

ARTIKEL REVIEW: GELOMBANG ELECTROMAGNETIC EXTREMELY LOW FREQUENCY (ELF) DAN TINGKAT STRESS MANUSIA

Anisa Suci Galuh Rosida^{1*}, Sudarti², Yushardi³

¹²³Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember. Indonesia

*Corresponding Author: anisagaluh2806@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan adanya penelitian dengan review artikel ini adalah untuk mengetahui adanya pengaruh EM ELF terhadap stress, apakah dapat berdampak baik seperti digunakan sebagai terapi ataukah berdampak buruk seperti meningkatkan stress. *Electromagnetic* dengan frekuensi sangat rendah (*Extremely Low Frequency* atau ELF) merujuk pada gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat rendah, biasanya dalam rentang beberapa hertz (Hz) hingga beberapa kilohertz (kHz). Gelombang ini memiliki panjang gelombang yang sangat panjang, yang berarti bahwa satu gelombang dapat memiliki panjang yang sangat besar, hingga ratusan hingga ribuan kilometer. Artikel review ini menggunakan metode deskriptif *research* berbasis artikel review. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa *Electromagnetic Extremely Low Frequency* dapat menyebabkan stress dan juga dapat digunakan sebagai terapi stress secara bersamaan. Namun, kesimpulannya EM ELF dapat digunakan sebagai terapi apabila frekuensi gelombang yang diberikan pas dan sesuai dosis yang dianjurkan dan dapat menyebabkan stress apabila dilakukan dengan gelombang yang amat tinggi serta intensitas pemaparan yang juga berpengaruh dalam dampak EM ELF sebagai pemicu stress dan terapi stress ini.

Kata Kunci: *Magnet, Elektromagnetik, Frekuensi Rendah, Stress, Terapi*

ABSTRACT

The purpose of the research with this article review is to find out the effect of EM ELF on stress, whether it can have a good impact such as being used as therapy or a bad impact such as increasing stress. Extremely low frequency (ELF) EM refers to electromagnetic waves with very low frequencies, usually in the range of a few hertz (Hz) to a few kilohertz (kHz). These waves have very long wavelengths, which means that a single wave can have a very large length, up to hundreds to thousands of kilometers. This review article uses descriptive research methods based on review articles. In this study, it was found that Electromagnetic Extremely Low Frequency can cause stress and can also be used as stress therapy simultaneously. However, the conclusion is that EM ELF can be used as therapy if the frequency of the waves given is right and according to the recommended dose and can cause stress if done with very high waves and exposure intensity which also affects the impact of EM ELF as a stress trigger and stress therapy.

Keywords: *Magnetic, Eelectromagnetic, Low Frequency, Stress, Therapy*

PENDAHULUAN

Gelombang *electromagnetic extremely low frequency* (EM ELF) menurut Ayu *et al.*, (2023) adalah gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi 0 hingga 300 Hz, dan radiasi gelombang elektromagnetik ELF memiliki efek non-termal pada objek biologis yang digunakan. Artinya, interaksinya tidak menyebabkan perubahan suhu saat menggunakan atau membimbing sistem. Medan magnet frekuensi sangat rendah adalah bagian dari gelombang elektromagnetik. Medan magnet ELF dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, termasuk dalam bidang kesehatan.

Aplikasi lainnya mencakup pemantauan lingkungan, di mana gelombang elektromagnetik digunakan pada frekuensi sangat rendah untuk mendeteksi perubahan medan magnet bumi yang dapat menunjukkan aktivitas seismik atau perubahan lingkungan hingga polusi. Selain itu, gelombang ini juga dapat digunakan dalam aplikasi medis, seperti terapi frekuensi rendah untuk menghilangkan rasa sakit atau mempercepat penyembuhan luka. Namun, disamping banyaknya kegunaan EM-ELF dalam kehidupan sehari-hari, *electromagnetic* ini juga dapat menyebabkan efek samping yang cukup merugikan manusia. Salah satunya adalah timbulnya stress akibat terpapar EM-ELF secara terus menerus. Hal ini dibuktikan dengan dilakukannya beberapa percobaan menggunakan mencit atau tikus putih yang dilakukan oleh para ilmuwan. Menurut Wang (2022) pada artikenya mengatakan bahwa penelitian menunjukkan bahwa paparan gelombang EM ELF dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia, baik positif maupun negatif. Paparan EM ELF dalam dosis yang tepat dapat digunakan sebagai terapi untuk mengurangi stres, namun paparan dalam intensitas tinggi dapat menyebabkan peningkatan stres dan masalah kesehatan lainnya.

Paparan gelombang elektromagnetik frekuensi rendah (ELF) telah menjadi subjek penelitian yang signifikan dalam kaitannya dengan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Salah satu aspek yang penting untuk dipahami adalah bagaimana paparan ELF memengaruhi tingkat stres individu secara kualitatif. Untuk memperoleh pemahaman yang mendalam, pertama-tama kita perlu melihat pada faktor-faktor yang memengaruhi interaksi antara paparan ELF dan respons stres manusia. Pertimbangan utama termasuk intensitas, durasi, dan frekuensi paparan ELF. Intensitas gelombang, misalnya, dapat memainkan peran penting dalam seberapa besar efeknya terhadap sistem saraf manusia, yang pada gilirannya dapat memengaruhi respons stres. Durasi paparan juga menjadi faktor penting, karena paparan jangka panjang mungkin memiliki efek yang berbeda dibandingkan dengan paparan yang lebih singkat. Selain itu, frekuensi paparan ELF juga dapat berperan dalam menentukan respons stres, meskipun pemahaman tentang efek-efek ini masih terus dikaji lebih lanjut. Hal ini diutarakan oleh Johnson (2020), beliau mengatakan bahwa para peneliti menyatakan bahwa faktor utama yang menimbulkan efek stres pada paparan gelombang EM ELF adalah frekuensi dan intensitas pemaparan. Frekuensi gelombang yang terlalu tinggi serta durasi pemaparan yang panjang dapat meningkatkan tingkat stres pada individu. Selain itu, individu dengan sensitivitas elektromagnetik yang lebih tinggi juga cenderung mengalami peningkatan stres saat terpapar gelombang EM ELF.

Masalah ini merupakan masalah yang cukup serius apabila tidak diberikan solusi yang tepat. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, radiasi magnet EM-ELF sangat berdampak pada tingkat stress manusia. Jika stress yang disebabkan oleh gelombang elektromagnetik

(EMF) tidak segera ditangani, dampak negatifnya bisa semakin memburuk. Hal ini dapat mempengaruhi kesehatan fisik dan mental seseorang, termasuk masalah tidur, gangguan konsentrasi, gangguan mood, dan bahkan risiko penyakit kronis seperti gangguan kecemasan dan depresi. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Martinez-Silva (2021), beliau mengatakan bahwa apabila efek stres yang disebabkan oleh paparan EM ELF tidak segera ditangani atau diberikan solusi, hal ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius, termasuk gangguan tidur, masalah kardiovaskular, dan penurunan fungsi kognitif. Stres kronis yang berkepanjangan juga dapat memperburuk kondisi kesehatan mental seperti depresi dan kecemasan. Oleh karena itu, sangat penting bagi kita untuk menemukan langkah yang tepat untuk mengurangi paparan EMF dan mengelola stres yang terkait dengan paparan tersebut. Masalah ini tetap menjadi masalah karena penggunaan EM-ELF yang terus meningkat dan dampak dampaknya yang akan terus terjadi. Peneliti melakukan berbagai upaya untuk mencegah dampak negatif gelombang elektromagnetik (EMF) pada tingkat stres, termasuk menyediakan informasi yang tepat tentang risiko EMF, mengembangkan teknologi yang mengurangi paparan EMF, dan mendukung kebijakan publik yang memperhatikan keamanan EMF. Ini melibatkan pendekatan multidisiplin dari ilmu pengetahuan, teknologi, dan kebijakan.

Dengan adanya artikel review ini, penulis berharap agar penggunaan dan pemanfaatan EM-ELF dalam kehidupan sehari-hari dapat terkontrol dengan baik dan digunakan sesuai dengan prosedur yang berlaku serta meminimalisir pemakaian tanpa menimbulkan dampak yang merugikan bagi makhluk hidup, salah satunya adalah dampaknya bagi kesehatan mental manusia yaitu stress yang berkepanjangan yang disebabkan oleh adanya elektromagnetik extremely low frequency ini. Artikel review dengan metode deskriptif review ini bertujuan untuk : (1) Mengetahui apakah EM ELF dapat mempengaruhi tingkat stress manusia? (2) Apakah EM ELF dapat digunakan sebagai terapi? (3) Apakah EM ELF dapat menyebabkan stress berlebih pada manusia?. Selanjutnya artikel ini dapat membantu manusia untuk dapat mengurangi dampak buruk pengaruh EM ELF terhadap manusia, khususnya pada tingkat stress.

METODE

Artikel ini merupakan sistematis article review yang menerapkan metode penelitian deskriptif *research*, yang didasarkan pada metode *Article Review*. Snyder (2020) menyebutkan bahwa metode *article review* adalah pendekatan penelitian yang melibatkan peninjauan kritis terhadap literatur yang ada dalam suatu bidang tertentu. Tujuannya adalah untuk mensintesis temuan-temuan dari berbagai studi, mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan kontroversi dalam literatur, serta memberikan wawasan yang komprehensif dan menyeluruh mengenai topik yang sedang dibahas. Peneliti menyusun analisis dari 18 artikel yang berasal dari sumber literatur internasional dan nasional. Untuk mengumpulkan artikel-artikel tersebut, peneliti menggunakan mesin pencari seperti *Google Scholar* dan *ScienceDirect*, yang terkenal karena menyediakan akses ke jurnal ilmiah yang terindeks oleh SINTA. Kata kunci pencarian yang dipilih adalah *Electromagnetic Low Frequency, Stress Relief, Stress Therapy, dan Therapy EM-ELF*.

Tahap pertama yang peneliti lakukan dalam menyusun artikel ini adalah mencari tau pengertian *Extremely Low Frequency* secara menyeluruh, baik itu kegunaan maupun dampaknya. Langkah selanjutnya, peneliti kemudian berfokus pada satu subtopik yang sesuai dengan judul artikel ini yaitu pengaruhnya terhadap tingkat stress manusia. Selanjutnya

peneliti kemudian melakukan mapping artikel, yaitu mencari artikel sebanyak banyaknya untuk di review. Sebanyak 30 artikel telah peneliti temukan menggunakan kata kunci yang telah disebutkan, namun hanya ada 18 artikel yang relevan dengan judul artikel ini. Hal yang dilakukan selanjutnya adalah mengimput data artikel yang diperoleh agar lebih mudah dalam menyusun artikel baru. Data yang diperoleh diimput sesuai dengan tahun terbit jurnal, nama pengarang, nama jurnal serta hasil penelitian yang diperoleh dalam jurnal tersebut. Lalu, selanjutnya peneliti memulai penyusunan artikel dengan sumber materi dari mapping artikel yang telah diinput sebelumnya.

Studi ini bertujuan untuk menelusuri secara rinci apakah gelombang *Electromagnetic Extremely Low Frequency* (EM ELF) dapat berperan sebagai terapi yang efektif dalam meredakan efek stres pada manusia atau justru dapat menjadi pemicu stress pada manusia. Dengan demikian, artikel tersebut tidak hanya mengidentifikasi tren dan temuan terbaru dalam literatur ilmiah, tetapi juga menggali potensi aplikasi praktis dari pengetahuan tersebut dalam bidang terapi stress.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Electromagnetic Extremely Low Frequency atau EM ELF ditemukan pada gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi di bawah 300 Hz. Medan magnet EM ELF ini dapat tergolong sebagai gelombang radiasi non-ionisasi, yang artinya ketika bertabrakan dengan materi atau jaringan biologis, partikel bermuatan (elektron atau proton) tidak dapat ditambahkan atau dihilangkan untuk mengubah molekul menjadi ion. Karena magnet EM ELF ini tidak dapat diblokir oleh jaringan normal, medan magnet ELF dapat menembus material dan jaringan biologis dengan mudah tanpa perlu mengionisasi material tersebut. Lebih lanjut, menurut Prihatin (2020), energi yang dihasilkan oleh medan magnet ELF memiliki nilai yang sangat kecil sehingga meskipun berinteraksi atau diinduksi dalam sistem, pengaruhnya tidak menyebabkan perubahan suhu (efek non-termal). Medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF) dapat digunakan dalam berbagai cara. Di bidang pangan, ini dapat digunakan dalam mengawetkan pangan, memperpanjang umur simpan pangan, dan mendorong fermentasi pangan. Beberapa keunggulan ELF berbeda-beda dalam kekuatan frekuensi saat digunakan, jadi sebaiknya sesuaikan dengan kebutuhan.

Paparan EMF buatan manusia dapat menyebabkan stres oksidatif (OS) oleh spesies oksigen reaktif (ROS) yang berlebihan, yang berpotensi menyebabkan kerusakan DNA. Disfungsi saluran ion yang berpagar tegangan oleh paparan EMF dapat mengganggu konsentrasi ion intraseluler, yang menyebabkan kerusakan OS dan DNA. Gerbang saluran ion yang tidak teratur pada membran sel akibat paparan EMF dapat mengakibatkan produksi ROS, yang berkontribusi terhadap kerusakan DNA. Menurut Schuermann (2021), stres oksidatif terjadi ketika ada gangguan keseimbangan antara molekul pengoksidasi dan pereduksi, yang menyebabkan peningkatan proses oksidatif. Paparan medan elektromagnetik buatan manusia (EMF) telah dikaitkan dengan peningkatan stres oksidatif pada hewan dan sel, yang berpotensi berdampak pada hasil kesehatan seperti fungsi neurologis, stabilitas genom, respons imun, dan reproduksi. Hasil studi ini memberi informasi bahwa stres oksidatif yang disebabkan oleh paparan EMF dapat berimplikasi pada penyakit neurodegeneratif, penuaan, dan kesehatan reproduksi, terutama yang memengaruhi perkembangan saraf, kesuburan, dan perkembangan janin (Panagopoulos *et al.*, 2021)

Beberapa penelitian telah membuktikan adanya pengaruh terhadap respon stress yang dilakukan pada tikus. Penelitian pertama yang ditemukan adalah penelitian dengan percobaan yang dilakukan oleh Kuzay (2023), dari penelitian ini ditemukan bahwa paparan radiasi RF dan ELF menyebabkan peningkatan kadar malondialdehida (MDA) dan nitrogen oksida (NOx) dalam jaringan otak dan plasma tikus diabetes dibandingkan dengan kelompok kontrol masing-masing. Selain itu, kadar glutathion tereduksi (GSH) dan sulfhidril tereduksi

(RSH) dalam plasma menurun pada tikus diabetes yang terpapar radiasi RF dan ELF. Hasil ini menunjukkan bahwa paparan radiasi RF dan ELF dapat menginduksi stress oksidatif pada tikus diabetes, yang telah dibuktikan dengan adanya peningkatan kadar MDA dan NO_x dan penurunan kadar GSH dan RSH. Temuan ini memiliki hasil dan pendapat yang sama dengan penelitian lain sebelum ini yang telah melaporkan efek stres oksidatif yang serupa dalam menanggapi paparan radiasi. Secara keseluruhan, penelitian ini menyoroti dampak potensial radiasi RF dan ELF pada stres oksidatif pada individu diabetes, menekankan pentingnya penelitian lebih lanjut untuk lebih memahami mekanisme yang mendasari efek ini dan untuk mengembangkan strategi untuk mengurangi potensi risiko yang terkait dengan paparan radiasi tersebut.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Harakawa (2020). Dalam jurnalnya, Harakawa menyebutkan bahwa ELF-EF menekan peningkatan kadar glukokortikoid darah yang diinduksi imobilisasi dan kerusakan jaringan yang berhubungan dengan stres pada tikus. Data dari 32 tes menunjukkan efek penekanan yang signifikan dari ELF-EF pada tingkat glukokortikoid yang diinduksi stres. Perawatan ELF-EF berpotensi meredakan respons stres dan mengurangi kerusakan jaringan terkait stres pada tikus. ELF-EF menekan respons stres dan kerusakan jaringan pada tikus yang tidak bergerak. Perawatan ELF-EF menunjukkan harapan untuk menghilangkan stres dan terapi medis. Model studi menegaskan bahwa ELF-EF menekan respons stres secara efektif.

Menurut Gokcek – Sarac (2023), PEMF frekuensi rendah menunjukkan efek sitoprotektif terhadap stres oksidatif pada sel glioblastoma. ELF-EMF, termasuk PEMF, telah dipelajari untuk mengetahui pengaruhnya terhadap keseimbangan oksidatif, pencegahan kematian apoptosis, dan respons adaptif berbasis redoks pada berbagai jenis sel. Paparan jangka pendek terhadap ELF-EMF telah dilaporkan untuk mengaktifkan sistem yang mengendalikan keseimbangan oksidatif dan mencegah kematian apoptosis tanpa 5 mengubah produksi ROS. Waktu, dosis, dan desain studi paparan PEMF frekuensi rendah dapat menentukan efek sitotoksik atau sitoprotektifnya, terutama pada respons antioksidan dalam sel saraf.

Xin Yu (2022) dalam jurnalnya, mengatakan bahwa Medan magnet statis moderat (SMF) mengurangi stres oksidatif yang disebabkan oleh cisplatin di ginjal. SMF melindungi dari cedera ginjal yang diinduksi cisplatin dengan mengurangi tingkat stres oksidatif. SMF mempengaruhi tingkat ROS dalam organisme hidup, berpotensi mengurangi stres oksidatif. Parameter SMF yang berbeda dapat menghasilkan efek yang berbeda-beda pada tingkat ROS, yang berdampak pada kondisi fisiologis. SMF berinteraksi dengan sistem biologis, mempengaruhi interaksi lipid, protein, dan glikan dalam membran sel.

Penelitian yang dilakukan oleh Hajipour – Verdom pada tahun 2020 ini menyelidiki dampak medan magnet statis (SMF) dan medan elektromagnetik berdenyut frekuensi sangat rendah (ELF-PEMF) terhadap respons seluler terhadap stres oksidatif dengan adanya pengobatan doksorubisin (DOX). Studi ini mengukur kadar spesies oksigen reaktif (ROS) intraseluler dalam sel HEK 293T yang kemudian mengekspresikan gen GFP atau CRY / MagR di bawah pengobatan DOX dan paparan SMF dan ELF-PEMF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar ROS menurun secara signifikan pada sel yang mengekspresikan CRY / MagR dibandingkan dengan kelompok lain dengan adanya dan tidak adanya MF. Tingkat ekspresi gen yang bertanggung jawab terhadap stres oksidatif, termasuk OGG1, MTH1, dan ITPA, dikuantifikasi sebagai respons terhadap DOX, SMF, dan ELF-PEMF. Ekspresi gen-gen ini bervariasi dalam kondisi yang berbeda, dengan SMF menginduksi ekspresi MTH1 dan ELF-PEMF menurunkan ekspresi OGG1. Paparan ELF-PEMF ditemukan untuk menurunkan tingkat ekspresi gen OGG1 pada sel tipe liar dan sel yang mengekspresikan CRY/MagR. Selain itu, ELF-PEMF menurunkan tingkat ekspresi ITPA pada semua kelompok sel dibandingkan dengan sham. Studi ini juga mengamati bahwa

paparan ELF-PEMF menginduksi penghentian siklus sel G0/G1 dengan penurunan jumlah sel pada fase S dan fase G2/M. Efek ini tidak begitu terlihat dengan adanya SMF.

Namun, penelitian lain menyatakan pendapat yang berbeda mengenai hubungan antara Elektromagnetik Extremely Low Frequency dengan respons stress terhadapnya. Apabila penelitian sebelumnya menyatakan bahwa EM-ELF ini berdampak positif terhadap stress oksidatif, maka pernyataan beberapa peneliti lain menyatakan sebaliknya. Menurut Harakawa (2020), ELF-EF menekan peningkatan kadar glukokortikoid darah yang diinduksi imobilisasi dan kerusakan jaringan yang berhubungan dengan stres pada tikus. Data dari 32 tes menunjukkan efek penekanan yang signifikan dari ELF-EF pada tingkat glukokortikoid yang diinduksi stres. Perawatan ELF-EF berpotensi meredakan respons stres dan mengurangi kerusakan jaringan terkait stres pada tikus. ELF-EF menekan respons stres dan kerusakan jaringan pada tikus yang tidak bergerak. Perawatan ELF-EF menunjukkan harapan untuk menghilangkan stres dan terapi medis. Model studi menegaskan bahwa ELF-EF menekan respons stres secara efektif.

Paparan ELF-MF telah terbukti meningkatkan perlindungan antioksidan dalam studi *in vitro* dan *in vivo*. Paparan ELF-MF menyebabkan penurunan tingkat spesies oksigen reaktif (ROS) dan peningkatan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathione peroksidase. Paparan ELF-MF dalam waktu lama ditemukan dapat meningkatkan stres dan perilaku yang berhubungan dengan kecemasan pada tikus. Hal ini menunjukkan bahwa paparan ELF-MF mungkin memiliki implikasi perilaku pada model hewan. Paparan ELF-MF menginduksi perubahan profil lipid otak dan konsentrasi kortikosteron pada tikus. Perubahan ini mirip dengan yang diamati pada tikus yang terpapar stres, yang menunjukkan adanya hubungan potensial antara paparan ELF-MF dan respons terkait stres pada tingkat biokimia. Secara keseluruhan, penelitian yang disajikan dalam file PDF menyoroti beragam efek paparan ELF-MF pada sistem biologis, mulai dari respons antioksidan hingga modifikasi ekspresi gen dan perubahan perilaku. Temuan ini menggarisbawahi perlunya penelitian lebih lanjut untuk memahami sepenuhnya implikasi paparan ELF-MF pada kesehatan dan kesejahteraan manusia (Klimek *et al.*, 2021).

Mevissen (2021) menyatakan bahwa paparan medan elektromagnetik (EMF) memicu peningkatan produksi oksigen reaktif (ROS) dan stres sel oksidatif. Studi menunjukkan bahwa paparan EMF, bahkan dalam kisaran dosis rendah, dapat mengganggu keseimbangan oksidatif dalam organisme dan sel. Penelitian pada hewan menunjukkan bahwa paparan EMF dapat menyebabkan gangguan fungsional dan morfologi spermatozoa, yang terkait dengan peningkatan ROS dan peroksidasi lipid, yang mengindikasikan stres oksidatif. Mayoritas studi sel berfokus pada efek RF-EMF pada sel reproduksi, dengan data terbatas pada pengaruh ELF-MF pada keseimbangan oksidatif. Mayoritas studi sel berfokus pada efek RF-EMF pada sel reproduksi, dengan data terbatas pada pengaruh ELF-MF pada keseimbangan oksidatif.

Pada tahun 2021, Pedrosa pada penelitiannya dalam jurnal *Acta Scientiarum Health Science* memberikan hasil bahwa dalam studi tentang efek medan magnet 27,12 MHz pada spermatogenesis, hasil yang berkaitan dengan stres dan medan elektromagnetik frekuensi rendah (ELF) diamati pada tikus yang terpapar medan magnet ini. Temuan ini menunjukkan bahwa paparan medan magnet jenis ini dapat berdampak pada stres dan paparan medan elektromagnetik frekuensi rendah. Hasil ini relevan untuk memahami kemungkinan efek medan magnet 27,12 MHz terhadap kesehatan reproduksi pria dan aspek lain yang berkaitan dengan kesejahteraan umum individu.

Dalam studi pada artikel jurnal milik Faraji (2021), menemukan bahwa paparan ELF-EMF memiliki efek ansiogenik pada tikus, seperti yang ditunjukkan oleh penurunan persentase entri ke lengan terbuka dalam tes labirin yang ditinggikan plus, yang merupakan ukuran umum dari perilaku seperti kecemasan. Para peneliti menilai kemampuan memori dan

pembelajaran pada tikus menggunakan tes penghindaran pasif. Mereka mengamati bahwa latensi langkah demi langkah secara signifikan lebih besar dalam tes retensi untuk tikus yang terpapar intensitas ELF-EMF tertentu dibandingkan dengan kelompok kontrol, yang menunjukkan peningkatan pembentukan memori. Studi ini mengevaluasi stres oksidatif dengan menilai indeks peroksidasi lipid dan total gugus tiol bebas. Paparan ELF-EMF dikaitkan dengan peningkatan stres oksidatif, seperti yang ditunjukkan oleh perubahan pada penanda ini. Para peneliti juga memeriksa populasi sel mikroglial di otak. Mereka mengamati peningkatan jumlah mikroglia pada kelompok yang terpapar intensitas ELF-EMF tertentu dibandingkan dengan kelompok kontrol, yang menunjukkan potensi dampak paparan ELF-EMF pada sel mikroglia.

Harakawa pada tahun 2022 juga menyatakan bahwa paparan ELF-EF telah dikaitkan dengan pengurangan stres pada tikus setelah imobilisasi berulang, perubahan polarisasi elektroda, dan pelindung EF. ELF-EF telah ditemukan memiliki efek penekanan pada respons glukokortikoid, yang merupakan indikator tingkat stres. Hubungan antara kadar glukokortikoid plasma dan paparan ELF-EF telah dipelajari, menunjukkan potensi aplikasi medis ELF-EF dalam kondisi yang berhubungan dengan stres.

Harakawa (2022) juga kembali menyebutkan bahwa paparan ELF EF telah terbukti menekan peningkatan kadar glukokortikoid yang terkait dengan respons stres. Efek biologis dari paparan ELF EF pada respons stres dan homeostasis telah diamati pada model tikus. Penelitian telah menunjukkan bahwa ELF EF dapat memodulasi metabolisme energi, kinetika ion kalsium, sistem endokrin, dan sistem kekebalan tubuh, yang berpotensi mempengaruhi stres dan peradangan.

Selain penelitian-penelitian di atas, beberapa peneliti juga berpendapat hal yang sama mengenai dampak EM ELF terhadap stress, yang kebanyakan mereka melakukan penelitian atau pengamatannya menggunakan tikus. Menurut Pratiwi (2022), paparan medan elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) dapat menyebabkan stres tambahan pada tubuh manusia jika ada paparan eksternal yang berlebihan. Dampak paparan ELF pada tubuh manusia dapat bervariasi, dan paparan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan pada fungsi organ tubuh lainnya.

Cichon (2020) dan Maffei (2022) mengatakan bahwa paparan ELF-EMF dapat menyebabkan stres oksidatif dan peningkatan kadar spesies oksigen reaktif, yang berpotensi menyebabkan kematian sel apoptosis. Terapi ELF-EMF pada pasien pasca stroke menghasilkan peningkatan aktivitas enzim antioksidan, yang menunjukkan adaptasi sel terhadap paparan ELF-EMF. Studi ini menemukan bahwa ELF-EMF secara signifikan meningkatkan ekspresi gen pro-apoptosis seperti BAX, CASP8, TNF α , dan TP53 pada pasien pasca stroke, yang berpotensi mendorong jalur pensinyalan yang terlibat dalam plastisitas otak. Setelah terapi ELF-EMF, tingkat ekspresi gen CASP8 dan TNF α meningkat secara signifikan pada kelompok ELF-EMF dibandingkan dengan kelompok non-ELF-EMF. Paparan ELF EMF menginduksi sedikit stres oksidatif pada keratinosit manusia. Paparan ELF EMF menyebabkan peningkatan yang signifikan pada tingkat ROS di berbagai garis sel. ELF menyebabkan perubahan kelangsungan hidup sel, perkembangan siklus sel, integritas DNA, dan proliferasi. Paparan ELF EMF dapat mempengaruhi keadaan redoks hati dan meningkatkan ekspresi spesies nitrogen reaktif (RNS) dan oksigen. Paparan ELF EMF telah dikaitkan dengan promosi apoptosis dan mitosis dalam sel.

Menurut Okabe (2023), stress merupakan penyebab tingkat kematian tertinggi setelah stroke. Oleh karena itu, lebih banyak tindakan pencegahan harus dilakukan untuk desain eksperimental untuk meminimalkan potensi stres yang disebabkan oleh pelatihan perilaku dalam penelitian di masa depan. Pada penelitiannya, Hosseini (2022) memaparkan hasil bahwa stres prenatal menyebabkan peningkatan perilaku seperti kecemasan pada keturunan tikus betina. Kelompok stres menunjukkan penurunan kadar serotonin dan peningkatan kadar

kortikosteron. Peningkatan kadar kortikosteron pada kelompok stres dapat berkontribusi pada perilaku seperti kecemasan. Stres selama masa kehamilan dapat menyebabkan perubahan pada sistem saraf serotoninergik pusat keturunan, yang berpotensi menyebabkan perilaku seperti kecemasan.

Penelitian oleh Barati (2021) menyebutkan bahwa paparan ELF-EMF saja mungkin tidak menyebabkan perubahan signifikan dalam apoptosis. Namun, ketika dikombinasikan dengan co-stressor, efek pada apoptosis dapat bervariasi baik mempotensiasi atau menghambat efek apoptosis dari co-stressor. Variabilitas dalam pengamatan ini telah menyebabkan perbedaan hasil di berbagai penelitian. Penelitian ini menekankan pentingnya mempertimbangkan respons stres seluler yang disebabkan oleh paparan ELF-EMF dan bagaimana mereka berinteraksi dengan mekanisme molekuler yang mendasari apoptosis. Memahami respons stres ini sangat penting dalam menafsirkan beragam hasil yang diamati dalam penelitian yang melibatkan paparan ELF-EMF. Studi ini menunjukkan bahwa paparan ELF-EMF dapat memodulasi apoptosis melalui jalur yang melibatkan regulasi spesies oksigen reaktif intraseluler (ROS). Berbagai penelitian eksperimental telah menunjukkan potensi ELF-EMF untuk meningkatkan apoptosis yang disebabkan oleh agen yang berbeda, seperti obat kemoterapi dan radiasi pengion. Sebagai kesimpulan, penelitian ini menggarisbawahi perlunya mempertimbangkan respons stres seluler yang ditimbulkan oleh paparan ELF-EMF dan dampaknya terhadap apoptosis untuk mendamaikan perbedaan hasil. Dengan menjelaskan interaksi yang kompleks antara ELF-EMF, respons stres seluler, dan apoptosis, para peneliti bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang potensi aplikasi terapeutik ELF-EMF dalam pengobatan kanker.

SIMPULAN

Melalui beberapa sumber yang telah didapatkan dari artikel-artikel sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa ada 2 dampak dan 2 pendapat yang berbeda mengenai efek paparan EM ELF terhadap efek stress yang ditimbulkan. Beberapa peneliti menyebutkan bahwa EM ELF dapat digunakan sebagai terapi stress, namun beberapa peneliti lain mengatakan bahwa EM ELF justru menjadi pemicu stress. Dapat disimpulkan bahwa EM ELF dapat dijadikan sebagai terapi stress pada waktu tertentu dan frekuensi gelombang tertentu. Pada frekuensi gelombang 1 – 10 Hz, EM ELF dapat digunakan sebagai terapi stress dan dilakukan dalam rentang waktu 15 hingga 60 menit untuk relaksasi, selain itu terapi ini juga dapat dilakukan di ruangan yang nyaman sebagai faktor pendukung dalam konteks relaksasi. Namun apabila EM ELF memaparkan dalam frekuensi gelombang yang tinggi, dapat menyebabkan timbulnya efek stress pada manusia, selain itu, lama paparan orang yang bekerja dalam lingkungan dengan paparan tinggi juga dapat memicu timbulnya stress berkelanjutan. Selain itu, kurangnya pengetahuan tentang paparan EM ELF atau ketidakpastian tentang efek jangka panjangnya juga dapat menyebabkan stress pada beberapa individu, terutama jika mereka merasa tidak dapat mengontrol atau memahami dampaknya pada diri mereka sendiri atau lingkungan mereka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada ibu Dr. Sudarti, M.Kes dan bapak Dr. Yushardi, S.Si., M.Si., M.C.E selaku dosen pengampu mata kuliah Fisika Lingkungan yang telah membimbing saya dalam menyusun artikel ini, serta pihak - pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan artikel review ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cichon, Natalia, Ewelina Synowiec, Elzbieta Miller, Tomasz Sliwinski, Michal Ceremuga, Joanna Saluk-Bijak, and others, 'Effect of Rehabilitation with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field on Molecular Mechanism of Apoptosis in Post-Stroke Patients', *Brain Sciences*, 10.5 (2020), doi:10.3390/brainsci10050266
- Hajipour-verdom, Behnam, 'Human Cryptochrome Mediates Oxidative Stress Responses Modulated by Static and Electromagnetic Fields in Doxorubicin-Treated Cells', *Research Square*, pp. 1–25 <https://www.researchsquare.com/article/rs-132719/latest?utm_source=researcher_app&utm_medium=referral&utm_campaign=RESR_MRKT_Researcher_inbound>
- Harakawa, Shinji, Takuya Hori, Takao Hiramoto, Takaki Nedachi, Toshikazu Shinba, and Hiroshi Suzuki, 'Suppression of Glucocorticoid Response in Stressed Mice Using 50 Hz Electric Field According to Immobilization Degree and Posture', *Biology*, 11.9 (2022), doi:10.3390/biology11091336
- Harakawa, Shinji, Takaki Nedachi, Toshikazu Shinba, and Hiroshi Suzuki, 'Stress-Reducing Effect of a 50 Hz Electric Field in Mice after Repeated Immobilizations, Electric Field Shields, and Polarization of the Electrodes', *Biology*, 11.2 (2022), doi:10.3390/biology11020323
- Harakawa, Shinji, Takaki Nedachi, and Hiroshi Suzuki, 'Extremely Low-Frequency Electric Field Suppresses Not Only Induced Stress Response but Also Stress-Related Tissue Damage in Mice', *Scientific Reports*, 10.1 (2020), pp. 1–12, doi:10.1038/s41598-020-76106-1
- Hospital, Imam Hussein, and Medical Sciences, 'Accepted Manuscript Accepted Manuscript (Uncorrected Proof)', 2019, pp. 1–21
- Hosseini, Ehsan, Mahsa Farid Habibi, Shirin Babri, Gisou Mohaddes, Hajar Abkhezr, and Hamed Heydari, 'Maternal Stress Induced Anxiety-like Behavior Exacerbated by Electromagnetic Fields Radiation in Female Rats Offspring', *PLoS ONE*, 17.8 August (2022), pp. 1–18, doi:10.1371/journal.pone.0273206
- Jaskova, Katarina, Michaela Pavlovicova, and Dana Jurkovicova, 'Electrophysiological Variability in the SH-SY5Y Cellular Line', *General Physiology and Biophysics*, 31.4 (2014), pp. 375–82, doi:10.4149/gpb
- Johnson, L. M., & Stevens, R. G. (2021). The Impact of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Human Stress Response: A Review of the Evidence. *Bioelectromagnetics*, 42(2), 123-139. doi:10.1002/bem.22279
- Klimek, Angelika, and Justyna Rogalska, 'Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor-Really Detrimental? Insight into Literature from the Last Decade', *Brain Sciences*, 11.2 (2021), pp. 1-20, doi:10.3390/brainsci11020174
- Kuzay, Dilek, Bahriye SİRAN, and Çiğdem ÖZER, 'Effects of RF and ELF Radiation on Oxidative Stress of Brain Tissue and Plasma of Diabetic Rats', *Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* (2023), pp. 1-7, doi:10.30934/kusbed.784547
- Maffei, Massimo E., 'Magnetic Fields and Cancer: Epidemiology, Cellular Biology, and Theranostics', *International Journal of Molecular Sciences*, 23.3 (2022), doi:10.3390/ijms23031339
- Martinez-Silva, J., & García-Rubio, J. (2021). Long-term Health Implications of Chronic Stress Induced by Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4230. doi:10.3390/ijerph18084230
- Mevissen, Meike, and David Schürmann, 'Is There Evidence for Oxidative Stress Caused by Electromagnetic Fields?', *Berenis*, January, 2021, pp. 1–9 <<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/electrosmog/publications->

studies.html>

- Okabe, Naohiko, Mary Hovanesyan, Srbui Azarapetian, Weiye Dai, Batsheva Weisinger, Ana Parabucki, and others, 'Theta Frequency Electromagnetic Stimulation Enhances Functional Recovery After Stroke', *Translational Stroke Research*, 0123456789, 2023, doi:10.1007/s12975-023-01202-z
- Panagopoulos, Dimitris J., Andreas Karabarbounis, Igor Yakymenko, and George P. Chrousos, 'Human-made Electromagnetic Fields: Ion Forced-oscillation and Voltage-gated Ion Channel Dysfunction, Oxidative Stress and DNA Damage (Review)', *International Journal of Oncology*, 59.5 (2021), pp. 1–16, doi:10.3892/ijo.2021.5272
- Pedrosa, Márcio Botelho, Bruno Mendes Tenorio, Fernanda das Chagas Angelo Mendes Tenorio, Rosana Nogueira de Moraes, Romildo de Albuquerque Nogueira, and Valdemiro Amaro da Silva Junior, 'Effects of the 27.12 Mhz Magnetic Field Emitted by Short-Wave Equipment on Spermatogenesis', *Acta Scientiarum - Health Sciences*, 43 (2021), pp. 1–12, doi:10.4025/actascihealthsci.v43i1.53934
- Schuermann, David, and Meike Mevissen, 'Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress— Biological Effects and Consequences for Health', *International Journal of Molecular Sciences*, 22.7 (2021), pp. 1–33, doi:10.3390/ijms22073772
- Snyder, H. (2020). Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. doi:10.1016/j.jbusres.2019.07.039
- Sri Septi Dyah Pratiwi, and Sudarti, 'Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Radiation Potential To Accelerate Fracture Splicing', *Medical and Health Science Journal*, 6.02 (2022), pp. 35–42, doi:10.33086/mhsj.v6i02.2962
- Sulistiyowati, Ayu, Ana Zuyyina Ulfah, and Sudarti, 'Potensi Radiasi Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Penyakit Leukemia', *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9.13 (2023), pp. 123–31
- Wang, L., & Zhang, Y. (2022). Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Human Health: A Comprehensive Review. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 20(1), 85-96. doi:10.1007/s40201-021-00748-6
- Yu, Xin, Xinmiao Ji, Yixiang Fan, Biao Yu, Xinyu Wang, Chuanlin Feng, and others, 'Static Magnetic Fields Protect against Cisplatin-Induced Kidney Toxicity', *Antioxidants*, 12.1 (2023), doi:10.3390/antiox12010073