

Auto-Configuration of Wireless Sensor Networks on Area Border Pole

Triyogatama Wahyu Widodo¹, Sigit Diantoro*²

¹Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

²Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: yogatama@ugm.ac.id, *sdiantoro@gmail.com

Abstrak

Penelitian *Mobile Ad-Hoc Networks (MANET)* merupakan salah satu perkembangan teknologi jaringan sensor nirkabel (*JSN*). Berbagai metode akses jaringan juga telah diteliti, salah satunya teknik token ring. Teknik ini menggunakan prinsip ring dimana setiap node terhubung satu arah dengan node lainnya sehingga membentuk sebuah topologi ring. Berdasarkan perkembangan tersebut, dibuatlah sebuah sistem konfigurasi otomatis dari jaringan sensor nirkabel yang memiliki kemampuan *autonomous server/client*, pemberian alamat node, sinkronisasi paket data, dan deteksi adanya node yang masuk atau keluar secara otomatis dan dinamis.

Penerapan *JSN* juga telah merambah berbagai bidang keilmuan. Salah satunya pemanfaatan *JSN* pada patok batas wilayah yang memiliki kemampuan menghitung keliling dan luas terhadap tata letak patoknya, menggunakan bantuan metode *haversine* untuk mencari jarak antar patok dan rumus matriks untuk menghitung luas. Patok adalah node yang tersusun dari sensing unit, computation unit, dan communication unit. Dengan modul GPS sebagai sensing unit, ATmega128 sebagai computation unit, dan Xbee sebagai communication unit.

Hasil dari penelitian ini adalah protokol konfigurasi otomatis yang diterapkan pada patok batas wilayah, dengan kemampuan mengukur keliling dan luas wilayah. Sistem telah diuji dan didapatkan hasil terhadap perilaku node yang telah ditanamkan protokol konfigurasi otomatis.

Kata kunci — *mobile ad-hoc networks, token ring, jaringan sensor nirkabel, haversine, Xbee*

Abstract

Research on *mobile ad-hoc networks (MANET)* is one of wireless sensor networks (*WSN*) technology development. Any routing methods have been researched, one is token ring technique. This technique use principle of ring that every node is connected one direction with the other, so make the ring topology. Based on that development, it was made an auto-configuration system of wireless sensor network that have ability to *autonomous server/client*, giving destination of node, data package synchronization, and detect node in or node out with *autonomous and dynamic*.

Application of *WSN* is also touch any science sector. One is *WSN's* usage on area border pole that have ability to count perimeter and area base on location of pole, with help from *haversine* method to know the distance between the pole and matrix formula to count the area. Pole is node that arranged from sensing unit, computation unit, and communication unit. With GPS module as sensing unit, ATmega128 as computation unit, and Xbee module as communication unit.

The result is a protocol of auto-configuration that applicated on area border pole, with ability to count perimeter and area. The sistem was tested and get the result by node behavior that have embedd the protocol.

Keywords— *mobile ad-hoc networks, token ring, wireless sensor network, haversine, Xbee*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi komunikasi, komputasi, dan pengukuran seperti telepon seluler, wifi, RFID, single board computer (SBC), mikrokontroler, dan sensor-sensor canggih, telah menciptakan sebuah teknologi baru yaitu Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). JSN saat ini telah menjadi sebuah teknologi maju yang penting untuk kebutuhan sipil, militer, maupun pemerintahan. JSN terbentuk dari jaringan-jaringan *node* yang saling berkomunikasi. *Node* adalah unit fungsional dasar dari JSN, ukurannya biasanya kecil. Masing-masing *node* terdiri dari 3 komponen utama, yaitu perangkat komunikasi, perangkat komputasi, dan sensor. Dengan 3 komponen tersebut, masing-masing *node* akan memiliki kemampuan untuk sensing, memproses data, dan berkomunikasi antar *node*. *Node* akan saling berkomunikasi pada jarak pendek secara nirkabel yang bertujuan melakukan tugas tertentu seperti pemantauan lingkungan, pemantauan proses industry, dan pengawasan wilayah.

Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) adalah salah satu teknologi baru dari JSN. MANET adalah sebuah jaringan sensor yang terdiri dari *mobile-mobile node* yang dapat mengatur sendiri secara dinamis baik protokol, pengalamatan, maupun *routing* jaringan dimanapun dan kapanpun tanpa infrastruktur jaringan yang ada.

Saat ini sistem konfigurasi pada JSN secara umum masih dilakukan secara manual dengan campur tangan manusia. Pengaturan-pengaturan khusus terhadap *node* untuk membentuk jaringan, mengatur alamat tujuan, menentukan paket data, dan jumlah *node* yang aktif semuanya masih dilakukan secara manual. Hal tersebut terkadang membuat pengguna kesulitan untuk mengatur ulang konfigurasi apabila terjadi perombakan sistem atau kesalahan pada jaringan, karena harus mengatur ulang semua parameternya. Selain itu kesalahan pada jaringan yang menuntut pengguna untuk melakukan perbaikan, akan menunda jalannya proses dari sistem jaringan tersebut. Dengan sistem konfigurasi otomatis, diharapkan mampu mengurangi campur tangan manusia dalam proses pengaturan jaringan sensor nirkabel dan mengurangi perbaikan-perbaikan terhadap sistem yang masih dilakukan secara manual, sehingga memudahkan pengguna untuk mengatur jaringan dan memaksimalkan kinerja dari jaringan itu sendiri.

Dengan perkembangan riset yang menunjang kemajuan teknologi JSN, maka aplikasi dari pemanfaatan JSN juga semakin banyak. Salah satunya yang akan diteliti adalah pemanfaatan konfigurasi otomatis jaringan sensor nirkabel pada patok batas wilayah, dimana patok tersebut bisa berfungsi sebagai alat untuk melihat dan mengukur keliling dan luas dari suatu wilayah maupun untuk memantau batas dari wilayah tersebut. Luasnya wilayah dan kontur tanah yang tidak rata menjadi salah satu permasalahan pada pengukuran luas menggunakan alat ukur biasa.

Di samping itu, saat ini telah banyak media massa yang memberitakan tentang sengketa-sengketa lahan milik warga maupun pemerintah. Alasan-alasan yang muncul sehingga terjadinya sengketa antara lain surat tanah yang tidak jelas, kecurangan pemilik tanah terhadap batas tanah, dan tidak adanya tanda perbatasan wilayah yang jelas. Berdasarkan pada permasalahan-permasalahan diatas, dilakukan penelitian untuk membuat suatu sistem konfigurasi otomatis pada jaringan sensor nirkabel yang diterapkan pada patok batas wilayah dengan kemampuan mengukur keliling dan luas wilayah.

Pada penelitian ini, akan dibangun sebuah sistem konfigurasi otomatis jaringan sensor nirkabel yang diterapkan pada patok batas wilayah, dimana proses pemilihan *server/client*, penentuan jalur data, pemberian alamat *node*, sinkronisasi paket data, dan deteksi adanya *node* yang masuk atau keluar dilakukan secara otomatis dan dinamis dimanapun dan kapanpun. Metode *routing* yang digunakan pada penelitian ini adalah *token ring*. Penelitian mengenai sistem konfigurasi otomatis pada jaringan sensor nirkabel ini pernah dikembangkan sebelumnya, terutama pada *mobile ad-hoc networks* (MANET).

Konfigurasi DHCPv6 merupakan mekanisme standar untuk konfigurasi otomatis pada alamat IPv6. Penelitian ini bertujuan mendapatkan pendekatan baru pada konfigurasi DHCPv6 secara dinamis untuk membuat pertukaran data antara MANET (DHCPv6 *clients*) dan DHCPv6

server dengan meminimalisir pengendalian secara manual. Penelitian ini dievaluasi dan dianalisis dengan ns-2.31 diatas lapisan IEEE 802.11 MAC/PHY dan protokol *Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV) routing* [1].

Penelitian mengenai arsitektur jaringan sensor nirkabel [2] pernah dilakukan sebelumnya. Pada jaringan sensor nirkabel tradisional, pengguna, *sink node*, dan *sensor node* dianggap statis, dan jaringan dibentuk dari model *single-layer planar*, dimana jaringan tersebut tidak dapat beradaptasi terhadap penerapan *sensor node* secara mobilitas. Penelitian ini berhasil merancang sebuah arsitektur dimana jaringan sensor nirkabel dapat beradaptasi dengan *mobile sensor node*. Arsitektur ini dibagi menjadi lapisan *high-end node* dan *low-end node*. *High-end node* bertanggung jawab untuk melakukan routing data dan *low-end node* bertanggung jawab untuk melakukan *sensing* dan pelaporan data sehingga *mobile sensor node* dapat terhindar dari perhitungan *routing* yang rumit serta meningkatkan kinerja jaringan secara efektif.

Modifikasi *Wireless Token ring Protocol (WTRP)* [3] dengan perbaikan pada perluasan struktur jaringan, penghematan energi, dan peningkatan efisiensi *data traffic* berhasil dilakukan. WTRP adalah protokol *Medium Access Control (MAC)* terdistribusi yang mencakup *self-organizing*, *self-healing*, dan *no-center*. Hal ini juga menjamin akses *loop* yang merata dan *Quality of Service (QoS)*. Mekanisme *node-joining* yang dimodifikasi memperluas *close-loop* ke dalam kelompok *node*, yang memungkinkan cakupan wilayah yang lebih baik; *sleeping-scheme* meningkatkan efisiensi daya; sedangkan *dynamic token hold time* menyesuaikan peningkatan *traffic data*.

Algoritma *routing* [4] yang diimplementasikan dalam jaringan sensor nirkabel menggunakan enam buah *sensor node* dan satu *sink node* pernah diteliti sebelumnya. *Flooding* digunakan dalam sistem ini untuk inisiasi jaringan dan proses pencarian jalur data. Sistem ini berfungsi sebagai pemantau lingkungan dengan parameter suhu dan intensitas cahaya menggunakan sensor LM35DZ dan LDR. Untuk perangkat komunikasi menggunakan modul komunikasi Xbee.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Mobile Ad-hoc Networks (MANET)

Mobile Ad-hoc Networks (MANET) adalah jenis dari *self-configuring* jaringan *ad-hoc* nirkabel, yang terdiri dari *mobile node* yang dilengkapi dengan perangkat komunikasi nirkabel. Pola mobilitas *mobile node* dan strategi *forwarding packet* sangat menentukan kinerja MANET. Pola mobilitas mempengaruhi kinerja sistem yang disebabkan oleh faktor seperti *contact-time* dan *inter-meeting time*. Faktor ini penting dalam menentukan kinerja MANET, serta pada pemilihan algoritma *scheduling / forwarding* [5].

Mobile Ad-hoc Networks memiliki beberapa kriteria penting, antara lain:

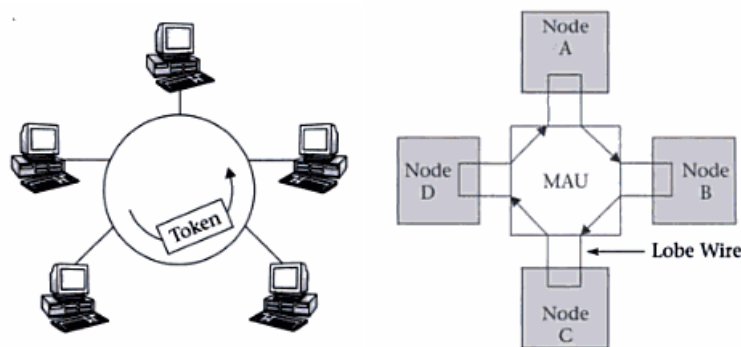
- Nirkabel. Tiap *node* berkomunikasi secara nirkabel dan menggunakan media yang sama (*radio frequency*, infrared, bluetooth, dll.)
- Berbasis *ad-hoc*. Suatu jaringan *mobile ad-hoc* merupakan jaringan sementara yang dibentuk secara dinamis oleh sekumpulan *node* yang membutuhkan.
- Autonomous* dan tanpa infrastruktur. MANET tidak bergantung pada infrastruktur yang ada. Setiap *node* beroperasi pada mode *peer-to-peer* terdistribusi, bertindak sebagai *router* mandiri, dan menghasilkan data yang independen.
- Multihop routing*. Tidak ada *router* khusus yang diperlukan, setiap *node* bertindak sebagai *router*, dan menyebarkan paket data satu sama lain untuk memungkinkan terjadinya pertukaran informasi antara *mobile node*.
- Mobilitas. Setiap *node* bebas untuk bergerak saat berkomunikasi dengan *node* lainnya. Topologi pada jaringan *ad-hoc* bersifat dinamis karena gerakan konstan dari *node-node* yang aktif, menyebabkan pola komunikasi di wilayah *node-node* yang aktif berubah terus-menerus secara dinamis.

Mobile ad-hoc networks menghilangkan penggunaan infrastruktur dan memungkinkan *node* lain untuk bergabung pada jaringan *ad-hoc* yang sedang aktif, kapanpun, dan dimanapun selama

2.2 Metode Akses Token Ring

Teknologi *token ring* pertama kali dikembangkan oleh IBM pada tahun 1970-an. *Token ring* adalah topologi jaringan *local area network* (LAN) yang didesain untuk mengatasi muatan yang besar. *Token ring* menggunakan topologi *ring*. Metode ini memiliki kelebihan, yaitu dapat terhindar dari *collision* (tubrukan) karena data yang mengalir sifatnya satu arah dari sumber kembali ke sumber lagi. Selain itu komunikasi satu arah antar *node* nya (tiap *node* terhubung ke 2 tetangga terdekatnya), memudahkan untuk membuat konfigurasi baru jika ada *node* baru. Namun kelemahan dari metode ini, yaitu jika ada satu *node* yang rusak/mati maka akan merusak jaringan secara keseluruhan karena sifatnya yang *one directional*. Gambar 1 menunjukkan bagaimana informasi dapat berjalan melalui cincin tersebut. Informasi akan melewati setiap *node* pada cincin, dan setiap *node* tersebut akan mengirim lagi informasi tersebut ke *node* lainnya di dalam cincin.

Prinsip utama dari teknologi *token* yaitu tiap *node* yang ingin mengirimkan informasi harus membawa *token*, dan hanya *node* yang membawa *token* yang boleh mengirim informasi. Di setiap *token ring*, selalu dan hanya ada satu buah *station/node* yang aktif mengelola cincin, *node* inilah yang membawa *token*. Setiap *token* yang beredar akan disertai frame data yang diisi informasi oleh *node* yang membawa *token* pada saat itu. Jika *node* tidak mempunyai informasi yang hendak dikirimkan, maka *node* tersebut wajib menyerahkan *token* ke *node* selanjutnya. Jika sebuah *node* membawa *token* dan memiliki informasi untuk dikirimkan, maka informasi tersebut dimasukkan ke dalam frame *token* dan diserahkan ke *node* selanjutnya. *Node* selanjutnya akan mengecek alamat tujuan pada frame [6].



Gambar 1 Jalur informasi pada *token ring*

Jika alamat cocok dengan *node* selanjutnya maka *node* tersebut akan melakukan hal-hal berikut:

- Node* menyalin frame data ke buffer.
- Frame dikirim lagi pada cincin.
- Frame akan berjalan terus pada cincin hingga kembali ke sumber asal *node* dan menghapus frame tersebut.
- Sumber *node* akan melepaskan *token* yang baru.

2.3 Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) adalah sebuah protokol dalam jaringan komputer yang digunakan untuk mengelola alamat *Internet Protocol* (IP) dan konfigurasi lainnya seperti *subnet mask*, *gateway*, yang akan diberikan kepada komputer klien secara sepusat.

DHCP adalah standar dari *Internet Engineering Task Force* (IETF) [7] yang didesain untuk mengurangi beban administrasi dan kompleksitas dalam menangani konfigurasi TCP/IP di computer klien. DHCP akan menyederhanakan konfigurasi alamat IP karena akan memberikan konfigurasi tersebut kepada computer klien yang ada di jaringan secara otomatis.

Server DHCP akan mengalokasikan alamat IP dan konfigurasinya untuk komputer-komputer yang menjadi klien DHCP. DHCP *relay agent* digunakan untuk meneruskan paket DHCP ke *server* DHCP jika klien dan *server* tidak berada dalam *subnet* yang sama.

2.4 Rumus Haversine

Rumus *Haversine* adalah suatu rumus yang digunakan untuk mencari jarak lingkaran antar dua koordinat pada permukaan bumi. Rumus ini dipakai untuk mengasumsikan bentuk dan topografi bumi menjadi datar sehingga dapat diukur jarak antara dua koordinat, dimana aslinya bentuk geometris bumi seperti bola (*spherical earth*) dan permukaan bumi yang tidak datar seperti adanya gunung dan lembah. Dengan rumus ini, 2 koordinat yang berada di ketinggian yang berbeda bisa diukur. Rumus *haversine* ditunjukkan pada Persamaan (1) hingga Persamaan (5).

$$R = \text{Radius Bumi} = 6371 \text{ Km} \quad (1)$$

$$\Delta lat = lat2 - lat1 \quad (1)$$

$$\Delta long = long2 - long1 \quad (2)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) \quad (3)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (4)$$

$$d = R \cdot c \quad (5)$$

Untuk mengubah koordinat menjadi kartesian, dapat digunakan rumus linear untuk mencari panjang busur lingkaran. Dengan rumus tersebut, maka koordinat desimal dari garis lintang dan garis bujur dapat dirubah ke bentuk cartesian X dan Y yang direpresentasikan pada permukaan datar. Rumus panjang busur lingkaran ditunjukkan pada Persamaan (6) hingga Persamaan (8).

$$\text{Ratio} = \frac{2\pi R}{360} \quad (6)$$

$$dLat = (lat2 - lat1) \cdot \text{Ratio} \quad (7)$$

$$dLong = (long2 - long1) \cdot \text{Ratio} \quad (8)$$

2.5 Rumus Matrix

Rumus matrix digunakan untuk menghitung luas poligon tak beraturan yang hanya diketahui titik-titik terluarnya. Syarat dari rumus ini yaitu jika tidak ada perpotongan garis pada poligon (*non-self-intersecting polygon*). Rumus untuk menghitung luas poligon ditunjukkan pada Persamaan (9) hingga Persamaan (11).

$$L = \frac{1}{2} \left| \begin{matrix} x1 & x2 \\ y1 & y2 \end{matrix} \right| + \left| \begin{matrix} x2 & x3 \\ y2 & y3 \end{matrix} \right| + \dots + \left| \begin{matrix} xn & x1 \\ yn & y1 \end{matrix} \right| \quad (9)$$

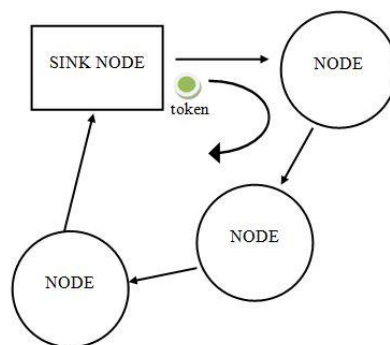
$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (10)$$

$$L = \frac{1}{2} (x_1 y_2 - x_2 y_1 + \dots + x_{n-1} y_n - x_n y_{n-1} + x_n y_1 - x_1 y_n) \quad (11)$$

2.6 Deskripsi Sistem

Sistem yang dibangun adalah sebuah jaringan sensor nirkabel yang mengadopsi karakteristik dari *mobile ad-hoc networks*, dimana jaringan tersebut mampu melakukan *self-configuring*, *sensor node* yang bersifat mobilitas, sinkronisasi paket data, dan jaringan yang berdiri sendiri tanpa infrastruktur yang ada. Dasar protokol pada sistem ini adalah *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP) yang diaplikasikan pada mikrokontroler dimana *server* akan mengkonfigurasi jaringan, alamat *node*, serta mengatur adanya *node* yang akan masuk atau keluar. Bedanya, pada sistem ini *server* tidak ditentukan, salah satu *node* akan menjadi *server* secara otomatis ketika jaringan pertama kali terbentuk, sehingga semua *node* yang ada dalam sistem ini memungkinkan untuk menjadi *server*.

Metode *routing* yang digunakan adalah *token ring*. Dengan metode tersebut, jaringan akan membentuk topologi *ring*. Tipikal jaringan ini adalah *multihop* dimana *sensor node* dapat mencapai *sink node* melalui beberapa *node* tetangganya. Tiap *node* akan terhubung dengan *node* lainnya secara *one-directional* sehingga akan membentuk topologi *ring* yang bermula dari *source/sink node* dan kembali lagi ke *source/sink node*. Gambar 2 menunjukkan jaringan sensor nirkabel dengan topologi *ring*.



Gambar 2 Diagram blok sistem jaringan sensor nirkabel dengan topologi *ring*

Sistem yang dibangun terdiri dari beberapa *node* yang akan membentuk jaringan secara *ad-hoc* tanpa infrastruktur yang ada. *Node* penyusun jaringan terdiri dari *sink node* dan *sensor node*. *Sink node* akan mengirimkan paket data pencarian *routing* secara *broadcast* untuk menemukan jalur data yang dapat dibentuk dengan topologi *ring*. Paket data akan dikirimkan secara berantai jika ada *sensor node* yang sinyalnya tidak terjangkau oleh *sink node*. Hal ini adalah kelebihan dari topologi *ring*, dimana *node* aktif yang lokasinya berada diluar jangkauan sinyal *sink node* dapat masuk kedalam jaringan asalkan terhubung dengan minimal 2 *node* tetangga. Jika ada satu *node* yang hanya terhubung dengan satu *node* tetangga, maka *node* tersebut tidak akan diikutsertakan dalam jaringan.

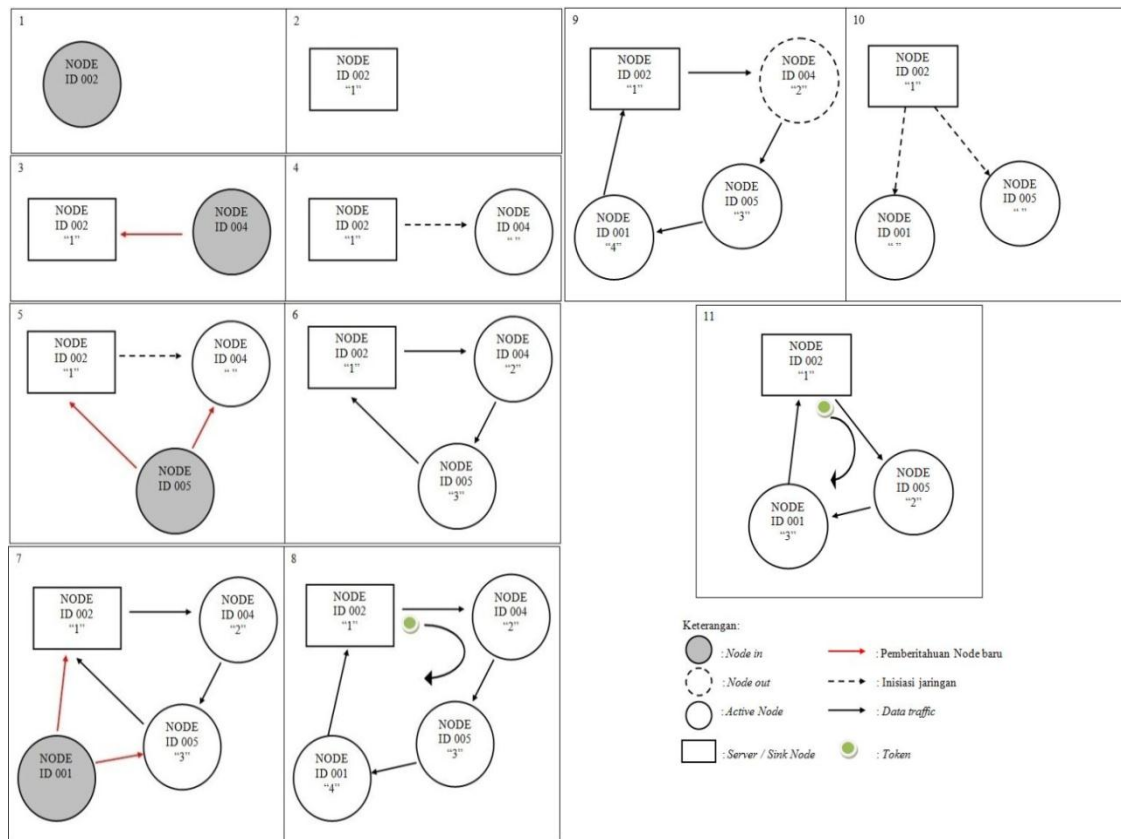
Proses selanjutnya adalah pengumpulan data dari tiap *node*. Jaringan akan terbentuk minimal dengan adanya 3 *node* yang aktif. Satu sebagai *server*, dan yang lain sebagai *client*. *Server* akan mengirimkan paket data sesuai urutan dalam *ring*. Pengiriman paket data tersebut dilakukan dengan metode *token ring*, yaitu *node* yang membawa *token* yang boleh melakukan pengiriman paket data. *Token* pertama dipegang oleh *sink node*. *Sink node* akan mengirimkan paket data selama membawa *token*.

Token-Holding Time (THT) adalah lama waktu membawa *token*, pada sistem ini lama waktunya berdasarkan jumlah paket data yang dikirim dan *data rate* dari GPS. Tiap *node* memiliki waktu yang sama ketika membawa *token*, tergantung jumlah paket data yang dikirim. Jumlah paket data yang dikirim ditentukan sendiri pada program. Setelah *sink node* mengirimkan paket data, maka *sink node* akan menyerahkan *token* ke *node* tujuan selanjutnya. Kemudian *node* yang menerima *token* tersebut mulai mengisi informasi ke dalam paket data yang diterimanya. Paket data tersebut akan mengalir terus bersama *token* sesuai urutan pada *ring* hingga kembali ke *sink node*. Lebar paket data tergantung pada jumlah *node* yang aktif.

Panjang paket data akan bertambah atau berkurang secara otomatis jika ada *node* yang masuk atau keluar.

Sink node mengumpulkan data koordinat GPS yang telah dikirim oleh tiap *node* melalui paket data. Paket data yang sudah dikumpulkan akan dikirimkan lagi ke *receiver*. *Receiver* adalah piranti yang hanya berfungsi untuk mengolah data yang diterima dan ditampilkan dengan *Graphic User Interface* (GUI). *Receiver* tidak punya andil dalam proses terbentuknya jaringan. Data posisi GPS tiap *node* akan diolah dan dihitung oleh *receiver* sehingga ditemukan luas dan keliling yang terbentuk dari jaringan. *Receiver* terdiri dari *Personal Computer* (PC) atau *notebook* dan 1 buah Xbee-PRO *receiver* yang menerima kumpulan data dari *sink node*.

Jika pada saat jaringan sudah terbentuk, kemudian ada *node* baru yang ingin bergabung, maka *server* akan mengirim ulang paket data konfigurasi, kemudian membuat jaringan *ring* dengan urutan yang baru. Begitu juga jika ada *node* yang keluar, *server* akan membuat mengirim ulang konfigurasi dan membuat jaringan baru dengan *node-node* yang masih aktif.



Gambar 3 Diagram blok ilustrasi terbentuknya jaringan

Pada Gambar 3 terlihat bagaimana *node* membentuk sebuah jaringan. *Node* ID 002 saat pertama diaktifkan, mencari apakah ada jaringan yang sudah terbentuk. *Node* ID 002 tidak menemukan adanya jaringan yang sudah terbentuk, kemudian memutuskan untuk menjadi *server*. *Node* yang menjadi server otomatis akan mengidentifikasi dirinya dengan alamat "1". Kemudian *node-node* yang lain datang, dan *server* mulai membentuk sebuah jaringan. Gambar tersebut juga memperlihatkan sistem jaringan yang otomatis berubah, dimana ketika *node* ID 001 masuk, maka *server* akan membentuk jaringan yang baru. Kemudian *node* ID 004 keluar dari jaringan, dan *server* mengulang lagi proses konfigurasi dari awal dengan jumlah *node* yang baru.

2.7 Implementasi Sistem

Node secara keseluruhan terdiri dari susunan unit-unit utamanya. Sistem minimum ATmega128 dibuat identik dengan Arduino Uno, sedangkan modul Xbee-PRO dan modul GPS adalah *shield* Arduino sehingga ketiga unit tersebut dapat disusun. Tersusun dari bawah ke atas yaitu sistem minimum ATmega128, modul GPS, modul Xbee-PRO, dan yang teratas adalah *active antenna* GPS. Sedangkan *power unit* dibuat terpisah. Gambar 4 menunjukkan implementasi *node* secara keseluruhan.



Gambar 4 Implementasi *node* secara keseluruhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Protokol

Diketahui jarak jangkauan maksimal dari Xbee-PRO yaitu 20 meter, dan dapat dilakukan pengujian terhadap protokol. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasi peletakan *node* berdasarkan jangkauan sinyalnya, kemudian menyalakan *node* satu persatu. Setelah dinyalakan, akan diamati perilaku tiap *node*, apakah akan membentuk jaringan sesuai protokol atau tidak. Tiap variasi tata letak *node*, proses menyalakan *node* diulang beberapa kali hingga diketahui ada berapa banyak jalur data yang dapat terbentuk. Tabel 1 menunjukkan bagaimana terbentuknya jaringan dari tiap *node* dan jalur data yang bisa digunakan.

Baris nomor 1 adalah sistem dengan 2 *node* aktif, menunjukkan bahwa jaringan tidak akan terbentuk. Apabila hanya ada 2 *node* aktif, *sink node* akan mengirimkan pencarian jalur data selama terus menerus hingga menemukan adanya minimal 3 *node* aktif. Pada baris nomor 2 dengan 3 *node* aktif juga tidak terbentuk jaringan, hal ini dikarenakan *node* 2 dan *node* 3 tidak saling menjangkau, keduanya hanya menjangkau *sink node*. Hal tersebut menyebabkan jaringan tidak terbentuk karena minimal tiap *node* harus terhubung dengan 2 *node* sehingga topologi *ring* bisa dibentuk.

Baris nomor 3 menunjukkan bagaimana perilaku tiap *node* apabila ada 3 *node* yang aktif. *Node* akan membentuk jaringan, dengan kemungkinan jalur data 1-2-3-1 atau 1-3-2-1. Jalur data akan dipilih secara otomatis oleh *sink node*. Pemilihan jalur data berdasarkan *node* yang paling terakhir mengirimkan informasi jalur data, sehingga *node* yang mendapat untaian jalur data terpanjanglah yang akan digunakan sebagai jalur data jaringan.

Baris nomor 4 menunjukkan perilaku *node* dengan 4 *node* aktif, namun salah satu *node*-nya hanya dapat menjangkau *node* 1 (*sink node*). Hal ini menyebabkan *node* 4 tidak akan

bergabung dalam jaringan. *Node* 4 hanya menunggu adanya konfigurasi dari *sink node* tanpa mengirim paket data apapun, sehingga tidak akan mengganggu kinerja jaringan.

Pada baris nomor 5, jangkauan sinyal dari *sink node* menjangkau seluruh *node*. Sehingga pemilihan jalur data memiliki banyak kemungkinan. Pemilihan ini berdasarkan *node* terakhir yang mengirimkan informasi jalur data. Berdasarkan pengujian, urutan ketika menyalakan *node* tidak selalu menjadi parameter terhadap urutan jalur data pada *ring*, namun lebih kepada respon dari tiap *node* yang ditentukan dari lama waktu eksekusi program. *Node* yang paling lama mengeksekusi program atau paling lambat responnya adalah *node* yang paling akhir mengirimkan informasi jalur data. Namun, perbedaan waktu eksekusi tiap *node* hanya dalam orde satuan *nano second*, sehingga tidak terlihat jelas perbedaannya. Pada pengujian nomor 5 didapat 5 kemungkinan jalur data yang dapat dibentuk.

Tabel 1 Hasil pengujian protokol

No	Variasi Tata Letak Node	Jalur Data yang Dapat Terbentuk	Keterangan
1			Hanya ada 2 <i>node</i> , tidak terbentuk Jaringan
2			Jangkauan sinyal <i>node</i> 2 dan 3 tidak terhubung
3		 1-2-3-1	Sinyal server (<i>node</i> 1) menjangkau semua <i>node</i>
		 1-3-2-1	
		 1-2-4-3-1	
4		 1-2-3-1	Node 4 hanya terjangkau sinyal <i>node</i> 1
		 1-3-2-1	
5		 1-4-3-2-1	Sinyal server (<i>node</i> 1) menjangkau semua <i>node</i>
		 1-2-3-4-1	
		 1-3-2-4-1	
		 1-2-4-3-1	
		 1-4-2-3-1	
6		 1-2-3-4-1	Sinyal server (<i>node</i> 1) hanya terjangkau <i>node</i> 2 dan 4
		 1-4-3-2-1	

Baris nomor 6 menunjukkan perilaku dengan 4 *node* aktif. Tetapi pada situasi ini, *node* 1 tidak menjangkau *node* 3. *Node* 1 hanya menjangkau *node* 2 dan 4. *Node* 3 dapat tergabung dalam jaringan dikarenakan *node* 3 masih dapat menjangkau 2 *node* yaitu *node* 2 dan 4, sehingga syarat terbentuknya jaringan terpenuhi. Namun kemungkinan jalur data yang dapat dibentuk hanya 2 karena *node* 1 tidak menjangkau *node* 3. Pengujian pada baris nomor 6 merupakan pengujian tersulit. Kendala pada pengujian ini yaitu untuk menyesuaikan tata letak *node*, karena *node* 3 harus diletakkan di luar jangkauan *sink node*, namun harus terjangkau oleh *node* 2 dan *node* 4.

Berdasarkan pengujian tersebut, protokol pada sistem konfigurasi otomatis jaringan sensor nirkabel telah berjalan sesuai rancangan. Sistem ini mampu mengkonfigurasi jaringan secara otomatis terhadap kondisi-kondisi yang terjadi pada jaringan, seperti adanya *node* baru yang masuk atau keluar. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa jaringan dapat terbentuk

dengan 3 *node* yang aktif atau lebih. *Token ring* juga berjalan baik pada sistem ini, terlihat dari jalur data yang dibentuk yaitu satu arah, dari *sink node* dan kembali lagi ke *sink node*.

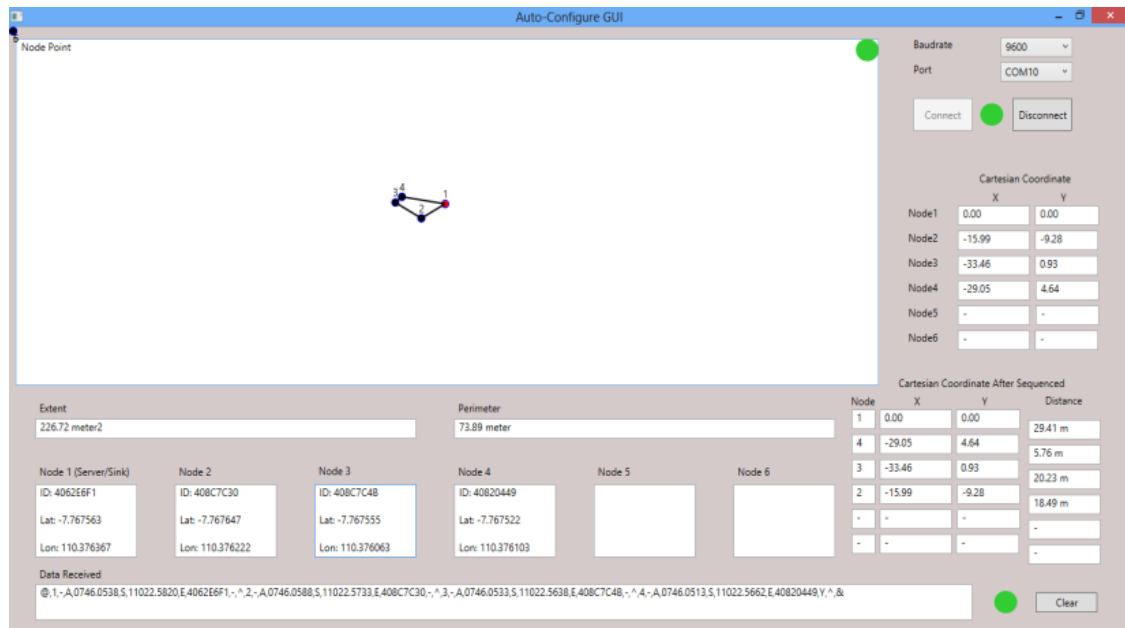
3.2 Perhitungan Keliling dan Luas Wilayah

Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan *node-node* pada titik yang telah ditentukan. Jarak antar *node* diukur menggunakan meteran lapangan. Karena sinyal Xbee-PRO yang telah diuji hanya memiliki jangkauan sempurna dibawah 20 meter, sehingga peletakan titik-titik *node* diberi jarak di bawah 20 meter agar sistem berjalan lancar. Karena waktu akuisisi GPS yang berubah-ubah, sehingga pengujian harus dilakukan beberapa kali untuk diambil hasil terbaik. *Node* yang digunakan ada 4 buah, sehingga bangun ruang yang dapat dibentuk ada 2 yaitu segitiga dan segiempat dengan sudut sembarang.

Pengujian dilakukan sebanyak 4 kali dengan bentuk bangun datar yang berbeda-beda tiap pengujiannya. Pengujian pertama dengan bentuk bangun datar segitiga sama kaki. Pengujian kedua dengan bentuk bangun datar trapesium. Pengujian ketiga dengan bentuk bangun datar segitiga siku-siku. Pengujian keempat dengan bentuk bangun datar persegi panjang. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran keliling dan luas wilayah dan perbandingannya dengan pengukuran sebenarnya.

Tabel 2 Hasil pengukuran dengan GPS dan perbandingan dengan pengukuran sebenarnya

Bentuk Bangun Datar	Sisi	Panjang Sisi (m)	Keliling GPS (m)	Luas GPS (m ²)	Keliling Sebenarnya (m)	Luas Sebenarnya (m ²)
Segitiga Sama sisi	1	13	53.18	63.03	46	130
	2	13				
	3	20				
Trapesium	1	11	73.89	226.72	28	38
	2	5				
	3	8				
	4	4				
Segitiga Siku-siku	1	8	47.11	62.84	22.5	20
	2	5				
	3	9.5				
Persegi Panjang	1	8	66.69	123.87	26	40
	2	5				
	3	8				
	4	5				



Gambar 5 Tampilan GUI pada pengukuran keliling dan luas wilayah

Pada Tabel 2 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dengan GPS dan hasil pengukuran sebenarnya. Perbandingan dilakukan terhadap pengukuran sebenarnya menggunakan meteran lapangan. Terlihat bahwa terdapat ralat yang sangat jauh antara kedua hasilnya. Hal ini dikarenakan spesifikasi dari modul GPS yang disebutkan pada *datasheet* bahwa ketelitian GPS bisa mencapai < 2.0 m apabila jumlah satelit yang terhubung 20 buah, namun pada realita saat pengujian modul GPS didapat hasil rata-rata jumlah satelit yang terhubung hanya 5 buah, sehingga, menyebabkan ketelitian dari modul GPS tidak maksimal. Seperti diketahui pada pengujian waktu stabilitas dan ketelitian GPS, didapat hasil bahwa ralat ketelitian dari keempat modul GPS sangat besar, sehingga memungkinkan terjadinya ralat yang besar pada hasil perhitungan keliling dan luas wilayah.

Gambar 5 menunjukkan *output* program GUI yang menampilkan data-data koordinat *node*, jarak antar *node*, keliling, serta luasnya. Gambar tersebut adalah gambar dari pengukuran persegi panjang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat jaringan sensor nirkabel dengan konfigurasi otomatis yang dapat melakukan *autonomous server/client*, penentuan jalur data, pemberian alamat *node*, sinkronisasi paket data, dan deteksi adanya *node* yang masuk atau keluar secara otomatis dan dinamis, serta menggunakan metode *token ring* pada jalur datanya.
2. Protokol mampu menentukan jalur data dan membentuk topologi *ring*.
3. Sistem konfigurasi otomatis berhasil diterapkan pada patok batas wilayah dengan kemampuan mengukur keliling dan luas wilayahnya.
4. Sistem mampu menentukan *node-node* terluar untuk membentuk sebuah bangun datar serta mengukur keliling dan luasnya.
5. Didapat *error* yang besar pada hasil pengukuran keliling dan luas, dikarenakan nilai ralat rata-rata pada ketelitian modul GPS yang besar.

5. SARAN

Berikut saran-saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan dalam penelitian selanjutnya yang sejenis:

1. Hendaknya mencoba teknik *routing* yang lain agar dapat diketahui perbedaan sistem baik dari kecepatan maupun efektifitas pengiriman data.
2. Dengan spesifikasi perangkat *communication unit*, *sensing unit* dan *computation unit* yang lebih baik, sistem dapat berjalan lebih cepat dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singh, S. dan Bathia, A., 2008, A DHCP Based IPv6 Autoconfiguration Mechanism for Subordinate MANET, *IEEE Asia-Pacific Service Computing Conference*.
- [2] Chen, X. dan Yu, P., 2010, Research on Hierarcial Mobile Wireless Sensor Network Architecture with Mobile Sensor Nodes, *IEEE 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*.
- [3] Wei, dkk., 2012, A Modified Wireless Token Ring Protocol for Wireless Sensor Networks, *IEEE Papers*.
- [4] Mukhtar, K., 2012, *Konfigurasi Autonomous Routing untuk Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis Xbee*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Cai, H., 2009, *Mobile Ad-hoc Networks: Mobility-induced Metrics, Performance Analysis, and System Design*, North Carolina State University, North Carolina.
- [6] Elahi, A., 2001, *Networks Communication Technology*, Thomson Learning, New York.
- [7] Utama, I., 2008, *Menguasai Active Directory dan jaringan Windows Server 2008*, PT. Elex Media Komputindo: Jakarta.