

ABSTRAK

Perkembangan pesat jaringan telekomunikasi nirkabel, khususnya di wilayah padat penduduk, mendorong penggunaan teknologi *Massive MIMO* dan *3D beamforming* untuk meningkatkan kapasitas jaringan dan efisiensi spektrum. *3D beamforming* memungkinkan pemfokusan sinyal dalam ruang tiga dimensi, dan salah satu implementasinya adalah pada sistem *Virtual Small Cell* (VSC), khususnya *Direct VSC*. Pada skema ini, *Base Station* (BS) *Massive-MIMO* langsung melayani beberapa *User Equipment* (UE) dalam kluster geografis. Namun, korelasi kanal yang tinggi antar layer menimbulkan interferensi yang menurunkan performa sistem. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja algoritma *precoding* MMSE, MRT, dan ZF pada *3D beamforming Massive MIMO* dalam skenario *Direct VSC*. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Hasil menunjukkan bahwa algoritma MMSE memberikan performa terbaik dengan rata-rata SINR sebesar 28.1 dB dan *bandwidth efficiency* 9.34 bps/Hz, diikuti ZF dengan SINR 27.84 dB dan *bandwidth efficiency* 9.25 bps/Hz. MRT menunjukkan performa paling rendah dengan SINR 4.43 dB dan *bandwidth efficiency* 1.91 bps/Hz. Sementara itu, rata-rata *power received* ketiganya relatif serupa di sekitar -41.4 dBm, dipengaruhi oleh jarak antara BS dan UE. Dengan demikian, algoritma *precoding* MMSE unggul dalam aspek SINR dan *bandwidth efficiency*, disusul oleh ZF, sementara MRT memiliki performa yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan *precoding* MMSE dan ZF.

Kata kunci: 3D *Beamforming*, Interferensi, *Massive-MIMO*, *Precoding*, *Virtual Small Cell* (VSC)