

ABSTRAK

Perkembangan teknologi komunikasi bergerak telah mencapai tahap transformatif dengan akan hadirnya konsep sistem *sixth generation of telecommunications* (6G) yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan konektivitas masa depan yang cepat, andal, dan aman. Tugas Akhir ini melakukan studi dan pengembangan sistem komunikasi 6G cerdas dengan fokus permasalahan pada: (i) tidak diketahuinya arsitektur *machine learning for channel estimation* yang optimal, yakni sederhana namun akurat, (ii) tidak diketahuinya *path loss exponent* 6G, dan (iii) tidak diketahuinya prinsip kerja E91 dan BB84 dan tidak diketahuinya kunci yang dihasilkan terhadap *practical parameters* seperti penyadapan dan kesalahan saluran. Sistem 6G diharapkan mampu menghadirkan keandalan, kapasitas, dan keamanan yang lebih tinggi dibandingkan generasi sebelumnya, terutama dalam menghadapi tantangan propagasi sinyal yang kompleks.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Tugas Akhir ini mengusulkan tiga solusi utama, yaitu: (i) penerapan pembelajaran mesin untuk estimasi kanal secara adaptif, (ii) pengukuran *path loss* untuk mendapatkan *path loss exponent* 6G, dan (iii) penerapan protokol *quantum key distribution* (QKD) berbasis E91 untuk menjamin keamanan komunikasi kuantum masa depan. Metode pembelajaran mesin yang dievaluasi untuk mengestimasi kanal adalah *long short-term memory* (LSTM) dan *fully connected deep neural network* (FDNN). Pengukuran *path loss* dilakukan dengan variasi jarak 50-500 m dengan kelipatan 50 pada frekuensi 4.4–4.8 GHz. Kami juga mensimulasikan protokol E91 dalam skenario dunia nyata yang melibatkan penyadapan dan kesalahan pada saluran kuantum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTM dengan satu *hidden layer* dan 16 *neurons* mampu menghasilkan *channel estimation* dengan kinerja *bit error rate* (BER) dan *frame error rate* (FER) yang setara dengan hasil estimasi *perfect channel estimation*. *Path loss exponent* 6G menghasilkan (i) nilai n 2.48 untuk skenario *line of sight* (LOS) dan 2.69 untuk skenario *non-line of sight* (NLOS) pada Frekuensi 4.4 GHz, (ii) nilai n sebesar 2.45 (LOS) dan 2.62 (NLOS) pada Frekuensi 4.5 GHz, (iii) pada Frekuensi 4.6 GHz nilai n sebesar 2.51 (LOS) dan 2.61 (NLOS), (iv) nilai n sebesar 2.54 (LOS) dan 2.59 (NLOS) pada Frekuensi 4.7 GHz, dan (v) nilai n sebesar 2.55 (LOS) dan 2.66 (NLOS) untuk Frekuensi 4.8 GHz dengan menggunakan metode *curve fitting* dari pengukuran lapangan. Kemudian, protokol E91 menghasilkan lebih sedikit kunci dibanding BB84, namun

menawarkan keamanan lebih tinggi berkat pemanfaatan Pertidaksamaan Clauser-Horne-Shimony-Holz (CHSH) tanpa memerlukan proses verifikasi tambahan. Selain itu, penyadapan maupun kesalahan saluran dapat berdampak pada berkurangnya jumlah kunci yang dihasilkan selama proses produksi kunci.

Kata kunci: 6G, *channel estimation*, *path loss* eksponen, *quantum cryptography*.