

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat, terutama dalam bidang teknologi informasi, sistem informasi, komunikasi, dan beberapa bidang teknologi lainnya. Seiring dengan kemajuan tersebut, semakin banyak ditemukan ide-ide inovatif serta diciptakannya berbagai alat untuk menunjang kepentingan tertentu sesuai dengan kebutuhan masing-masing (Benyezza et al., 2021).

WSN merupakan salah satu bagian dari implementasi *Internet of Things (IoT)* yang terdiri atas kumpulan *node* sensor yang tersebar di suatu area tertentu. Tiap *node* sensor memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan berkomunikasi dengan *node* sensor lainnya melalui komunikasi nirkabel. Dengan adanya komponen radio dalam *WSN*, proses pengkabelan pada sistem yang dibangun menjadi lebih mudah. Selain itu, keberadaan prosesor dan sensor yang terintegrasi dalam *WSN* berpotensi menjadikan sistem pemantauan dan kontrol sebagai *smart system*.

Pemancar berfungsi untuk menerima dan mengirim data dengan menggunakan protokol *IEEE 802.15.4* atau *IEEE 802.11b/g* pada perangkat lain, seperti *concentrator*, untuk mengoptimalkan penyiraman tanaman dengan memantau kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah, suhu udara, dan kadar air dalam tanah secara *real-time*. Sistem ini memungkinkan pengambilan keputusan otomatis untuk melakukan pengairan berdasarkan parameter lingkungan yang diperoleh dari jaringan sensor.

Dalam transaksi pertukaran data pada *WSN*, diperlukan sebuah protokol. Protokol media berfungsi untuk menghubungkan komunikasi serta memungkinkan perpindahan data antar komputer dan jaringan (Visconti, dkk, 2020). Pada sistem, terdapat aturan-aturan yang harus dipenuhi baik oleh pengirim maupun penerima agar komunikasi dapat terjalin dengan baik. Secara singkat, protokol berfungsi

sebagai media perantara yang menghubungkan pengirim dengan penerima (Nigussie, dkk, 2020).

Irigasi cerdas merupakan model pengairan otomatis yang dirancang sesuai kebutuhan dengan memanfaatkan teknologi sensor. Pengairan atau irigasi menjadi faktor krusial dalam industri pertanian dan perkebunan. Sistem pengairan otomatis, yang mengintegrasikan perangkat canggih, dapat diterapkan di wilayah dengan sistem irigasi yang kurang optimal (Malik, dkk, 2021).

Penggunaan teknologi irigasi cerdas dapat mengukur suhu dan kelembapan dengan mengombinasikan beberapa sensor serta memanfaatkan teknologi *machine learning*. Melalui teknologi *machine learning*, sistem dapat memprediksi kebutuhan irigasi pada lahan perkebunan berdasarkan berbagai parameter penginderaan yang diperoleh dari berbagai sensor, seperti sensor suhu dan sensor kelembapan (Parvathi Sangeetha, dkk, 2022).

Data berupa suhu dan kelembapan akan dikirim melalui jalur protokol. Data hasil pembacaan sensor yang telah dikirim melalui protokol memerlukan sebuah penyajian yang dapat dimengerti oleh pengguna agar mempermudah pertukaran informasi. *Internet of Things (IoT)* dapat menghubungkan perangkat pintar dengan perangkat pintar lainnya, baik untuk bertukar data maupun untuk keperluan pengendalian melalui jaringan protokol (Edokpayi, dkk, 2022).

Untuk mewujudkan sistem irigasi cerdas, dibutuhkan teknologi *WSN* atau jaringan sensor nirkabel. *WSN* merupakan kumpulan dari perangkat sensor nirkabel (*sensor node*) yang umumnya digunakan untuk merekam data terkait fenomena tertentu dalam suatu wilayah. *Sensor node* memiliki kemampuan komputasi dan komunikasi yang terbatas (Abu-Mahfouz, dkk, 2016).

Pola komunikasi umum pada *WSN* mencakup pengiriman data hasil pemindaian (*sensing*) fenomena ke *base station* atau sejumlah *node* yang telah ditetapkan sebagai penghimpun data (Li, dkk, 2017). *Base station* mengirimkan permintaan kepada *sensor node* yang memuat *query* mengenai fenomena yang akan dikoleksi, interval *sampling*, serta durasi total *sampling* (Frey dan Stojmenović, 2005).

Manajemen irigasi berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)* juga dilengkapi dengan jaringan nirkabel untuk memungkinkan komunikasi data yang

baik serta menjangkau area yang luas. *IoT* didasarkan pada perangkat yang menyediakan aktivitas kontrol, penginderaan, aktuasi, dan pemantauan. Perangkat *IoT* melakukan komunikasi data dengan perangkat dan aplikasi lain yang terhubung, serta mengumpulkan data dari perangkat lain untuk diproses.

Pemrosesan data dapat dilakukan secara lokal, dikirim ke server terpusat pada aplikasi berbasis *cloud*, atau dilakukan dalam kombinasi, di mana beberapa tugas diproses secara lokal dan tugas lainnya dilakukan dalam infrastruktur *IoT*, berdasarkan batasan temporal dan ruang (Bristow, dkk, 2020).

Urgensi penelitian ini didasari oleh permasalahan yang terjadi di lapangan, yakni lambatnya pengiriman data akibat padatnya lalu lintas protokol *WSN*. Keterlambatan pengiriman data ini muncul akibat sejumlah permasalahan saintifik dalam *WSN*, di antaranya mencakup *delay*, sebuah isu yang berpotensi menurunkan performa jaringan. Tingginya nilai *delay* secara signifikan mengganggu transaksi pertukaran data *channel* (Farooqi, dkk, 2014).

Selain itu, penurunan performa pada *WSN* juga dipicu oleh *data loss*. *Data loss* menggambarkan hilangnya data selama proses pertukaran informasi pada *WSN*, yang diakibatkan oleh kepadatan lalu lintas pada jalur komunikasi. Hilangnya data ini muncul sebagai konsekuensi dari tingginya nilai *delay* dan kepadatan arus lalu lintas pada jalur *WSN* (Mounce, dkk, 2015). *Packet loss* merupakan parameter yang mengindikasikan kondisi di mana sejumlah paket data tidak berhasil diterima. Kondisi ini dapat timbul akibat tabrakan data (*collision data*) dan kepadatan (*congestion*) pada jaringan (Asha, dkk, 2023).

Selain itu, penurunan performa pada *WSN* juga dipicu oleh *data loss*. *Data loss* menggambarkan hilangnya data selama proses pertukaran informasi pada *WSN*, yang diakibatkan oleh kepadatan lalu lintas pada jalur komunikasi. Hilangnya data ini muncul sebagai konsekuensi dari tingginya nilai *delay* dan kepadatan arus lalu lintas pada jalur *WSN* (Mounce, dkk, 2015). *Packet loss* merupakan parameter yang mengindikasikan kondisi di mana sejumlah paket data tidak berhasil diterima. Kondisi ini dapat timbul akibat tabrakan data (*collision data*) dan kepadatan (*congestion*) pada jaringan (Asha, dkk, 2023).

Jitter atau variasi kedatangan paket muncul sebagai akibat dari perbedaan panjang antrean yang disebabkan oleh penggunaan jalur protokol tunggal, waktu

pengolahan data, serta periode penghimpunan ulang paket-paket di akhir perjalanan (Lavanya, dkk, 2019). *Throughput* menunjukkan kecepatan transfer data efektif yang diukur dalam *bps (bit per second)*. Secara spesifik, *throughput* didefinisikan sebagai jumlah total paket yang berhasil diterima di tujuan selama interval waktu tertentu, dibagi dengan durasi interval tersebut. Kondisi ini dapat menurunkan performa *WSN* dan berakibat pada kinerja irigasi cerdas yang tidak optimal (Gurram, dkk, 2022).

Tingginya *delay* disebabkan oleh padatnya lalu lintas pada jalur protokol *WSN*, yang dapat menurunkan performa *WSN* (Mkongwa, dkk, 2021). Tingginya *delay* mengakibatkan meningkatnya kehilangan data (*data loss*), yang dapat mengurangi performa dan kualitas *WSN* (Sabale dan Mini, 2022). Oleh karena itu, diperlukan sebuah metode yang dapat memecahkan permasalahan tersebut untuk mengurangi *delay* dan *data loss* (Wang, dkk, 2022).

Collision data terjadi pada segmen jaringan fisik di mana paket data dapat bertabrakan. Tingginya tingkat *collision data* akan meningkatkan kehilangan data (*data loss*). Tingginya nilai *data loss* akan menurunkan kualitas *throughput*, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan performa *WSN* (Mkongwa, dkk, 2021).

Permasalahan lain yang dihadapi berkaitan dengan konsumsi energi. Kondisi ini mengakibatkan lambatnya pengiriman data serta memerlukan energi dalam jumlah yang sangat besar. Kendala tambahan muncul apabila konservasi energi dilakukan secara berulang atau terlalu sering, karena hal tersebut dapat meningkatkan biaya dan mengganggu performa jaringan (Chaurasia, dkk, 2023). Konsumsi energi merupakan faktor krusial dalam menentukan umur operasional suatu jaringan. Oleh sebab itu, energi yang digunakan hendaknya efisien guna menghasilkan performa yang maksimal (Abdulzahra, dkk, 2023). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diusulkan pengembangan protokol pada *WSN* guna meningkatkan performa.

Dalam pengembangan *Wireless Sensor Networks (WSN)*, efisiensi energi menjadi tantangan utama yang berdampak langsung pada masa pakai jaringan. Salah satu protokol klasik yang banyak digunakan adalah *LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)*, yang mengelompokkan node sensor ke dalam klaster dan memilih *cluster head* secara acak untuk mengurangi konsumsi energi.

Namun, pendekatan ini masih menghadapi keterbatasan dalam hal stabilitas pemilihan *cluster head* dan distribusi beban komunikasi. *An Improved LEACH Protocol* yang mengintegrasikan mekanisme pemilihan *cluster head* berbasis kesadaran energi (*energy-aware*) dan strategi agregasi data yang lebih efisien. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi energi hingga 20% dibandingkan LEACH konvensional, sekaligus memperpanjang umur jaringan secara keseluruhan (Daanoune, dkk, 2021).

Enhanced LEACH Protocol yang mengintegrasikan mekanisme pemilihan *cluster head* berbasis ambang batas dan kesadaran jarak (*threshold & distance-aware*). Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi energi dan memperpanjang umur jaringan secara keseluruhan (Ridaryanto, Refi Kautsar Firmansyah, Rano Kartono, 2015).

Penelitian *A Modified LEACH Protocol* menghadirkan inovasi signifikan dalam pengelolaan efisiensi energi pada jaringan sensor nirkabel (WSN) dengan mengintegrasikan mekanisme pemilihan *cluster head* yang mempertimbangkan tingkat sisa energi pada setiap node. Pendekatan ini dirancang untuk menghindari pemilihan node dengan energi rendah sebagai *cluster head*, sehingga distribusi beban komunikasi menjadi lebih seimbang. Selain itu, protokol ini juga dilengkapi dengan strategi agregasi data yang lebih efisien untuk mengurangi redundansi data yang dikirim ke *base station*. Dengan kombinasi ini, penelitian menunjukkan bahwa protokol yang dimodifikasi secara nyata mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi, memperpanjang masa hidup jaringan, serta meningkatkan throughput secara keseluruhan dibandingkan dengan protokol *LEACH* standar (Ananda Kumar, dkk, 2016).

Penelitian mengenai *LEACH Based Protocols* menyoroti berbagai pengembangan dan varian dari protokol *LEACH* asli dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang masa operasional jaringan sensor nirkabel (WSN). Salah satu pendekatan yang menonjol dalam kajian ini adalah integrasi mekanisme pemilihan *cluster head* yang mempertimbangkan ambang batas tertentu (*threshold*) serta parameter jarak antara node dan *base station* atau sesama node (*distance-aware*). Strategi ini memungkinkan sistem untuk memilih *cluster head* yang tidak hanya memiliki sisa energi tinggi, tetapi juga

berada dalam posisi yang strategis untuk meminimalkan konsumsi energi komunikasi. Hasil dari kajian komparatif menunjukkan bahwa varian-varian *LEACH* berbasis ambang dan kesadaran jarak secara signifikan meningkatkan efisiensi energi, menyeimbangkan beban kerja antar node, serta memperpanjang umur jaringan secara keseluruhan jika dibandingkan dengan *LEACH* konvensional (Ramteke dan Boke, 2018).

Dalam protokol *LEACH* klasik telah mendorong munculnya beragam varian yang mengusung pendekatan baru, seperti pemilihan *cluster head* berbasis ambang batas, kesadaran jarak, serta pertimbangan terhadap sisa energi node. *LEACH Based Protocols for Wireless Sensor Networks: A Review*, pengembangan varian *LEACH* telah menunjukkan perbaikan signifikan dalam efisiensi energi dan ketahanan jaringan, menjadikannya sebagai salah satu protokol yang paling adaptif dalam lingkungan WSN yang dinamis dan terbatas sumber daya (Jasmine Lizy dan Chenthalir Indra, 2021).

Penelitian berjudul *Performance Evaluation of LEACH Protocol in Wireless Sensor Networks with Varying Node Density* mengusulkan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja protokol *LEACH* dengan mempertimbangkan kepadatan node yang bervariasi dalam jaringan sensor nirkabel. Studi ini menyoroti pentingnya penyesuaian mekanisme pemilihan *cluster head* yang tidak hanya berdasarkan rotasi acak seperti pada *LEACH* konvensional, tetapi juga mengintegrasikan pendekatan berbasis ambang batas (*threshold-based*) dan kesadaran terhadap jarak antar node (*distance-aware*). Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, protokol yang dievaluasi dalam penelitian ini mampu mengoptimalkan distribusi beban komunikasi, meminimalkan konsumsi energi pada node yang memiliki sisa daya rendah, serta meningkatkan stabilitas topologi jaringan. Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dalam efisiensi energi, perpanjangan umur jaringan secara keseluruhan, serta peningkatan performa komunikasi, khususnya dalam skenario dengan kepadatan node yang tinggi maupun rendah (Rouissi, dkk, 2019).

Performa merupakan tingkat pencapaian hasil pada *Wireless Sensor Network (WSN)*. Kriteria penilaian performa pada *WSN* meliputi *throughput*, *packet loss*, dan *delay* (Rethfeldt, dkk, 2021). *Throughput* dikatakan memiliki performa yang baik jika berada di atas 50 *bps (bit per second)*. *Packet loss* dikatakan memiliki performa yang baik jika berada di bawah 15%, sedangkan *delay* dikatakan memiliki performa yang baik jika berada di bawah 300 *ms* data ini di ambil dari organisasi IEEE 802.15.4 (Kennelly, 1996).

Dalam sistem irigasi cerdas, suhu dan kelembapan udara merupakan parameter krusial yang memengaruhi kebutuhan air tanaman. Nilai optimal suhu berkisar antara 20°C hingga 30°C, dengan suhu ideal sekitar 25°C yang mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Sementara itu, kelembapan udara relatif yang baik untuk pertumbuhan tanaman berkisar antara 60% hingga 80%, dengan tingkat kelembapan ideal sebesar 70%. Ketika suhu lingkungan melebihi 30°C dan kelembapan turun di bawah 60%, sistem irigasi otomatis perlu diaktifkan untuk mencegah stres tanaman akibat kekurangan air. Sebaliknya, jika kelembapan terlalu tinggi, sistem akan menunda irigasi untuk menghindari risiko over-irrigation dan serangan jamur. Nilai-nilai ambang ini dapat disesuaikan berdasarkan jenis tanaman, kondisi lahan, dan musim tanam (Chia & Lim, 2022).

Fuzzy adalah metode yang menggunakan konsep derajat keanggotaan (*degree of membership*) dalam rentang nilai 0 hingga 1 untuk menentukan sejauh mana suatu elemen menjadi anggota dari suatu himpunan tertentu. *Fuzzy logic* cocok digunakan dalam sistem pengairan karena kondisi lingkungan (suhu dan kelembapan) bersifat tidak pasti dan berubah-ubah, sehingga metode konvensional dengan logika biner tidak cukup efektif (Singh dan Soni, 2021).

Algoritma *LEACH* digunakan untuk membentuk *cluster head* secara acak berdasarkan probabilitas. Jika sebuah *node* memperoleh nilai 1, maka *node* tersebut akan ditetapkan sebagai *cluster head*. Sebaliknya, jika memperoleh nilai 0, *node* akan berperan sebagai anggota *node* biasa (Manzoor, dkk, 2013). Kelebihan *LEACH* dalam hal ini adalah penggunaan teknik *clustering* untuk meningkatkan *throughput* (Chowdhury, dkk, 2009). Namun, perlu dilakukan beberapa modifikasi

pada teknik *clustering* tersebut agar dapat diimplementasikan pada protokol *multi-channel clustering* (Daanoe, dkk, 2021).

Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC) merupakan teknik pengelompokan data yang memungkinkan pembentukan sejumlah kelompok tanpa harus menetapkan jumlah *cluster* secara eksplisit pada tahap awal (Delforge *et al.*, 2021). Setiap objek data dipandang sebagai *single cluster*, yang nantinya akan digabungkan ke dalam *cluster* tunggal berdasarkan jarak yang dimilikinya (Zuo, dkk, 2021).

Hasil pengelompokan mampu menggambarkan bentuk *cluster* di dalam *cluster* melalui representasi *dendrogram* secara hierarkis, sehingga memungkinkan setiap interpreter mengobservasi hasil pengelompokan menggunakan metode *depth-first search* (Ramos Emkendorfer dan de Paula Canuto, 2021). Akan tetapi, jumlah *cluster* yang diharapkan pada *HAC* tidak dapat diprediksi karena tidak diawali dengan penentuan *initial centroid K*,

Pengelompokan *node* pada *Wireless Sensor Network (WSN)* dalam beberapa penelitian terdahulu belum mampu merepresentasikan kelompok secara pasti. Meskipun jumlah kelompok sudah dapat ditentukan, hasil *cluster* masih sulit untuk diinterpretasikan. Hal ini menyulitkan pemberian label yang pasti terhadap *cluster channel* pada *WSN*.

Dalam penelitian ini, pengelompokan ketimpangan pembangunan tidak hanya dilakukan menggunakan teknik *clustering HAC (Hierarchical Agglomerative Clustering)*, tetapi juga dikombinasikan dengan *LEACH* dan metode *Euclidean*. *LEACH* digunakan untuk pembentukan *cluster head (CH)*, di mana *CH* berfungsi sebagai acuan *channel* yang bertugas menampung data dari *node* dan mengirimkan data ke *base station* atau server. Metode *Euclidean* digunakan untuk mendesain agar *cluster head* dan *node* saling berdekatan.

Pengelompokan yang dilakukan dengan kombinasi *HAC*, *LEACH*, dan *Euclidean* menghasilkan empat *cluster* yang dapat divisualisasikan dengan data yang saling berdekatan. Model yang didesain mengelompokkan *node* yang saling berdekatan dan mengirimkan data berupa variabel suhu serta kelembapan tanah ke *cluster head*. Selanjutnya, *cluster head* mengirimkan data tersebut ke *base station*.

Metode peningkatan performa dalam penelitian terdahulu belum mampu mendesain *node* agar *cluster head* dan *node* saling berdekatan (Mahapatra dan Yadav, 2015). Pembentukan *node* antara *cluster head* dan *node* yang saling berjauhan menyebabkan transaksi *channel* membutuhkan banyak energi serta meningkatkan tingkat *delay* yang sangat tinggi (Lavanya, dkk, 2019).

Algoritma *LEACH-HAC* dirancang dengan memastikan *cluster head* dan *node* berada dalam jarak yang berdekatan, sehingga transaksi *channel* dapat berlangsung dengan konsumsi energi yang lebih rendah. Proses pengelompokan *channel* dikembangkan menggunakan pendekatan *HAC single linkage*, yang dikombinasikan dengan pendekatan *LEACH* dan metode *Euclidean* untuk menentukan *cluster head* serta menjaga kedekatan *channel* dalam jaringan.

LEACH-HAC menerapkan skema hemat energi dengan membentuk dua jalur (antar *node*) pada *WSN* untuk mengoptimalkan pengiriman data. Studi lanjutan akan berfokus pada evaluasi kinerja protokol *MAC multi-channel* untuk *WSN*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dengan membagi jalur komunikasi dalam *WSN*, sehingga transaksi data dapat berlangsung lebih lancar tanpa membutuhkan banyak energi.

Wireless Sensor Network masih menghadapi berbagai tantangan signifikan, termasuk *delay*, kehilangan data, dan keandalan komunikasi. Untuk mengatasi permasalahan ini, diterapkan teknik *clustering* menggunakan metode *single linkage*, yang bertujuan mengelompokkan *node sensor* yang terletak berdekatan secara spasial. Metode ini menghubungkan dua titik terdekat dalam satu *cluster*. Dengan demikian, terbentuklah struktur jaringan yang lebih efisien dalam hal komunikasi. Penerapan pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi *delay*, meningkatkan efisiensi transmisi data, serta meminimalkan interferensi antar *node* dalam jaringan sensor.

Berdasarkan studi literatur, penelitian yang menggabungkan algoritma *LEACH* dan *HAC*, dengan metode *LEACH* yang bersifat adaptif dalam pembentukan *cluster head* serta algoritma *HAC* sebagai metode *clustering* berbasis kedekatan antar *node*, keduanya digabungkan menggunakan pendekatan *multi-channel*.

1.2 Rumusan masalah

Penelitian ini membahas beberapa permasalahan yang terkait dengan *Wireless Sensor Network (WSN)*, yaitu *delay*, *packet loss*, *jitter*, dan *throughput*. Rumusan masalah yang diangkat meliputi *delay*, yaitu waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari sumber ke tujuan; *packet loss*, yaitu jumlah paket yang hilang akibat *congestion* pada jaringan; *jitter*, yaitu variasi dalam panjang antrean yang disebabkan oleh waktu pengolahan data serta waktu penghimpunan ulang paket di akhir perjalanan; dan *throughput*, yaitu kecepatan transfer data yang terhambat akibat *bottleneck*, yang terjadi ketika aliran data mengalami kemacetan.

Ide penelitian ini melibatkan penerapan algoritma *LEACH* dan *HAC* pada *WSN* dengan pendekatan *multi-channel* untuk meningkatkan efisiensi komunikasi dan pengelolaan data dalam jaringan. *LEACH* digunakan untuk membentuk *cluster head* secara adaptif guna mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi komunikasi *channel* dalam jaringan. Sementara itu, *HAC* digunakan untuk melakukan pengelompokan *node* berdasarkan kedekatan spasial dengan menggunakan metode *single linkage* guna membentuk *cluster* yang optimal.

Proses pengelompokan ini mempertimbangkan multivariabel, seperti suhu dan kelembapan, untuk memastikan pembentukan *cluster* yang efisien. Selain itu, pengiriman data antarklaster dilakukan melalui *multi-channel* guna mengurangi kemacetan jaringan dan meningkatkan kecepatan transfer data.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengelompokan *node* berdasarkan nilai kemiripan terdekat dengan mempertimbangkan multivariabel, serta pengembangan struktur *cluster* yang lebih efisien melalui pendekatan *multi-channel* untuk meningkatkan kinerja jaringan. Cakupan dan batasan penelitian ini berfokus pada peningkatan performa WSN melalui penerapan algoritma *LEACH-HAC* dan evaluasi kinerja menggunakan parameter Quality of Service (QoS), seperti *delay*, *packet loss*, *jitter*, dan *throughput*.

1.3 Batasan masalah

Batasan dalam penelitian ini mencakup beberapa aspek utama. Penelitian difokuskan pada modifikasi algoritma *HAC* dan *LEACH*, yang kemudian menghasilkan algoritma bernama *LEACH-HAC*. Studi ini bertujuan untuk mengembangkan model protokol pada *WSN* serta mendesain *cluster head* dan *node* yang berdekatan guna meningkatkan performa jaringan. Pengujian algoritma *LEACH-HAC* dilakukan dengan menggunakan parameter *QoS* sebagai tolok ukur kinerja.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengembangkan skema *multi-channel* untuk optimalisasi kinerja jaringan sensor nirkabel *WSN* dengan implementasi algoritma *LEACH-HAC*.
2. Mengoptimalkan kinerja jaringan sensor nirkabel *WSN* agar pengiriman data lebih efisien dan andal, serta merancang algoritma *LEACH* untuk mengelompokkan *node* dalam jaringan berdasarkan data suhu dan kelembapan. Pengelompokan ini dilakukan dengan pendekatan *single linkage* dari metode *Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC)*, sehingga *node-node* yang lokasinya saling berdekatan dapat tergabung dalam satu kelompok secara lebih optimal.

1.5 Kebaharuan (Novelty)

Berdasarkan hasil studi literatur, terdapat beberapa permasalahan yang dapat menurunkan performa *WSN*, yaitu delay, data loss, dan throughput. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan *multi-channel* yang mampu membagi aliran data ke dalam beberapa saluran secara adaptif, sehingga dapat mengurangi kepadatan lalu lintas data, meningkatkan efisiensi pengiriman, serta meminimalkan terjadinya delay dan data loss pada jaringan *WSN*. Pengembangan *multi-channel* ini dirancang untuk memungkinkan pengiriman data secara simultan, sehingga proses transmisi menjadi lebih lancar dan throughput jaringan dapat dioptimalkan.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah peningkatan *throughput* jaringan *WSN* melalui pengembangan struktur *multi-channel*. Penelitian ini menghasilkan sistem komunikasi yang lebih efisien antar *node* dan *cluster head*. Pemisahan *channel* komunikasi per *cluster* mengurangi beban lalu lintas data dan meningkatkan jumlah data yang dapat dikirim per satuan waktu (*throughput*). Hal ini penting untuk mendukung performa sistem irigasi yang membutuhkan transfer data sensor secara *real-time*.

Pengurangan *delay*, *jitter*, dan *packet loss* melalui model *clustering* berbasis algoritma *LEACH* dan *HAC* secara bersamaan memperpendek jarak komunikasi antar *node* dan mendistribusikan beban jaringan. Hal ini berdampak langsung pada penurunan nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss*, yang merupakan parameter utama dalam evaluasi kualitas layanan (*Quality of Service/ QoS*) sistem jaringan sensor nirkabel. Penelitian ini telah diterbitkan pada jurnal internasional Q1 *Sensor and Actuator Network*.

SEKOLAH PASCASARJANA