Resiliensi, Aliran Data, dan Survivabilitas Jaringan: Optimalisasi Komunikasi Radio dalam Operasi Militer Modern

Abstrak

Operasi militer modern sangat bergantung pada pertukaran data real-time yang lancar, namun aktivitas perang elektronik yang dinamis sering kali mengganggu stabilitas tautan komunikasi taktis di medan perang. Meskipun teknologi loncatan frekuensi (frequency-hopping) konvensional telah diterapkan secara luas, efektivitasnya dalam mempertahankan arus data yang optimal di bawah ancaman penjejalan (jamming) yang padat dan adaptif tetap sangat terbatas akibat kendala pemrosesan dan beban overhead. Dengan mengadopsi metodologi Penelitian dan Pengembangan (R&D) untuk mengatasi kerentanan ini, penelitian ini mengembangkan kerangka kerja optimasi yang mengintegrasikan alokasi spektrum dinamis dengan algoritma perutean berbasis Deep Reinforcement Learning (DRL) dengan jendela riwayat temporal. Kerangka kerja ini dievaluasi secara komprehensif menggunakan simulator jaringan discrete-event NS-3 pada pita frekuensi L, S, dan X di bawah skenario tindakan perlawanan elektronik (electronic countermeasures) yang ekstrem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kerangka kerja yang diusulkan berhasil meningkatkan throughput rata-rata sebesar 42% (dari 4,1 Mbps menjadi 5,8 Mbps) dan mengurangi latensi end-to-end sebesar 35% (dari 48 ms menjadi 31 ms) selama sekuensi jamming aktif dibandingkan dengan protokol MANET berbasis AODV, sekaligus mempertahankan 88% konektivitas jaringan inti (Cnet) meskipun mengalami kehilangan 30% simpul (node) fisik—terutama menargetkan relai udara UAV dan simpul taktis darat. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi perutean sadar-spektrum secara signifikan meningkatkan ketahanan dan survivabilitas jaringan taktis dalam lingkungan simulasi operasional. Secara konseptual, kerangka kerja ini menawarkan cetak biru adaptif untuk arsitektur pertahanan masa depan dengan menunjukkan potensi otomatisasi manajemen spektrum dalam menyederhanakan alur kerja operasional serta mendukung pengambilan keputusan pada skenario tempur bertumpuan tinggi.