

## ABSTRAK

PortaDeN (Portable Densitometry Non-Radiation) : Densitometer Tulang Non-Radiasi  
Menggunakan Pengukuran Impedansi

Oleh : Muhammad Faris Kautsar dan Moch. Alvin Maulana, SMAN 3 Semarang

*Osteoporosis* merupakan penyakit degeneratif yang sering tidak terdeteksi hingga terjadi patah tulang, yang dapat menyebabkan disabilitas permanen dan menurunkan kualitas hidup, terutama pada lansia. Saat ini, metode standar untuk mengukur kepadatan tulang adalah DEXA (*Dual-Energy X-ray Absorptiometry*), yang memiliki keterbatasan karena mahal (Rp 400.000–Rp 1.000.000 per pemeriksaan), tidak portabel, serta melibatkan paparan radiasi tinggi. Selain itu, DEXA hanya tersedia di rumah sakit besar, membatasi akses bagi masyarakat luas. Oleh karena itu, diperlukan inovasi alat skrining *osteoporosis* yang lebih terjangkau, aman, dan mudah digunakan di fasilitas kesehatan primer seperti puskesmas. Penelitian ini mengembangkan PortaDeN (*Portable Densitometry Non-Radiation*), yaitu densitometer tulang non-radiasi berbasis impedansi yang menawarkan keunggulan portabilitas, keamanan, serta biaya yang lebih rendah dibandingkan DEXA. PortaDeN bekerja dengan mengukur nilai impedansi listrik untuk menentukan *Bone Mineral Density* (BMD) dan porositas tulang, dua indikator utama dalam menilai kesehatan tulang. Pengukuran berbasis impedansi menawarkan alternatif non-invasif, tanpa paparan radiasi, dan memungkinkan deteksi dini *osteoporosis* lebih luas. Dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen untuk menentukan frekuensi optimal dalam pengukuran BMD dan porositas tulang. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa frekuensi optimal untuk BMD adalah 2,14 MHz, sedangkan untuk porositas tulang adalah 1,16 MHz. Pengujian dilakukan pada dua *phantom* BMD (dengan delapan segmen lumbar) dan empat *phantom* porositas (dengan lima sisi masing-masing). Sebanyak 800 data BMD dikumpulkan dengan pengulangan 100 kali per lumbar, sedangkan 200 data porositas dikumpulkan dengan 10 pengulangan per sisi *phantom*. Hasil menunjukkan bahwa akurasi PortaDeN untuk BMD mencapai 90,63% dengan rata-rata kesalahan 0,0717, sedangkan untuk porositas, akurasi mencapai 77,71% dengan rata-rata kesalahan 0,032. Observasi lebih lanjut dilakukan menggunakan analisis boxplot dan *confusion matrix* untuk mengevaluasi distribusi prediksi dan performa klasifikasi PortaDeN. Boxplot menunjukkan bahwa prediksi BMD memiliki distribusi yang relatif stabil dengan beberapa outliers, sedangkan porositas memiliki variasi yang lebih besar. *Confusion matrix* mengungkap bahwa PortaDeN dapat mengklasifikasikan BMD dengan spesifisitas 95,33% untuk kategori *osteoporosis*, tetapi terdapat beberapa kesalahan klasifikasi antara *osteopenia* dan *osteoporosis*. Pada pengukuran porositas, model lebih sulit membedakan kategori 50% dan 70%, yang kemungkinan disebabkan oleh karakteristik impedansi yang berdekatan. Selain itu, dilakukan pengujian tomografi berbasis impedansi dengan citra yang dibandingkan sebelum dan setelah penempatan *phantom*. Hasil menunjukkan bahwa jumlah elektroda yang lebih sedikit menyebabkan resolusi tomografi masih terbatas, sehingga perbaikan metode pemrosesan citra seperti penggunaan *machine learning* atau *deep learning* diperlukan dalam penelitian lanjutan. Dari segi desain, PortaDeN mengalami pengurangan volume sebesar 99,82% dibandingkan DEXA, menjadikannya lebih ringkas, mudah dibawa, dan dapat digunakan di berbagai fasilitas kesehatan. Dengan keunggulannya sebagai alat non-radiasi, portabel, murah, dan cukup akurat, PortaDeN berpotensi menjadi solusi skrining *osteoporosis* yang lebih luas dan terjangkau. Penggunaannya di puskesmas atau klinik kesehatan masyarakat dapat membantu deteksi dini *osteoporosis* secara lebih masif, mendukung transisi menuju teknologi kesehatan yang lebih aman dan efisien.

**Kata kunci:** Osteoporosis, Densitometri, PortaDeN, Non-Radiasi, Impedansi, BMD, Porositas

## ABSTRACT

### PortaDeN (Portable Densitometry Non-Radiation) Bone Densitometer Non-Radiation Technology Using Impedance Measurement

By Muhammad Faris Kautsar dan Moch. Alvin Maulana, SMAN 3 Semarang

Osteoporosis is a degenerative disease that often remains undetected until fractures occur, leading to permanent disability and significantly reducing quality of life, particularly in the elderly. The current gold standard for bone density measurement is DEXA (Dual-Energy X-ray Absorptiometry), which is expensive (Rp 400,000–Rp 1,000,000 per examination), non-portable, and involves high radiation exposure. Moreover, DEXA is only available in large hospitals, limiting access for many individuals. Therefore, an innovative osteoporosis screening tool that is affordable, safe, and accessible in primary healthcare facilities is urgently needed. This study develops PortaDeN (Portable Densitometry Non-Radiation), a non-radiation bone densitometer based on impedance measurement, offering advantages in portability, safety, and cost-effectiveness compared to DEXA. PortaDeN measures electrical impedance values to determine Bone Mineral Density (BMD) and bone porosity, two key indicators of bone health. Impedance-based measurement provides a non-invasive, radiation-free alternative, allowing for broader early detection of osteoporosis. In this study, experiments were conducted to determine the optimal frequency for measuring BMD and bone porosity. The results indicate that the optimal frequency for BMD is 2.14 MHz, while the optimal frequency for bone porosity is 1.16 MHz. Testing was conducted using two BMD phantoms (with eight lumbar segments) and four porosity phantoms (with five sides each). A total of 800 BMD data points were collected with 100 repetitions per lumbar, while 200 porosity data points were gathered with 10 repetitions per phantom side. Results show that PortaDeN achieves 90.63% accuracy for BMD with a mean error of 0.0717, whereas for porosity, accuracy reaches 77.71% with a mean error of 0.032. Further observations using boxplot and confusion matrix analysis were conducted to assess prediction distribution and classification performance. Boxplot analysis reveals that BMD predictions have a stable distribution with some outliers, while porosity predictions exhibit greater variability. The confusion matrix indicates that PortaDeN accurately classifies BMD with 95.33% specificity for osteoporosis detection, though misclassifications between osteopenia and osteoporosis occur. For porosity measurements, the model struggles to differentiate 50% and 70% porosity levels, likely due to similar impedance characteristics. Additionally, impedance-based tomography testing was performed, comparing images before and after phantom placement. The results suggest that a limited number of electrodes reduces tomography resolution, highlighting the need for advanced image processing methods such as machine learning or deep learning in future studies. In terms of design, PortaDeN achieves a 99.82% reduction in volume compared to DEXA, making it more compact, portable, and suitable for various healthcare settings. With its non-radiation, portable, affordable, and reasonably accurate features, PortaDeN has the potential to become a widely accessible osteoporosis screening tool. Its application in primary healthcare facilities and community health clinics can facilitate early osteoporosis detection on a larger scale, supporting the transition to safer and more efficient healthcare technology.

**Keywords::** Osteoporosis, Densitometry, PortaDeN, Non-Radiation, Impedance, BMD, Porosity