kesehatan, keamanan dan keselamatan di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta. Meskipun masih sangat diperlukan kajian lebih lanjut mengenai dampak paparan radiasi medan elektromagnetik ELF terhadap kesehatan manusia. Paparan radiasi medan elektromagnetik ELF yang terjadi secara teratur dapat menghasilkan persepsi muatan listrik pada permukaan, stimulasi saraf dan jaringan yang tereksitasi elektrik.

Hasil pengukuran medan magnet yang telah dilakukan pada 29 titik lokasi di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta menunjukkan bahwa pada 29 titik lokasi tersebut masih dalam ambang batas aman menurut peraturan ICNIRP dan WHO yaitu di bawah $0,2 \times 10^{-4}$ T atau 200 μT . Gambar 1. adalah grafik hasil pengukuran medan magnet yang telah dilakukan:



Gambar 1. Grafik Pengukuran Radiasi Medan Magnet di 29 titik lokasi

Pengukuran medan magnet ELF dilakukan di seluruh unit kerja di Universitas PGRI Yogyakarta unit 1, unit 2 maupun unit 3. Berdasarkan grafik pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa nilai ELF berada di puncak tertinggi Medan magnet pada titik lokasi 22 yaitu mencapai 132, 46 T. Titik lokasi tersebut berada di unit 1 gedung A lantai 2. Nilainya cukup tinggi karena pada lokasi 22 terdapat sumber tegangan listrik dan saluran listrik yang berdaya tinggi sehingga menimbulkan radiasi medan magnet ELF yang cukup tinggi pula. Sedangkan nilai medan magnet ELF berada di bawah berada pada lokasi 27 yaitu sebesar 1.436 T. Titik lokasinya ada di unit 2 lantai 3. Nilai tersebut sangat jauh dari ambang batas aman berdasarkan regulasi ICNIRP, sehingga dapat dikatakan lokasi tersebut aman dari radiasi

medan ELF yang dapat membahayakan kesehatan.

Penelitian bioelektromagnetik ini memiliki kelemahan dalam menginterpretasikan suatu pemahaman dari data eksperimen yang dihasilkan, yaitu terkait mekanisme interaksi radiasi medan elektromagnetik ELF terhadap materi biologi. Secara umum, paparan radiasi medan elektromagnetik dapat mempengaruhi semua sistem yang memiliki muatan seperti tubuh manusia. Dalam tubuh manusia yang terpapar radiasi medan magnet, tentunya terjadi gangguan pada reaksi kimia. Radikal bebas yang terbentuk di dalam sel dapat menyebabkan mutasi ataupun kerusakan DNA

Pembahasan

Kerusakan makromolekul, seperti DNA, membran lipid dan protein karena adanya radikal bebas dalam tubuh yang dapat mempengaruhi sel tersebut. Studi lain telah menunjukkan bahwa paparan radiasi medan elektromagnetik dapat meningkatkan aktivitas radikal bebas dalam sel, terutama melalui reaksi Fenton. Reaksi Fenton merupakan proses katalis menjadi radikal bebas, dimana molekul dalam tubuh seperti hidrogen peroksida dan produk oksidatif oksidatif dalam mitokondria diubah menjadi hidroksil, molekul bersifat sitotoksik dan sangat kuat. Paparan radiasi medan elektromagnetik ELF telah dilaporkan dalam beberapa studi dapat merusak DNA, melalui radikal bebas dalam sel dengan proses sekunder secara tidak langsung. Energi medan elektromagnetik yang rendah menyebabkan proses kerusakan DNA yang terjadi secara sekunder dalam jangka panjang.

Induksi kanker merupakan dampak negatif dari radiasi non pengion medan elektromagnetik ELF yang menjadi salah satu kasus dalam fokus utama beberapa studi. Kerusakan pada genom sel yang dapat memunculkan sel kanker, telah menjadi fokus beberapa studi bagaimana interaksi radiasi medan elektromagnetik dengan struktur kromosom dan DNA dalam jaringan biologi.

Beberapa studi melaporkan hasil eksperimen yang berbeda. Hal tersebut disebabkan karena terdapat banyak faktor yang berkontribusi pada hasil interaksi interaksi radiasi medan elektromagnetik ELF dengan materi biologi. Yang mempengaruhi medan elektromagnetik ELF faktor-faktor pada energi yang diserap organisme biologis bagaimana energi tersebut ditransmisikan dalam ruang dan waktu. Faktor-faktor tersebut juga dapat saling mempengaruhi satu dengan yang lain sehingga menimbulkan dampak baru yang berbeda, seperti durasi

paparan, intensitas, jumlah paparan dan frekuensi. Tentang biologi yang perlu diketahui mengenai efek konsekuensi medan elektromagnetik ELF, respons yang dihasilkan oleh sistem biologi dan kapan homeostasis dari materi akan terganggu.

Energi yang dihasilkan dari paparan elektromagnetik ELF tergolong rendah sehingga tidak cukup untuk menyebabkan kerusakan pada tingkat kimia secara langsung. Akan tetapi ada efek sekunder yang dapat ditimbulkan secara tidak langsung pada perubahan biokimia yang diinduksi dalam sel tubuh. Yang paling mungkin terjadi akibat efek sekunder tersebut adalah kerusakan DNA yang timbul akibat banyaknya radikal bebas di dalam sel sehat. Hasil pengukuran medan magnet yang jangkauannya pada 29 titik lokasi di lingkungan kampus Universitas PGRI Yogyakarta meskipun masih di bawah nilai standar ICNIRP ($< 200 \mu\text{T}$) akan tetapi masih ada efek panjang yang bisa ditimbulkan dari paparan ELF medan magnetnya $0,4 \mu\text{T}$.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa radiasi elektromagnetik pada frekuensi sangat rendah (ELF) di Universitas PGRI Yogyakarta masih jauh di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan oleh ICNIRP. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa paparan radiasi frekuensi sangat rendah dengan medan magnet $0,3 \mu\text{T}$ hingga $0,4 \mu\text{T}$ dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko leukemia. Penelitian ini telah menghasilkan informasi yang bermanfaat sebagai dasar pengambilan kebijakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asl, J. F., Larijani, B., Zakerkish, M., Rahim, F., Shirbandi, K., & Akbari, R. (2019). The possible global hazard of cell phone radiation on thyroid cells and hormones: a systematic review of evidences. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18017–18031. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05096-z>
- Balmori, A. (2021). Electromagnetic radiation as an emerging driver factor for the decline of insects. *Science of the Total Environment*, 767, 144913. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144913>
- Basandrai, D., Dhama, A. K., Bedi, R. K., & Khan, S. A. (2017). Study of electromagnetic radiation pollution in

- Jalandhar city, India. *AIP Conference Proceedings*, 1860. <https://doi.org/10.1063/1.4990309>
- Boga, A., Emre, M., Sertdemir, Y., Uncu, I., Binokay, S., & Demirhan, O. (2016). Effects of GSM-like radiofrequency irradiation during the oogenesis and spermiogenesis of *Xenopus laevis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.015>
- Budziosz, J., Stanek, A., Sieroń, A., Witkoś, J., Cholewka, A., & Sieroń, K. (2018). Effects of low-frequency electromagnetic field on oxidative stress in selected structures of the central nervous system. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1427412>
- Chen, C., Ma, Q., Liu, C., Deng, P., Zhu, G., Zhang, L., ... Zhou, Z. (2014). Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells. *Scientific Reports*, 4, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep05103>
- Chen, Y., Zhen Cai, Z., Feng, Q., Gao, P., Yang, Y., Bai, X., & Q. Tang, B. (2019). Evaluation of the Extremely-Low-Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) on Growth of Bacteria *Escherichia coli*. *Biology, Engineering and Medicine*, 4(2), 1–12. <https://doi.org/10.15761/bem.1000169>
- D'Angelo, C., Costantini, E., Kamal, M. A., & Reale, M. (2015). Experimental model for ELF-EMF exposure: Concern for human health. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(1), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.07.006>
- Esa, P. D., Suryandari, D. A., & Sari, P. (2018). Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on the diameter of seminiferous tubules in mice. *Journal of Physics: Conference Series*, 1073(6), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1073/6/062043>
- Guizzardi, S., & Pedrazzi, G. (2021). applied sciences Low Frequency Electromagnetic Fields Might Increase the Effect of Enamel Matrix Derivative on Periodontal Tissues.
- Huang, C. Y., Chuang, C. Y., Shu, W. Y., Chang, C. W., Chen, C. R., Fan, T. C., & Hsu, I. C. (2014). Distinct epidermal keratinocytes respond to extremely low-frequency electromagnetic fields differently. *PLoS ONE*, 9(11), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113424>
- Jiao, M., Yin, H., Hu, J., Xu, W., Zhang, X., & Zhang, P. (2019). Effects of Low-Frequency Pulsed Electromagnetic Fields on High-Altitude Stress Ulcer Healing in Rats. *BioMed Research International*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6354054>
- Kim, B. H., Na, M. A., Kim, I. J., Kim, S. J., & Kim, Y. K. (2010). Risk stratification and prediction of cancer of focal thyroid fluorodeoxyglucose uptake during cancer evaluation. *Annals of Nuclear Medicine*, 24(10), 721–728. <https://doi.org/10.1007/s12149-010-0414-6>
- López, O. G. M., Valbuena, A. J., & Unturbe, C. M. (2019). Significant cellular viability dependence on time exposition at ELF-EMF and RF-EMF in vitro studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph16122085>
- Martínez-Sámamo, J., Flores-Pobiano, A., Verdugo-Díaz, L., Juárez-Oropeza, M. A., & Torres-Durán, P. V. (2018). Extremely low frequency electromagnetic field exposure and restraint stress induce changes on the brain lipid profile of Wistar rats. *BMC Neuroscience*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12868-018-0432-1>
- Min, S.-H., Kwon, O., Sattarov, M., Kim, S., Baek, I.-K., Park, S., ... Park, G.-S. (2021). Cell-type continuous electromagnetic radiation system generating millimeter waves for active denial system applications. *DefeMin, S.-H. et Al. (2021) 'Cell-Type Continuous Electromagnetic Radiation System Generating Millimeter Waves for Active Denial System Applications', Defence Technology. Elsevier Inc, (Xxxx). Doi: 10.1016/j.Dt.2021.10.014.Nce Technology, (xxxx).* <https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.10.014>
- Ohayon, M. M., Stolc, V., Freund, F. T., Milesi, C., & Sullivan, S. S. (2019). The potential for impact of man-made super low and extremely low frequency electromagnetic fields on sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 47, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.06.001>
- Olorunsola, A. B., Ikumapayi, O. M., Oladapo, B. I., Alimi, A. O., & Adeoye, A. O. M. (2021). Temporal variation of exposure

- from radio-frequency electromagnetic fields around mobile communication base stations. *Scientific African*. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00724>
- Phillips, J. L., Singh, N. P., & Lai, H. (2009). Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology*, *16*(2-3), 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2008.11.005>
- Prihatini, R., Abdullah, M. P., Bin Tuan Abdullah, T. A. R., Said, I., Hussin, H., & Saleh, N. M. (2017). Extremely low frequency electromagnetic field generator suitable for plant in vitro studies. *Research in Agricultural Engineering*, *63*(4), 180-186. <https://doi.org/10.17221/47/2016-RAE>
- Selmaoui, B. (2017). Effects of extremely low frequency (ELF) and radio-frequency (RF) on melatonin and cortisol, two markers of the circadian rhythms. *Toxicology Letters*, *280*, S31. <https://doi.org/10.1016/J.TOXLET.2017.07.076>
- Sladicekova, K., Bereta, M., Misek, J., Parizek, D., & Jakus, J. (2021). Biological Effects of a Low-Frequency Electromagnetic Field on Yeast Cells of the Genus *Saccharomyces Cerevisiae*. *Acta Medica Martiniana*, *21*(2), 34-41. <https://doi.org/10.2478/acm-2021-0006>
- Su, Y. P., Niu, H. W., Chen, J. B., Fu, Y. H., Xiao, G. B., & Sun, Q. F. (2014). Radiation dose in the thyroid and the thyroid cancer risk attributable to CT scans for pediatric patients in one general hospital of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(3), 2793-2803. <https://doi.org/10.3390/ijerph110302793>
- Tekutskaya, E. E., Barishev, M. G., & Ilchenko, G. P. (2015). The effect of a low-frequency electromagnetic field on DNA molecules in aqueous solutions. *Biophysics (Russian Federation)*, *60*(6), 913-916. <https://doi.org/10.1134/S000635091506024X>
- Toutou, Y., Selmaoui, B., & Lambrozo, J. (2022). Assessment of cortisol secretory pattern in workers chronically exposed to ELF-EMF generated by high voltage transmission lines and substations. *Environment International*, *161*, 107103. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2022.107103>
- Xu, S., Chen, G., Chen, C., Sun, C., Zhang, D., Murbach, M., ... Xu, Z. (2013). Cell Type-Dependent Induction of DNA Damage by 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Fields Does Not Result in Significant Cellular Dysfunctions. *PLoS ONE*, *8*(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054906>