

## Potensi Pemanfaatan Radiasi Medan Elektromagnetik Extremely Low Frequency untuk Terapi Kesehatan Tulang

Wina Tiodora Br Sinuraya<sup>\*1</sup>, Anggrek Adewina Siahaan<sup>2</sup>, Sudarti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>winasinuraya1@gmail.com, <sup>2</sup>anggreksiahaan1@gmail.com, <sup>3</sup>sudarti.fkip@unej.id

### Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kualitatif. Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah dengan melakukan kajian literatur dari berbagai jurnal nasional dan internasional yang relevan seperti Google Scholar, ScienceDirect, SpringerOpen, dan PubMed. Hasil penelitian menunjukkan bahwa extremely low frequency (ELF) sangat berperan penting dalam pertumbuhan dan penyembuhan tulang. Terapi tulang menggunakan ELF dapat merangsang fungsi osteoblas, yang merupakan sel-sel yang bertanggung jawab untuk pembentukan tulang baru. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dari berbagai jurnal relevan, baik nasional maupun internasional, disimpulkan bahwa pemanfaatan ELF dalam terapi kesehatan tulang memiliki potensi yang signifikan dan layak untuk dijelajahi lebih lanjut sebagai solusi terapi yang efektif dan inovatif untuk masalah kesehatan tulang di masa depan.

**Kata kunci:** *Extremely Low Frequency, Kesehatan Tulang, Terapi*

### Abstract

*This research was conducted to determine the potential for using very low frequency electromagnetic field (ELF) radiation for bone health therapy. The type of research used is qualitative descriptive research. The method used in this research is to conduct a literature study of various relevant national and international journals such as Google Scholar, ScienceDirect, SpringerOpen, and PubMed. The results show that very low frequencies (ELF) play an important role in bone growth and healing. Bone therapy using ELF can stimulate osteoblastic function, namely the cells responsible for the formation of new bone. Based on analysis from various related journals, both national and international, it is concluded that the use of ELF in bone health therapy has quite large potential and deserves to be explored further as an effective and innovative therapeutic solution for bone health problems in the future.*

**Keywords:** *Bone Health, Extremely Low Frequency, Therapy*

## 1. PENDAHULUAN

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak memiliki perantara. Perambatan gelombang elektromagnetik tanpa perantara disebut dengan peristiwa radiasi (Hindiyati & Sudarti, 2023). Radiasi elektromagnetik adalah emisi energi yang dibentuk oleh kombinasi medan listrik dan magnet. Paparan radiasi medan elektromagnetik selalu ada di lingkungan sekitar. Sumber gelombang elektromagnetik dihasilkan oleh matahari dan bumi dalam bentuk spektrum gelombang, seperti gelombang mikro, gelombang radio, infra merah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar X dan sinar gamma (Sadidah et al., 2015). Radiasi elektromagnetik dengan frekuensi 30-300 Hz disebut dengan Extremely Low Frequency (ELF). Radiasi ELF termasuk salah satu radiasi non-ionizing, hal ini dikarenakan radiasi yang dipancarkan pada ELF tidak dapat mengionisasi material apapun yang dilaluinya (Wismaya & Sugianto, 2022). Radiasi ELF diketahui memiliki efek non-termal ketika berinteraksi dengan sistem lain (Ariyani et al., 2019).

Medan magnet extreme low frequency (ELF) adalah spektrum gelombang elektromagnetik dengan frekuensi < 300 Hz (Afkarina et al., 2020). Radiasi ELF merupakan jenis radiasi elektromagnetik yang memiliki frekuensi sangat rendah, dengan panjang gelombang yang sangat besar. Selama abad ke-20,

paparan radiasi medan elektromagnetik telah meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik dan kemajuan teknologi. 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. Dimana Radiasi ELF ini dihasilkan oleh perangkat listrik, jaringan distribusi daya tegangan tinggi, dan sumber saluran listrik. Salah satu sumber paparan radiasi elektromagnetik adalah sistem tenaga listrik. Dimana sumber medan magnet ELF eksternal, seperti saluran listrik, dan sumber tegangan di sekitar manusia memengaruhi sistem biologi (Wismaya & Sugianto, 2022).

Medan magnet extreme low frequency (ELF) memiliki beberapa efek potensial, salah satunya terhadap kesehatan manusia (Faridawati et al., 2023). Dalam bidang terapi kesehatan, radiasi medan magnet extreme low frequency (ELF) telah menjadi subjek penelitian yang semakin menarik. Pada bidang kesehatan penggunaan ELF digunakan untuk terapi kesehatan yang memungkinkan pengembangan teknologi medis dan metode terapi yang inovatif. Penggunaan medan elektromagnetik dapat menjadi komponen terapi kesehatan dari berbagai situasi, seperti pemanfaatan dalam bidang pengobatan tulang. Paparan medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF) dapat mempengaruhi kesehatan tulang dimana beberapa penelitian menunjukkan bahwa paparan ELF-MF dapat mempengaruhi pertumbuhan tulang, kepadatan tulang, dan metabolisme tulang (Lazzarini et al., 2023). Extremely low frequency (ELF) memiliki hubungan positif dengan kandungan mineral tulang (BMC) dan kepadatan mineral tulang (BMD). Bone Mineral Density (BMD) adalah faktor yang menentukan kekuatan tulang (Arvin et al., 2023). ELF dapat mempengaruhi metabolisme seluler dan merangsang pertumbuhan yang menghasilkan perbaikan pada penyejajaran trabekula dan tulang rawan (Elsisi et al., 2015). Paparan ELF sangat bermanfaat untuk pengobatan tulang karena mampu membantu proses pembentukan sel tulang. Oleh karena itu, dengan penggunaan intensitas medan magnet ELF yang tepat diharapkan dapat menjadi alternatif terapi tulang (Sudarti et al., 2021).

Pada penelitian kali ini, peneliti akan membahas potensi penggunaan medan magnet extreme low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang. Ini mencakup dasar-dasar radiasi ELF dan teori-teorinya, serta temuan penelitian terbaru yang menunjukkan manfaat medan magnet extreme low frequency (ELF) untuk kesehatan tulang. Diharapkan penelitian ini akan memberikan wawasan yang lebih dalam tentang potensi penggunaan radiasi ELF dalam terapi tulang serta mendorong pengembangan dan peningkatan pemahaman tentang bagaimana radiasi ini berdampak pada terapi tulang. Dengan demikian, penelitian ini akan berkontribusi positif terhadap upaya untuk meningkatkan kesehatan tulang secara keseluruhan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk ke dalam jenis penelitian kualitatif atau analisis data yang kemudian hasilnya dijelaskan secara deskriptif. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan kajian literatur dari berbagai jurnal nasional dan internasional yang relevan. Kajian literatur dianggap penting karena berfungsi sebagai landasan mengenai alasan peneliti memilih tema dan judul tertentu. Kajian literatur merupakan dasar lingkup penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Kajian literatur terdiri dari bagian-bagian yang menjelaskan tentang teori, hasil, dan bahan penelitian yang berguna untuk penelitian yang dilakukan (Ridwan et al., 2021). Kajian literatur bertujuan untuk menyusun informasi yang diperoleh menjadi lebih terstruktur serta berdasarkan fakta yang relevan. Kajian literatur memberikan peneliti mengenai gambaran masalah yang akan diteliti, memberikan dukungan teoritis konseptual bagi peneliti, dan berguna untuk bahan diskusi atau pembahasan dalam penelitian (Ridwan et al., 2021).

Pada studi ini peneliti mengkaji materi tentang potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang yang telah dipublikasikan sebelumnya, dimana peneliti akan menganalisis lalu menyajikan hasil data studi, serta membandingkannya dengan penelitian-penelitian sebelumnya, dimana sumber penelitian tersebut dapat diakses melalui *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *SpringerOpen*, dan *PubMed*. Selain itu, langkah tambahan yang dilakukan adalah verifikasi keabsahan dan keandalan data yang diperoleh dari sumber-sumber tersebut. Setelah itu, dilakukan interpretasi terhadap data untuk mendukung temuan penelitian. Pada proses kajian

literatur akan meningkatkan pemahaman peneliti tentang potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi kemajuan terbaru dalam penelitian mengenai potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang. Dalam analisis ini, peneliti juga akan memperoleh pengetahuan yang lebih mendalam tentang bagaimana cara extremely low frequency (ELF) dapat berpengaruh terhadap kesehatan tulang. Sehingga jurnal yang berjudul potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang dapat tercipta.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

ELF-PEMF (Extremely Low-Frequency Pulsed Electromagnetic Field) adalah terapi yang menggunakan medan elektromagnetik dengan frekuensi sangat rendah untuk merangsang proses penyembuhan tulang. ELF-PEMF memiliki peran penting dalam penyembuhan tulang. Terapi tulang menggunakan ELF dapat merangsang fungsi osteoblas, yang merupakan sel-sel yang bertanggung jawab untuk pembentukan tulang baru. ELF-PEMF juga dapat meningkatkan produksi matriks tulang dan mineralisasi yang diperlukan untuk proses penyembuhan tulang. Selain itu, terapi ini dapat meningkatkan aliran darah ke area yang terluka serta membantu mengirimkan nutrisi dan oksigen yang dibutuhkan oleh sel-sel tulang untuk penyembuhan yang optimal (Ziegler et al., 2019). ELF-PEMF telah digunakan dalam berbagai kondisi medis, termasuk fraktur tulang, osteoporosis, nyeri kronis, dan gangguan neurologis. Tujuan utama dari terapi ini adalah untuk meningkatkan proses penyembuhan, mengurangi nyeri, meningkatkan fungsi tubuh, dan memperbaiki kualitas hidup pasien (Liu et al., 2021).

Adapun penelitian relevan tentang pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) untuk terapi tulang juga dapat ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Ehnert et al (2019), yang membahas tentang penggunaan ELF-PEMF untuk regenerasi tulang pasca trauma dan operasi ortopedi. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa terdapat bukti kuat pengaruh penggunaan pengobatan ELF-PEMF terhadap tulang. Penelitian ini menyoroti bahwa paparan ELF-PEMF dapat menginduksi ekspresi dan aktivitas enzim antioksidan yang penting untuk kelangsungan hidup dan kesehatan organisme. Artikel ini menyebutkan bahwa ELF-PEMF dapat memperbaiki proliferasi sel tulang dan diferensiasi osteogenik, yang mengarah pada peningkatan pembentukan tulang. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ziegler et al (2019), yang menunjukkan bahwa terapi medan elektromagnetik berfrekuensi sangat rendah (ELF-PEMF) memiliki efek positif pada konsolidasi tulang setelah osteotomi tibial tinggi (HTO) pada pasien lanjut usia. Pengobatan ELF-PEMF menyebabkan konsolidasi tulang yang lebih cepat dibandingkan dengan pengobatan plasebo, terutama pada pasien berusia 50 tahun ke atas. Paparan ELF-PEMF juga dapat menginduksi mekanisme pertahanan antioksidan pada hOBs dan bermanfaat untuk pembentukan tulang saat kondisi stres oksidatif. Secara keseluruhan, ELF-PEMF dapat menginduksi mekanisme pertahanan antioksidan pada hOBs dengan meningkatkan produksi ROS dan mengaktifkan enzim antioksidan. Dimana ini bermanfaat untuk pembentukan tulang dalam kondisi stres oksidatif, seperti pada proses penyembuhan fraktur (Ehnert et al., 2019).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Oltean-Dan et al (2019), diperoleh bahwa penggunaan medan elektromagnetik juga terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan dan penyembuhan tulang. Studi ini menemukan bahwa kelompok yang terpapar medan elektromagnetik memiliki volume tulang yang lebih besar, rasio volume tulang terhadap volume jaringan total yang lebih tinggi, dan kekuatan mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tidak terpapar medan elektromagnetik. Selain itu, medan elektromagnetik juga dapat mempengaruhi diferensiasi sel osteoprogenitor dan pengobatan osteoarthritis. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Elsis et al (2015), yang menguji efek paparan medan elektromagnetik dan latihan beban sirkuit terhadap kepadatan mineral tulang pada wanita lanjut usia. Dimana kedua kelompok menunjukkan peningkatan pada kepadatan mineral tulang, tetapi kelompok medan elektromagnetik menunjukkan peningkatan yang lebih besar. Medan elektromagnetik ditemukan dapat merangsang penumpukan kalsium dalam tulang dan meningkatkan pembentukan tulang. Temuan ini menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik dapat menjadi pengobatan yang bermanfaat untuk meningkatkan kesehatan tulang pada wanita lanjut

usia. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya paparan elektromagnetik mampu meningkatkan pertumbuhan dan penyembuhan tulang, meningkatkan volume tulang, rasio volume tulang terhadap volume jaringan total, dan kekuatan mekanik tulang.

Paparan medan elektromagnetik frekuensi sangat rendah (ELF-EMF) juga dapat dimanfaatkan terhadap diferensiasi osteogenik sel punca ligamen periodontal manusia (hPDLSCs). Diferensiasi osteogenik adalah proses di mana sel punca ligamen periodontal manusia (hPDLSCs) mengalami perubahan menjadi sel-sel osteogenik yang memiliki kemampuan untuk membentuk jaringan tulang. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Costantini et al (2022), yang menunjukkan bahwasanya paparan medan elektromagnetik frekuensi sangat rendah (ELF-EMF) memiliki dampak positif pada diferensiasi osteogenik sel punca ligamen periodontal manusia (hPDLSCs). Penelitian ini menunjukkan bahwa paparan ELF-EMF mampu meningkatkan proliferasi sel dan deposisi kalsium pada hPDLSCs. Selain itu, paparan ini juga meningkatkan ekspresi penanda diferensiasi osteogenik, seperti RUNX-2 dan COL1A1, serta mempromosikan sintesis kolagen. Temuan ini menunjukkan bahwa paparan ELF-EMF dapat meningkatkan diferensiasi osteogenik pada hPDLSCs, yang berpotensi menjadi alat yang berguna untuk aplikasi rekayasa tulang. Dimana Rekayasa tulang adalah suatu pendekatan yang menggunakan teknik dan material untuk memperbaiki atau menggantikan jaringan tulang yang rusak atau hilang dengan tujuan untuk mendukung regenerasi tulang fungsional dan estetis.

Pada penelitian Cai et al (2020), juga menunjukkan bahwa pengobatan dengan medan elektromagnetik berdenyut (PEMF) memiliki efek positif pada kualitas, kuantitas, dan metabolisme tulang yang diobati dengan glukokortikoid. PEMF mampu meningkatkan arsitektur tulang, kekuatan tulang, dan osseointegrasi implan berpori yang diobati dengan glukokortikoid. Selain itu, PEMF juga mampu membalikkan efek buruk glukokortikoid pada pembentukan tulang dan meningkatkan aktivitas fungsional osteoblas dan osteosit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengobatan dengan PEMF dapat menjadi alternatif potensial untuk gangguan tulang terkait glukokortikoid. Hal ini juga didukung oleh penelitian Ismail et al (2020), yang menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik mampu meningkatkan proliferasi sel, sintesis matriks ekstraseluler, kalsifikasi, sintesis prostaglandin dan kolagen, serta pembentukan kartilago awal. Dimana penelitian ini menemukan bahwa penggunaan medan elektromagnetik berdenyut (PEMF) pada pasien dengan fraktur penyatuan tertunda dan non-union secara signifikan meningkatkan penyembuhan fraktur. Secara keseluruhan, stimulasi gelombang elektromagnetik mempercepat proses penyembuhan tulang dan terbukti efektif dalam penyembuhan fraktur pada manusia. bagian ini dapat diuraikan mengenai hasil dari penelitian beserta pengujian yang telah dilakukan. Selain itu, disampaikan juga mengenai pembahasan dari penelitian maupun pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1. Hasil Penelitian Potensi Pemanfaatan Radiasi Medan Elektromagnetik Extremely Low Frequency untuk Terapi Kesehatan Tulang

Judul	Penulis	Metode	Hasil
Pulsed Electromagnetic Field Therapy Improves Osseous Consolidation After High Tibial Osteotomy in Elderly Patients-A Randomized, Placebo- Controlled, Double-Blind Trial	Ziegler et al., 2019	Metode yang digunakan adalah studi acak terkontrol dengan kelompok perlakuan ELF-PEMF dan kelompok plasebo. Populasi studi terdiri dari 75 pasien lanjut usia yang menjalani operasi osteotomi tibia tinggi (HTO). Terapi ELF dilakukan selama 7 menit per hari selama 30 hari setelah operasi. Parameter yang diukur meliputi konsolidasi tulang dan parameter darah.	Terapi ELF-PEMF mempercepat konsolidasi tulang dibandingkan dengan plasebo, terutama pada pasien berusia 50 tahun ke atas. Terapi ELF-PEMF juga memiliki efek positif pada fungsi osteoblas tanpa mempengaruhi konsolidasi tulang secara signifikan
Improved Osteogenic Differentiation by Extremely Low	Costantini, et al., 2022	Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah Kultur sel dan perlakuan dimana Sampel	Paparan medan elektromagnetik frekuensi rendah (ELF-EMF)

Electromagnetic Field Exposure: Possible Application for Bone Engineering		difiksasi selama 30 menit pada suhu kamar dengan paraformaldehida 4% dalam PBS, pH 7,4, dan permeabilisasi dengan 0,1% Triton-X100 dalam PBS selama 10 menit. Kemudian paparan ELF-EMF, dibandingkan dengan paparan palsu, peningkatan laju proliferasi sel ( $p < 0,001$ ) dan pengendapan kalsium de novo ( $p < 0,001$ ) diamati setelah 10 hari paparan	memiliki efek positif pada proliferasi dan diferensiasi sel induk mesenkim (MSC) dari ligamen periodontal manusia (hPDLSCs). Temuan ini menunjukkan ELF-EMF sangat berpotensi dalam rekayasa tulang, terapi regeneratif, dan pengobatan osteoporosis pascamenopause
Pulsed Electromagnetic Fields Modify the Adverse Effect of Glucocorticoids on Bone Architecture, Bone Strength and Porous Implant Osseointegration by Rescuing Bone-Anabolic Action	Cai et al., 2020	Metode yang digunakan dalam artikel ini meliputi : Uji nanoindentasi untuk mengukur sifat mekanik sampel tulang. Uji PCR untuk mengukur ekspresi gen pada sampel tulang. Analisis histologi dilakukan untuk mengevaluasi morfologi osteosi Dan analisis biokimia	Penggunaan pulsed electromagnetic fields (PEMF) memiliki efek positif pada kesehatan tulang kelinci. Penggunaan PEMF dapat menjadi alternatif potensial untuk mengatasi gangguan tulang yang terkait dengan penggunaan glukokortikoid
Translational Insights Into Extremely Low Frequency Pulsed Electromagnetic Fields (ELF-PEMFs) for Bone Regeneration After Trauma and Orthopedic Surgery	Ehnert et al., 2019	Metode yang digunakan adalah melakukan pencarian literatur menggunakan PubMed dan Web of Science pada tanggal 18 Juni 2019. Selain itu, dalam artikel ini juga dilakukan analisis terhadap publikasi yang telah diterbitkan per tahun dengan menggunakan istilah pencarian yang telah ditentukan.	Penggunaan medan elektromagnetik berdenyut frekuensi sangat rendah (ELF-PEMF) dapat memiliki efek positif pada penyembuhan tulang setelah trauma dan operasi ortopedi.
Electromagnetic Field Versus Circuit Weight Training on Bone Mineral Density in Elderly Women	Elsisi et al., 2015	Metode yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Dimana melibatkan Tiga puluh wanita tua, berusia 60-70 tahun, secara acak ditugaskan ke dalam dua kelompok (medan magnet dan CWT) ( $n = 15$ masing-masing kelompok). Sesi ini dilakukan tiga kali seminggu untuk kelompok medan magnetik dan CWT, selama 12 minggu.	Medan magnetik berdenyut frekuensi rendah intensitas rendah (LFLIPMF) dan latihan beban sirkuit (CWT), memiliki efek yang bermanfaat dalam meningkatkan kepadatan mineral tulang (BMD) pada wanita lanjut usia. Penelitian ini menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik dapat merangsang penambahan kalsium pada tulang dan meningkatkan pembentukan tulang
Enhancement of	Oltean-	Metode yang digunakan dalam	Paparan medan

Bone Consolidation Using High-Frequency Pulsed Electromagnetic Fields (HF-PEMFs): An Experimental Study on Rats	Dan et al., 2019	artikel ini meliputi eksperimen in vivo pada tikus, di mana tikus tersebut menjalani ovariectomi dan terpapar medan elektromagnetik berdenyut (PEMF) Tikus-tikus tersebut dianestesi dengan kombinasi xylazine (2%) sebanyak 0,2 mL dan ketamine hydrochloride (10%) sebanyak 0,08 mL per 100 g berat badan, yang diberikan secara intramuskular. Sayatan longitudinal sepanjang 1,5 hingga 2 cm dibuat pada aspek lateral femur, dan dilakukan diseksi antara otot biceps femoris dan vastus lateralis	elektromagnetik berdenyut (PEMF) meningkatkan konsolidasi tulang pada tikus yang menjalani ovariectomi. Eksperimen in vivo pada tikus menunjukkan bahwa tikus yang terpapar PEMF memiliki peningkatan kekuatan mekanik tulang dan peningkatan aktivitas alkali fosfatase dan osteokalsin, yang merupakan indikator penyembuhan tulang yang baik
The Effect of Extreme Low Frequency-Pulsed Electromagnetic Field Exposure in The Healing Process of Sprague Dawley Mouse Delayed Union Femur Fracture: Study of Rust Radiologi Score	Ismail, D. A., & Tendean, R. H. (2020).	Metode yang digunakan dalam artikel ini meliputi Uji Eksperimental, induksi dan Fiksasi Fraktur. Penelitian ini menggunakan 56 tikus jantan Sprague-Dawley yang dibagi secara acak menjadi dua kelompok. Tikus-tikus tersebut diamati selama 5 minggu, dengan 7 tikus dalam setiap kelompok.	Paparan Medan Elektromagnetik Frekuensi Sangat Rendah (ELF-EMF) memiliki efek positif pada penyembuhan fraktur penyatuan tertunda Selain itu gelombang elektromagnetik dapat mempercepat proses penyembuhan tulang dan efektif dalam penyembuhan fraktur pada manusia

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa terapi menggunakan radiasi medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) memiliki peran signifikan dalam penyembuhan tulang. Elektromagnetik extremely low frequency (ELF) mampu merangsang fungsi osteoblas, meningkatkan produksi matriks tulang, dan mineralisasi yang esensial bagi pembentukan tulang baru. Penelitian yang dilakukan oleh Ehnert et al (2019) dan Ziegler et al (2019), memberikan bukti kuat bahwa ELF secara positif memengaruhi regenerasi tulang pasca trauma dan operasi ortopedi, meningkatkan konsolidasi tulang, dan memicu mekanisme pertahanan antioksidan pada sel-sel tulang. Selain itu, paparan medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) juga terbukti bermanfaat dalam peningkatan pertumbuhan, volume, dan kekuatan mekanik tulang, seperti ditemukan oleh Oltean-Dan et al (2019) dan Elsis et al (2015). Dengan demikian, medan elektromagnetik extremely low frequency (ELF) muncul sebagai pilihan terapeutik yang menjanjikan untuk meningkatkan proses penyembuhan tulang, memperbaiki kualitas hidup pasien, dan menjadi alternatif efektif dalam mengatasi gangguan tulang seperti fraktur dan osteoporosis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afkarina, N., Arsita, M., Wardhana, M., Sudarti., & Prihandono, T. (2020). Analisis Pengaruh Besar Kerapatan Fluks Dalam Penggunaan Extremely Low Frequency (ELF) Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Dan Perkembangan Sayuran. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(15), 455-459.
- Ariyani, E., Sudarti., Prastowo, S. H. B. (2019). Pengaruh Paparan Extremely Low Frequency Magnetic Field Terhadap pH Edamame. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 8(3), 132-136.

- Arvin, J., Hendarto, R. S., Cahyadi, S. S., Pratama, I. A., & Vincentia, A. (2023). Efek Pemberian Terapi GH Terhadap Peningkatan Densitas Tulang Pada Pasien Dengan Defisiensi GH. *Health Information Jurnal Penelitian*, 15, 1-7.
- Cai, J., Shao, X., Yang, Q., Yang, Y., Yan, Z., Luo, E., Feng, X., & Jing, D. (2020). Pulsed Electromagnetic Fields Modify The Adverse Effects of Glucocorticoids on Bone Architecture, Bone Strength and Porous Implant Osseointegration by Rescuing Bone-Anabolic Actions. *Bone*, 133, 115266. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115266>
- Costantini, E., Marconi, G. D., Fonticoli, L., Aielli, L., Trubiani, O., Rajan, T. S., Pizzicannella, J., Reale, M., & Diomede, F. (2022). Improved osteogenic differentiation by extremely low electromagnetic field exposure: possible application for bone engineering. *Histochemistry and Cell Biology*, 158(4), 369–381.
- Ehnert, S., Fentz, A. K., Schreiner, A., Birk, J., Wilbrand, B., Ziegler, P., Reumann, M. K., Wang, H., Falldorf, K., & Nussler, A. K. (2019). Translational Insights into Extremely Low Frequency Pulsed Electromagnetic Fields (ELF-PEMFs) for Bone Regeneration After Trauma and Orthopedic Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, 8(12), 1–22.
- 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>
- Ismail., 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 Science*, 4(1), S74–S78. <https://doi.org/10.20473/jsrte.v4i1.21589>
- Faridawati, D., Maulida, R. Y., & Sudarti, S. (2023). Potensi Medan Magnet Extremely Low Frequency (Elf) Untuk Meningkatkan Kualitas Fermentasi. *EDUPROXIMA : Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 5(2), 199–204. <https://doi.org/10.29100/.v5i2.4208>
- Hindiyati, S. H., & Sudarti. (2023). Pengaruh Gelombang Elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Kelistrikan Jantung. *Jurnal Kedokteran Meditek*, 29(2), 210–217. <https://doi.org/10.36452/jkdoktmeditek.v29i2.2528>
- Lazzarini, R., Eléxpuru-Zabaleta, M., Piva, F., Giulietti, M., Fulgenzi, G., Tartaglione, M. F., Zingaretti, L., Tagliabracci, A., Valentino, M., Santarelli, L., & Bracci, M. (2023). Effects of extremely low-frequency magnetic fields on human MDA-MB-231 breast cancer cells: proteomic characterization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 253(July 2022). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114650>
- Liu, W., Jin, X., Guan, Z., & Zhou, Q. (2021). Pulsed Electromagnetic Field Affects the Development of Postmenopausal Osteoporotic Women with Vertebral Fractures. *BioMed Research International*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4650057>
- Oltean-Dan, D., Dogaru, G. B., Apostu, D., Mester, A., Benea, H. R. C., Paiusan, M. G., Popa, C. O., Jianu, E. M., Bodizs, G. I., Berce, C., Toader, A. M., & Tomoaia, G. (2019). Enhancement of bone consolidation using high-frequency pulsed electromagnetic fields (HF-PEMFs): An experimental study on rats. *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*, 19(2), 201–209. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2019.3854>
- Ridwan, M., AM, S., Ulum, B., & Muhammad, F. (2021). Pentingnya Penerapan Literature Review pada Penelitian Ilmiah. *Jurnal Masohi*, 2(1), 42.
- Sadidah, K. R., Sudarti., Gani, A.A. (2015). Pengaruh Paparan Medan magnet ELF 300  $\mu$ T DAN 500  $\mu$ T Terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH Pada Proses Fermentasi Tape Ketan. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 1–8.
- Sudarti., Widjayanti, O. D. (2021). *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BIRaNi*, 10(2), 287-297.
- Wismaya, H. S., & Sugianto, W. (2022). Radiasi Medan Elektromagnetik pada Jangkauan Frekuensi Sangat Rendah (Extremely Low Frequency) di Lingkungan Kampus Universitas PGRI

- Yogyakarta. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika*, 8(3), 1. <https://doi.org/10.24114/jiaf.v8i3.37674>
- Ziegler, P., Nussler, A. K., Wilbrand, B., Falldorf, K., Springer, F., Fentz, A. K., Eschenburg, G., Ziegler, A., Stöckle, U., Maurer, E., Ateschrang, A., Schröter, S., & 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). <https://doi.org/10.3390/jcm8112008>