

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan purwarupa Seabuoy, pengujian eksperimental selama 3 jam di lingkungan perairan terbuka ($n = 5.400$ sampel masukan, interval *sampling* 2 detik), serta analisis komparatif multi-dimensi, diperoleh kesimpulan ilmiah yang disusun secara sekuensial untuk menjawab ketiga rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Perbandingan Tingkat Reduksi Volume Data:

Dari pengujian 4 skenario terhadap masukan data mentah *baseline* Skenario A sebesar 97.084 Bytes (RR = 0,00%), diperoleh hasil bahwa metode *lossy Thresholding* pada dataset lapangan ini menghasilkan rasio reduksi lebih tinggi dibandingkan *lossless Gzip*. Skenario C (*Thresholding*) menghasilkan ukuran berkas 10.652 Bytes dengan Rasio Reduksi (RR) sebesar 89,03% (membuang 88,94% data redundan di bawah batas toleransi 0,5°C dan 2% RH). Sedangkan Skenario B (*Gzip* murni) menghasilkan ukuran berkas 22.375 Bytes (RR = 76,95%) dengan mempertahankan keutuhan data 100% (*lossless*). Adapun Skenario D (*Hybrid*) meraih tingkat reduksi volume data paling tinggi, yaitu menghasilkan ukuran berkas biner akhir hanya sebesar 3.432 Bytes (RR = 96,46%).

2. Perbandingan Beban Komputasi Waktu CPU dan Penggunaan Memori RAM:

Pengujian pada mikrokontroler ESP32 DevKit V1 menunjukkan kontras beban komputasi yang signifikan antara kedua metode dasar. Metode *Thresholding* (Skenario C) memiliki efisiensi komputasi tertinggi dengan latensi eksekusi algoritma murni sangat cepat yaitu 2,0 μ s saat kondisi SKIP dan 15,0 μ s saat kondisi KIRIM, serta hanya membutuhkan alokasi memori RAM sebesar 8 Bytes (menyisakan *free heap* melimpah sebesar 168.544 Bytes atau 99,96%). Sebaliknya, metode *Gzip* (Skenario B) memicu waktu *blocking* CPU sebesar 272,4 ms per *batch* kompresi dan mengalokasikan *buffer* RAM statis sebesar 100 KB, yang menyisakan *free heap* sangat tipis (~66 KB) dan berisiko tinggi memicu *heap fragmentation* serta gagal alokasi memori (*malloc fail*).

3. Penentuan Metode dengan *Trade-Off* Paling Optimal:

Berdasarkan analisis *trade-off* multi-dimensi 6-aksis (Gambar 4.12), penentuan metode terbaik dibedakan berdasarkan kebutuhan operasional sistem:

- A. Untuk aplikasi pemantauan maritim standar: Skenario C (*Thresholding*) merupakan pilihan paling optimal, karena menawarkan penghematan data tinggi (89,03%), kecepatan CPU mikrodetik (15,0 μ s), beban RAM hampir nol (8 Bytes), dan sifat deterministik yang aman untuk keberlangsungan sistem *real-time*.

- B. Untuk aplikasi khusus rekonstruksi data utuh 100% (seperti audit riset atau peringatan dini tsunami): Skenario D (*Hybrid*) merupakan pilihan terbaik, karena mencapai efisiensi volume data maksimum (RR = 96,46%) dengan alokasi *buffer* RAM 20 KB yang tetap menyisakan margin *free heap* aman (148.116 Bytes).

Secara keseluruhan, pemrosesan data di tingkat *edge* (*on-device*) terbukti mampu meningkatkan efisiensi transmisi data *Buoy IoT* secara signifikan. Metode *Thresholding* murni (Skenario C) direkomendasikan sebagai arsitektur *firmware default* untuk penghematan energi dan memori maksimum, sedangkan pendekatan *Hybrid* (Skenario D) menjadi solusi perpaduan terbaik apabila integritas data *lossless* tetap diwajibkan dalam sistem pemantauan maritim.

5.2. Saran

1. Disarankan untuk menguji penerapan batas toleransi *Threshold* dinamis (*adaptive Threshold*) yang dapat menyesuaikan nilai ambang batas secara otomatis berdasarkan laju fluktuasi cuaca maritim *real-time*, guna meningkatkan efisiensi reduksi data pada kondisi ekstrim.
2. Mengintegrasikan *firmware* terpadu ini dengan sensor oseanografi fisik (seperti sensor salinitas dan suhu air laut) serta modul radio pemancar nyata (LoRaWAN / GSM) untuk mengukur efisiensi konsumsi arus baterai aktual dalam satuan mAh.
3. Menggunakan *Mikrokontroler* dengan dukungan memori eksternal (PSRAM) seperti ESP32-WROVER apabila ingin mengimplementasikan proses kompresi berbasis *Gzip* di alat secara *real-time* guna menghindari fragmentasi memori *heap*.
4. Disarankan untuk mengintegrasikan *firmware* empat skenario ini secara langsung dengan modul komunikasi LoRaWAN atau NB-IoT guna mengukur penghematan konsumsi daya listrik baterai (*milliampere-hour*) secara aktual saat pemancaran data di lapangan.
5. Melakukan uji coba ketahanan mekanis dan fungsionalitas *prototipe* Seabuoy secara langsung di lingkungan perairan laut lepas untuk memvalidasi performa algoritma di bawah pengaruh dinamika gelombang dan cuaca laut nyata.