

INTISARI

STRATEGI SINKRONISASI LOKAL PADA JARINGAN SENSOR MOBILE AD - HOC MULTI HOP UNTUK PENINGKATAN KONEKTIVITAS DAN KEANDALAN TRANSMISI DATA

oleh

Naufal Dhaffa Akbar Wicaksono

22/492924/PA/21153

Perkembangan *Wireless Sensor Network* (WSN) di lingkungan dengan hambatan fisik atau *Non-Line-of-Sight* (NLOS) sering kali terkendala oleh keterbatasan jangkauan komunikasi langsung serta ketergantungan *node* sensor pada konektivitas *direct-link* ke *gateway*, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan protokol berbasis slot dengan mekanisme sinkronisasi lokal untuk membangun jaringan *multi-hop* adaptif yang menyediakan jalur komunikasi alternatif tanpa bergantung pada referensi waktu global atau GPS. Sistem yang dikembangkan menggunakan modul LoRa SX1262 dan mikrokontroler ESP32 ini menerapkan protokol *Periodically Alternating Roles* (PAR) dengan algoritma *routing* Bellman-Ford terdistribusi, mekanisme *Listen and Adjust Protocol* untuk sinkronisasi hierarkis berbasis stratum, serta *neighbor discovery* berbasis *beacon* yang memungkinkan pembentukan jalur *routing* adaptif dengan kemampuan *self-healing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil mempertahankan *Packet Delivery Ratio* (PDR) 100% pada kedua kondisi propagasi dengan membentuk topologi komunikasi langsung pada kondisi LOS dengan latensi 97,2-125,9 ms dan topologi *multi-hop* pada kondisi NLOS dengan latensi 128,5-3.314,2 ms, serta mendemonstrasikan mekanisme *self-healing* yang mampu mendeteksi kegagalan *node* dan melakukan *route switching* dalam 17-20 detik dengan tetap mempertahankan PDR 100% meskipun terjadi degradasi latensi 113%, sehingga menjamin kontinuitas transmisi data sensor dengan efisiensi protokol 35,4% dan utilisasi kanal 1,55-1,77% yang memposisikan implementasi ini sesuai untuk aplikasi *monitoring* dengan prioritas paket pasti terkirim dan transmisi data periodik.

Kata kunci—*Mobile Ad-Hoc Network* (MANET), Sinkronisasi Lokal. LoRa Multihop

ABSTRACT

LOCAL SYNCHRONIZATION STRATEGY IN MULTI-HOP MOBILE AD-HOC SENSOR NETWORKS FOR ENHANCING CONNECTIVITY AND DATA TRANSMISSION RELIABILITY

by

Naufal Dhaffa Akbar Wicaksono

22/492924/PA/21153

The development of Wireless Sensor Networks (WSN) in environments with physical obstacles or Non-Line-of-Sight (NLOS) conditions is often constrained by limited direct communication range and sensor node dependency on direct-link connectivity to gateways, therefore this research aims to implement a slot-based protocol with local synchronization mechanism to build an adaptive multi-hop network that provides alternative communication paths without relying on global time reference or GPS. The system developed using LoRa SX1262 module and ESP32 microcontroller implements Periodically Alternating Roles (PAR) protocol with distributed Bellman-Ford routing algorithm, Listen and Adjust Protocol mechanism for stratum-based hierarchical synchronization, and beacon-based neighbor discovery that enables adaptive routing path formation with self-healing capability; research results show that the system successfully maintains Packet Delivery Ratio (PDR) of 100% in both propagation conditions by forming direct communication topology in LOS conditions with latency of 97,2-125,9 milliseconds and multi-hop topology in NLOS conditions with latency of 128,5-3.314,2 milliseconds, while demonstrating self-healing mechanism capable of detecting node failure and performing route switching within 17-20 seconds while maintaining 100% PDR despite 113% latency degradation, thus ensuring continuity of sensor data transmission with protocol efficiency of 35,4% and channel utilization of 1,55-1,77% which positions this implementation suitable for monitoring applications with guaranteed delivery priority and periodic data transmission.

Keywords—Mobile Ad-Hoc Network (MANET), Local Synchronization, LoRa Multihop.